

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA-UDESC  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**CRISTHIAN LEONARDO FENILI**

**NOVAS CULTIVARES DE MAÇÃS COM POTENCIAL PARA USO COMO  
ALIMENTO MINIMAMENTE PROCESSADO**

**LAGES**

**2022**

**CRISTHIAN LEONARDO FENILI**

**NOVAS CULTIVARES DE MAÇÃS COM POTENCIAL PARA USO COMO  
ALIMENTO MINIMAMENTE PROCESSADO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, na Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Produção Vegetal.  
Orientador: Dr. Cristiano André Steffens  
Coorientadora: Dra. Mariuccia Schlichting De Martin

**LAGES**

**2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

FENILI, CRISTHIAN LEONARDO  
NOVAS CULTIVARES DE MAÇÃS COM POTENCIAL  
PARA USO COMO ALIMENTO MÍNIMAMENTE  
PROCESSADO / CRISTHIAN LEONARDO FENILI. -- 2022.  
125 p.

Orientador: CRISTIANO ANDRÉ STEFFENS  
Coorientadora: MARIUCCIA SCHLICHTING DE MARTIN  
Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de  
Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2022.

1. Malus domestica Borkh. 2. escurecimento da polpa. 3.  
eritorbato de sódio. I. STEFFENS, CRISTIANO ANDRÉ. II.  
DE MARTIN, MARIUCCIA SCHLICHTING. III. Universidade  
do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção  
Vegetal. IV. Título.

**CRISTHIAN LEONARDO FENILI**

**NOVAS CULTIVARES DE MAÇÃS COM POTENCIAL PARA USO COMO  
ALIMENTO MINIMAMENTE PROCESSADO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, na Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Produção Vegetal.

**BANCA EXAMINADORA**

Orientador: \_\_\_\_\_  
Professor Dr. Cristiano André Steffens  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

Coorientadora: \_\_\_\_\_  
Dra. Mariuccia Schlichting De Martin  
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI

Membros: \_\_\_\_\_  
Dr. Marcelo Alves Moreira  
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC

\_\_\_\_\_  
Dr. Bruno Pansera Espindola  
Instituto Federal Catarinense – IFC

\_\_\_\_\_  
Dra. Aquidauana Miqueloto Zanardi  
Instituto Federal de Santa Catarina – IFSC

\_\_\_\_\_  
Dra. Andreia Hansen Osher  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

**Lages, 31 de agosto de 2022**

*À quem é eterno*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus.

À minha família, pelo apoio, incentivo e ensinamentos.

Aos meus orientadores Cristiano André Steffens e Mariuccia Schlichting De Martin, pela oportunidade, confiança, amizade, dedicação e orientação de excelência.

Aos colaboradores da Epagri de São Joaquim e da Sanjo, pelo apoio e fornecimento de materiais para desenvolvimento do projeto.

Aos professores e colegas graduandos e pós-graduandos, especialmente da equipe do Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita, pela amizade, ensinamentos de qualidade, auxílio na realização de experimentos, suporte, dedicação e paciência na realização das atividades.

À UDESC de Lages, pela estrutura de materiais e apoio e pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e Ao Programa de Bolsas do Fundo de Apoio à Manutenção e ao Desenvolvimento da Educação Superior – FUMDES, pela concessão da bolsa de estudos.

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial das maçãs 'SCS417 Monalisa', 'SCS425 Luiza', 'SCS426 Venice', 'Daiane', 'Kinkas', 'SCS427 Elenise', 'Maxi Gala' e 'Fuji Mishima' para o mercado de minimamente processados (MP). Também foi objetivo avaliar o efeito de concentrações de eritorbato de sódio (ES) sobre o escurecimento da polpa e demais atributos de qualidade de maçãs MP depois de um curto e um longo período de armazenamento refrigerado (AR). No experimento 1, foram avaliados atributos de cor relacionados ao escurecimento da polpa das maçãs. As maçãs foram cortadas ao meio, e dispostas em condições ambiente ( $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ /UR de  $75\pm 5\%$ ), para averiguar o padrão de escurecimento das cultivares. Foram realizadas leituras de atributos de cor na polpa dos frutos, em 14 intervalos de tempo e, através dos parâmetros coletados pelo colorímetro ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ), foram avaliados a luminosidade da polpa, o índice de escurecimento (IE) e a mudança total de cor ( $\Delta E$ ). Nos experimentos 2 e 3, foram avaliados atributos de cor relacionados ao escurecimento da polpa das maçãs MP, atividade de enzimas relacionadas com o processo de escurecimento e demais atributos físico-químicos. Para o processamento mínimo das maçãs, o seguinte protocolo foi seguido: 1° imersão dos frutos em uma solução de hipoclorito de sódio (200 ppm) durante 10 minutos; 2° corte das maçãs em oito fatias, retirando-se a região carpelar e mantendo-se a casca; 3° aplicação dos tratamentos nas maçãs MP, por imersão, durante 1 minuto; 4° acondicionamento das maçãs em bandejas de polietileno, em BOD com a temperatura em  $5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  e UR de  $80\pm 8\%$ . No experimento 2, os fatores avaliados foram: "tratamento antioxidante" (com e sem aplicação de ES a 5%); "período de armazenamento" (0, 3, 6 e 9 dias em BOD); e "cultivar" ('Monalisa', 'Luiza', 'Venice', 'Daiane', 'Kinkas', 'Elenise', 'Maxi Gala' e 'Fuji Mishima'). No experimento 3, os fatores avaliados foram: "concentração de ES" (0, 0,5, 1, e 2%); "período de armazenamento" (0 e 10 dias em BOD); e "cultivar" ('Luiza', 'Venice', 'Fuji Mishima' e 'Elenise'). Neste experimento, as maçãs foram conservadas em AR ( $0,5\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  e UR de  $85\pm 5\%$ ), antes do processamento mínimo, por 5 e 100 dias. As maçãs da cultivar Venice apresentaram menor escurecimento da polpa em temperatura ambiente. As maçãs 'Venice', 'Elenise' e 'Fuji Mishima' MP apresentaram menor escurecimento da polpa. O menor escurecimento da polpa em maçãs 'Elenise' e 'Venice' está relacionado com os menores teores de compostos fenólicos totais (CFT), menores atividades da PPO e POD, menor taxa respiratória e de produção de

etileno e maiores teores de ácido ascórbico. O emprego de agente conservante é fundamental para preservação das características de qualidade das maçãs MP. ES é eficaz na manutenção da qualidade de maçãs MP, mesmo em concentrações reduzidas, entre 0,5% e 2%. Além disso, o ES melhora a qualidade funcional, como a atividade antioxidante total, o teor de CFT e os níveis de ácido ascórbico nos frutos MP. Maçãs MP depois de 100 dias em AR e tratadas com ES possuem o mesmo potencial daquelas processadas depois de 5 dias em AR. As maçãs 'Venice', 'Elenise' e 'Fuji Mishima' são as mais indicadas ao mercado de frutos MP, enquanto as maçãs 'Luiza', 'Daiane' e 'Maxi Gala' são as menos recomendadas para o processamento mínimo.

Palavras-chave: *Malus domestica* Borkh; escurecimento da polpa; eritorbato de sódio



## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the potential of 'SCS417 Monalisa', 'SCS425 Luiza', 'SCS426 Venice', 'Daiane', 'Kinkas', 'SCS427 Elenise', 'Maxi Gala' and 'Fuji Mishima' apples for the market minimally processed (MP). It was also aimed to evaluate the effect of sodium erythorbate (ES) concentrations on fruit flesh browning and other quality attributes of MP apples after a short and long period of cold storage (AR). In experiment 1, color attributes related to apple fruit flesh browning were evaluated. The apples were cut in half and placed in ambient conditions ( $23\pm 2^{\circ}\text{C}/\text{RH}$  of  $75\pm 5\%$ ), to verify the fruit flesh browning of the cultivars. Readings of color attributes in the pulp of the fruits were carried out at 14 time intervals and, through the parameters collected by the colorimeter ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ ), the pulp luminosity, the browning index (IE) and the total color change ( $\Delta E$ ). In experiments 2 and 3, color attributes related to the browning of the pulp of MP apples, enzyme activity related to the browning process and other physical-chemical attributes were evaluated. For the minimal processing of apples, the following protocol was followed: 1<sup>st</sup> immersion of the fruits in a solution of sodium hypochlorite (200 ppm) for 10 minutes; 2<sup>nd</sup> cut the apples into eight slices, removing the carpel region and keeping the skin; 3<sup>rd</sup> application of treatments on MP apples, by immersion, for 1 minute; 4<sup>th</sup> packaging of apples in polyethylene trays, in BOD with temperature at  $5\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  and RH of  $80\pm 8\%$ . In experiment 2, the factors evaluated were: "antioxidant treatment" (with and without application of ES at 5%); "storage period" (0, 3, 6 and 9 days in BOD); and "cultivar" ('Monalisa', 'Luiza', 'Venice', 'Daiane', 'Kinkas', 'Elenise', 'Maxi Gala' and 'Fuji Mishima'). In experiment 3, the factors evaluated were: "SS concentration" (0, 0.5, 1, and 2%); "storage period" (0 and 10 days in BOD); and "cultivar" ('Luiza', 'Venice', 'Fuji Mishima' and 'Elenise'). In this experiment, apples were preserved in AR ( $0.5\pm 0.2^{\circ}\text{C}$  and RH of  $85\pm 5\%$ ), before minimal processing, for 5 and 100 days. The apples of the Venice cultivar showed less fruit flesh browning at room temperature. 'Venice', 'Elenise' and 'Fuji Mishima' MP apples showed lower fruit flesh browning. The lower fruit flesh browning in 'Elenise' and 'Venice' apples is related to lower levels of total phenolic compounds (CFT), lower PPO and POD activities, lower respiratory rate and ethylene production and higher levels of ascorbic acid. The use of a chemical anti-browning agents is essential to preserve the quality characteristics of MP apples. ES is effective in maintaining the quality of MP apples, even at low concentrations, between 0.5% and 2%. In addition,

ES improves functional quality, such as total antioxidant activity, CFT content and ascorbic acid levels in MP fruits. MP apples after 100 days in AR and treated with ES have the same potential as those processed after 5 days in AR. 'Venice', 'Elenise' and 'Fuji Mishima' apples are the most suitable for the MP fruit market, while 'Luiza', 'Daiane' and 'Maxi Gala' apples are the least recommended for minimal processing.

Keywords: *Malus domestica* Borkh; fruit flesh browning; sodium erythorbate

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Varição da luminosidade ( $L^*$ ) na polpa de oito cultivares de maçã em função do tempo após o corte dos frutos na região equatorial, durante quatro horas de exposição em condições ambiente ( $23\pm 2^\circ\text{C}/\text{UR}$ de $75\pm 5\%$ ), na safra 2018/2019.....	27
Figura 2.	Varição do escurecimento normalizado na polpa de oito cultivares de maçãs em função do tempo após o corte dos frutos na região equatorial, durante quatro horas de exposição em condições ambiente ( $23\pm 2^\circ\text{C}/\text{UR}$ de $75\pm 5\%$ ), na safra 2018/2019.....	30
Figura 3.	Varição da mudança total de cor na polpa de oito cultivares de maçãs em função do tempo após o corte dos frutos na região equatorial, durante quatro horas de exposição em condições ambiente ( $23\pm 2^\circ\text{C}/\text{UR}$ de $75\pm 5\%$ ), na safra 2018/2019.....	31
Figura 4.	Taxa respiratória de oito cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$ ), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....	45
Figura 5.	Produção de etileno de oito cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$ ), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....	48
Figura 6.	Perda de massa de oito cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$ ), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....	49
Figura 7.	Atividade antioxidante, método DPPH, de cinco cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$ ), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....	53
Figura 8.	Compostos fenólicos totais de cinco cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$ ), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....	56
Figura 9.	Atividade da enzima PPO (média' de maçãs com e sem o tratamento de eritorbato de sódio) em quatro cultivares de macieira minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ( $5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8$ ). Safra 2018/2019.....	58
Figura 10.	Atividade da enzima POD (média' de maçãs com e sem o tratamento de eritorbato de sódio) em quatro cultivares de macieira minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ( $5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8$ ). Safra 2018/2019.....	60
Figura 11.	Atividade da enzima SOD (média' de maçãs com e sem o tratamento de eritorbato de sódio) em quatro cultivares de macieira minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ( $5\pm 0,5^\circ\text{C}$ e UR de $80\pm 8$ ). Safra 2018/2019.....	61
Figura 12.	Teor de ácido ascórbico de três cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de	

	armazenamento ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ) após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019....	63
Figura 13.	Luminosidade da polpa de oito cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....	64
Figura 14.	Ângulo <i>hue</i> na polpa de oito cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....	67
Figura 15.	Luminosidade ( $L^*$ ) e tonalidade ( $^{\circ}Hue$ ) da polpa natural de oito cultivares de maçãs minimamente processadas. Safra 2018/2019.....	69
Figura 16.	Índice de escurecimento de oito cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.....	70
Figura 17.	Taxa respiratória de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	81
Figura 18.	Produção de etileno de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	83
Figura 19.	Luminosidade da polpa de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	85
Figura 20.	Escurecimento da polpa de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	86
Figura 21.	Atividade antioxidante pelo método ABTS de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	88
Figura 22.	Atividade antioxidante pelo método DPPH de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	89
Figura 23.	Teor de compostos fenólicos totais de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	91
Figura 24.	Teor de ácido ascórbico de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	93

Figura 25.	Atividade da enzima PPO na polpa de maçãs 'Elenise' e 'Luiza' minimamente processadas em função da cultivar (A), da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD (B) ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	95
Figura 26.	Atividade da enzima POD na polpa de maçãs 'Elenise' e 'Luiza' minimamente processadas em função da cultivar (A), da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD (B) ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	96
Figura 27.	Atividade da enzima SOD na polpa de maçãs 'Elenise' e 'Luiza' minimamente processadas em função da cultivar, da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	97
Figura 28.	Taxa respiratória de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ( $0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$ ) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	98
Figura 29.	Produção de etileno de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ( $0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$ ) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	100
Figura 30.	Luminosidade da polpa de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ( $0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$ ) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	102
Figura 31.	Escurecimento da polpa de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ( $0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$ ) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.....	103
Figura 32.	Variação da cor na polpa nas maçãs que permaneceram 100 dias em AR ( $0,5\pm 0,2$ °C e UR de $85\pm 5\%$ ) e em seguida foram minimamente processadas, das cultivares Venice (A) e Elenise (B), em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$ °C e UR de $80\pm 8\%$ ), após. Safra 2019/2020.....	104

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Data da colheita, firmeza da polpa (FP), teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e índice de iodo-amido (IA) em frutos de oito cultivares de macieira na colheita, na safra 2018/2019.....	24
Tabela 2.	Luminosidade na polpa imediatamente após o corte (LP) e redução da luminosidade, em unidades de <i>lightness</i> , de oito cultivares de maçã em função do tempo após o corte dos frutos, na região equatorial e exposição em condições ambiente (temperatura de $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ /UR de $75\pm 5\%$ ), na safra 2018/2019.....	29
Tabela 3.	Escurecimento normalizado na polpa de oito cultivares de macieira em função do tempo (10 minutos, 1 hora, 4 horas, 10 horas e 2 dias) após o corte dos frutos na região equatorial e exposição em condições ambiente ( $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ /UR de $75\pm 5\%$ ), na safra 2018/2019.....	32
Tabela 4.	Mudança total de cor na polpa de oito cultivares de macieira em função do tempo (10 minutos, 1 hora, 4 horas, 10 horas e 2 dias) após o corte dos frutos na região equatorial e exposição em condições ambiente ( $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ /UR de $75\pm 5\%$ ), na safra 2018/2019.....	34
Tabela 5.	Taxa respiratória e Produção de etileno na polpa de oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ( $5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2018/2019...	46
Tabela 6.	Perda de massa na polpa de oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ( $5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2018/2019.....	50
Tabela 7.	Atividade antioxidante total (AAT), método DPPH e composto fenólicos totais (CFT) na polpa de cinco cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ( $5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2018/2019.....	54
Tabela 8.	Redução da luminosidade e alteração da tonalidade na polpa de oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ( $5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2018/2019.....	66
Tabela 9.	Escurecimento na polpa de oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ( $5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2018/2019.....	72
Tabela 10.	Sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (AT) em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ( $5\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e UR de $80\pm 8\%$ ). Safra 2018/2019.....	74
Tabela 11.	Data da colheita, firmeza da polpa (FP), teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e índice de iodo-amido (IA) em frutos de oito cultivares de macieira na colheita, na safra 2019/2020.....	79

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>15</b>
<b>2 PADRÃO DO ESCURECIMENTO DA POLPA DE NOVAS CULTIVARES DE MAÇÃ .....</b>	<b>22</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	22
2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	24
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
2.4 CONCLUSÕES .....	35
<b>3 POTENCIAL DE DIFERENTES CULTIVARES DE MACIEIRA PARA UTILIZAÇÃO COMO PRODUTO MINIMAMENTE PROCESSADO .....</b>	<b>36</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	36
3.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	38
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
3.4 CONCLUSÕES .....	76
<b>4 QUALIDADE DE MAÇÃ MINIMAMENTE PROCESSADA EM FUNÇÃO DO USO DE ERITORBATO DE SÓDIO E DO PERÍODO DE ARMAZENAGEM DOS FRUTOS .....</b>	<b>77</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	77
4.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	78
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	80
<b>4.3.1 Maçãs MP depois do AR de 5 dias.....</b>	<b>80</b>
<b>4.3.2 Maçãs MP depois do AR de 100 dias.....</b>	<b>97</b>
4.4 CONCLUSÕES .....	105
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>107</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>110</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As maçãs têm uma longa história de associação com a civilização humana e mais de 8.000 anos de domesticação. A atual espécie de maçã domesticada (*Malus domestica* Borkh) tornou-se uma fruta de alto valor econômico com produção superior a 80 milhões de toneladas em todo o mundo (FAOSTAT, 2022). No Brasil, o agronegócio da maçã localiza-se na região Sul, envolvendo seus três estados, destacando-se a região de Vacaria e Bom Jesus, no Rio Grande do Sul, São Joaquim e Fraiburgo, em Santa Catarina, e Palmas, no Paraná (PETRI et al., 2011). Nos últimos anos, a produção brasileira de maçãs tem passado de um milhão de toneladas (FAOSTAT, 2022), envolvendo mais de 3000 pomicultores nesta atividade e gerando em torno de 150 mil empregos diretos e indiretos (PETRI et al., 2011).

A ingestão de maçã sempre foi associada a benefícios à saúde. Sua composição faz com que seja uma das frutas mais completas do ponto de vista nutricional e funcional. É rica em minerais, vitaminas e açúcares. O teor de fibras da maçã, principalmente o teor de pectina, é considerado benéfico para as funções gastrointestinais, ajudando a equilibrar o nível de açúcar no sangue e colesterol (ZHANG et al., 2017; CARRASCO-SANDOVAL et al., 2021). As maçãs contêm altos níveis de compostos biologicamente ativos, como os polifenóis, que não apenas contribuem para a cor, amargura e adstringência, mas também atuam como antioxidantes e podem ajudar a fornecer proteção contra doenças cardiovasculares e câncer (PIAGENTINI; PIROVANI, 2017; SACHINI et al., 2020).

O sucesso com a cultura da macieira no Brasil está ligado aos avanços tecnológicos que acompanharam a cultura, e para continuar com a progressão, existem algumas demandas para promover avanços principalmente no sistema de comercialização (PETRI et al., 2011). A grande expansão da macieira no país foi acompanhada por poucas inovações que estimulassem o consumo da maçã pelos brasileiros. A ausência de diversificação de cultivares e a forma de comercialização do fruto nas gondolas de supermercados são exemplos da carência do setor nesse âmbito, que pode estar desestimulando o crescimento do consumo de maçãs.

No mundo todo buscam-se inovações e novas tendências para manter o consumo e dispersão de maçãs em ascensão. Um exemplo é o desenvolvimento de novas cultivares de maçãs com polpa vermelha, criadas pelo cruzamento de maçãs silvestres, de polpa vermelha com cultivares domésticas (VOLZ et al., 2009). Outro



exemplo de tendência é o mercado de processados de maçãs. O consumo de sidras, sucos e maçãs minimamente processada (MP) está aumentando de forma rápida e importante. Em países da Europa e Japão verifica-se uma crescente demanda, tanto individual como institucional pela maçã MP (KOHATSU et al., 2009). Nos EUA, as maçãs MP emergiram como lanche popular nos programas de merenda escolar e no consumo da família, e a tendência é que esse mercado continue crescendo à medida que mais consumidores exigem um lanche rápido, conveniente, seguro, saudável e nutritivo (SUBHASHREE et al., 2017). Ainda segundo esses autores, no período de 2008 a 2012, as maçãs MP já representavam 1,4% do volume total de maçãs consumidas naquele país. Nesses países, os estudos para o desenvolvimento de cultivares específicas para o processamento são avançados (HAMDAN et al., 2022).

O Brasil não possui um mercado estabelecido de maçã MP e as pesquisas neste setor são muito escassas. Dentre os inúmeros desafios, destaca-se a necessidade de encontrar cultivares mais apropriadas, em termos de qualidade e vida de prateleira potencial, uma vez que a cultivar é o principal fator para garantir a qualidade do produto MP. Os poucos estudos relacionados ao processamento mínimo de maçãs no país estão restritos à ‘Gala’ e à ‘Fuji’, as quais, apesar de serem as cultivares predominantemente produzidas, são bastante suscetíveis a deteriorações após o processamento, como o escurecimento enzimático da polpa (ROJAS-GRAÜ et al., 2006; BERTRAND et al., 2015). Contudo, cultivares desenvolvidas no Brasil podem apresentar potencial para o processamento mínimo devido à menor deterioração enzimática ou maior quantidade de substâncias naturalmente presentes na maçã com ação antioxidante (SACHINI et al., 2020). Além disso, Abbott et al. (2004), relataram que os consumidores preferem maçãs MP preparadas a partir de cultivares mais novas, em detrimento daquelas preparadas com materiais mais antigos.

Como opções de cultivares com efetivo potencial para o Brasil, podemos destacar os genótipos ‘SCS417 Monalisa’, ‘Daiane’, ‘Kinkas’, ‘SCS425 Luiza’, ‘SCS426 Venice’ e ‘SCS427 Elenise’, desenvolvidos pelo programa de melhoramento genético da Epagri. Estas cultivares apres’entam vantagens em relação às cultivares ‘Gala’ e ‘Fuji’ devido a melhor adaptação climática nas regiões produtoras brasileiras, rendimentos semelhantes ou superiores e resistência à Mancha Foliar de *Glomerella*. A cultivar Monalisa apresenta também resistência a sarna da macieira. Os frutos de ‘Monalisa’ possuem uma boa aparência, com uniformidade de tamanho e coloração

vermelha da casca e uma alta qualidade gustativa, com teor de acidez superior à 'Gala'. As maçãs 'Monalisa' são normalmente colhidas de cinco a dez dias antes da 'Gala' e com capacidade de armazenamento semelhante (DENARDI et al., 2013). A cultivar Luiza é colhida no mesmo período e possui capacidade de armazenamento semelhante à maçã 'Gala' (MAGRIN et al., 2017). Essa cultivar apresenta alta precocidade para entrar em produção (DENARDI et al., 2015b). 'Luiza' possui ainda a vantagem sobre a 'Gala' de apresentar baixa suscetibilidade à queda de frutos. A 'Venice' é uma cultivar que apresenta potencial produtivo e capacidade de armazenamento superior à 'Gala', e ainda tem a vantagem de ser colhida após a 'Gala' e antes da 'Fuji', preenchendo a lacuna existente entre a colheita dessas cultivares e permitindo um melhor aproveitamento da mão de obra (DENARDI et al., 2015c; DE MARTIN et al., 2018). A maçã 'Elenise' também possui diversas vantagens, como potencial de armazenagem superior à da 'Fuji' e maturação tardia dos frutos, permitindo que a colheita ocorra após a da 'Fuji' e, por esse motivo, permitindo ampliar substancialmente o período de colheita de maçãs no Sul do Brasil (DENARDI et al., 2015a). A cultivar Daiane produz frutos semelhantes à 'Gala' quanto à aparência, sabor e aroma. Assim como a 'Venice', tem o período de colheita comercial concentrado entre aqueles das cultivares Gala e Fuji, favorecendo o escalonamento da colheita (DENARDI; CAMILO, 1998; 2011; STANGER et al., 2013). A maçã 'Kinkas' possui importantes genes de resistência contra a sarna da macieira e tem características de ciclo tardio, com maturação ocorrendo em torno de uma semana após a 'Fuji'. Os frutos são globosos, possuindo epiderme com tonalidade vermelho-carmim, apresentando boa firmeza da polpa, semelhante à 'Fuji' e sabor adocicado (BONETI et al., 2009; SACHINI et al., 2018).

A qualidade da maçã é influenciada por fatores pré e pós-colheita. Além da cultivar, das práticas culturais, condições climáticas, maturação e método de colheita, o manuseio, as condições e tempo de armazenamento, antes do processamento mínimo, também podem impactar na qualidade das frutas MP. Outros fatores, como o método de preparo (ferramenta de corte, área da superfície de corte, lavagem e remoção da umidade da superfície), condições de manuseio (embalagem, comercialização e procedimentos de saneamento) e armazenagem (temperatura, velocidade de resfriamento e umidade), subsequentes ao processamento mínimo, também contribuem para a qualidade final do produto MP (KADER, 2003).

Os hábitos dos consumidores quanto aos padrões de ingestão de alimentos também estão mudando rapidamente (HARICH et al., 2017). Os consumidores de todo o mundo estão cada vez mais preocupados com os alimentos que ingerem. Eles preferem comer alimentos saudáveis e nutritivos. Além disso, o estilo de vida atual destes consumidores também mudou. Atualmente a procura por produtos prontos para consumo e que atendam às exigências de qualidade são requeridos devido à praticidade (HAMDAN et al., 2022). A indústria de minimamente processados ganhou maior visibilidade diante desse cenário.

Os frutos minimamente processados são também denominados "fresh-cut", por sofrerem leve modificação nas características originais, mantendo o frescor e a qualidade (ENDO et al., 2006). Por definição, considera-se produto minimamente processado qualquer fruto ou hortaliça ou combinação destes, cuja forma original foi fisicamente alterada, mantendo-se, entretanto, no estado fresco (ALZAMORA et al., 1998). O processamento mínimo se caracteriza por uma série de etapas, como operações de seleção, lavagem, sanitização, descasque, corte, centrifugação, embalagem, armazenamento, comercialização, entre outros. Para Ahvenainen (1996), a tecnologia de processamento mínimo apresenta dois propósitos: manter o produto com características de fresco, disponibilizando-o numa forma conveniente e sem perdas na sua qualidade nutricional; e o produto deve apresentar uma vida de prateleira suficientemente longa para tornar sua distribuição viável aos consumidores. Diversas tecnologias aumentaram a vida de prateleira dos frutos MP, no entanto, para uma oferta regular ao mercado consumidor é necessário que o fruto *in natura* esteja disponível à indústria ao longo do ano. No Brasil, a maior parte das maçãs produzidas são conservadas, ao longo do ano, em câmaras frias (GONÇALVES; ARGENTA; DE MARTIN, 2017). Contudo, não se sabe se o armazenamento de maçãs pode afetar seu potencial como alimento minimamente processado.

Os frutos MP são comumente utilizados em restaurantes, hotéis, *fast foods*, supermercados e pela população que dispõe de pouco tempo para preparar seus alimentos. Para Nascimento et al. (2014), as vantagens para os consumidores de frutos MP são: maior praticidade no preparo dos alimentos, maior segurança na aquisição de produtos limpos e embalados e redução do desperdício. De acordo com a *Food and Agriculture Organization* (FAO), o manuseio de frutos durante os tratamentos pós-colheita causa uma perda de 20 a 40% de frutos colhidos a cada ano (HAMDAN et al., 2022). Desta maneira, o processamento mínimo de frutos pode ainda

contribuir com a redução do desperdício de alimentos. No mercado hortifrutícola, tradicionalmente as maçãs são oferecidas ao consumidor desprovidos de embalagem ou de qualquer tratamento, sem denominações de origem ou indicações do modo de produção. Desta maneira, o consumidor da maçã MP tem como vantagem o conhecimento sobre a procedência e a escolha da marca que lhe convier (NASCIMENTO et al., 2014).

O rompimento do tecido vegetal causado pelo corte do processamento mínimo, provoca um estresse celular e respostas naturais à ferida. A célula vegetal contém diversos compostos mantidos em compartimentos separados por membranas semipermeáveis e ao fatiar o tecido essas membranas são rompidas, permitindo que compostos se encontrem e reajam de forma descontrolada e indesejável, como enzimas, compostos fenólicos e ácidos orgânicos. O exemplo mais claro desse efeito é o escurecimento enzimático, que é provocado pelo encontro da enzima polifenoloxidase (PPO) com um fenólico no citoplasma, produzindo pigmentos escuros no tecido lesionado (SALTVEIT, 2003). O principal problema dos vegetais MP, especialmente em maçã, é o escurecimento enzimático. Esse problema afeta a cor da superfície do fruto, que é o mais importante atributo de qualidade, pois os consumidores costumam julgar a qualidade de frutos MP com base na sua aparência (JANG; MOON, 2011). Jiang et al. (2016) enfatizam que o escurecimento da polpa em maçãs está relacionado à reação de oxidação, principalmente catalisada pela enzima PPO.

O processamento mínimo de frutas deve começar com a seleção dos frutos das cultivares mais adequadas, avaliando características como textura da polpa, compostos bioativos, potencial de escurecimento e outros atributos físico-químicos (PIAGENTINI; PIROVANI, 2017). O emprego de agentes conservantes também se faz necessário para prevenir a deterioração biológica e química da fruta após o processamento, impedindo a oxidação de pigmentos, sabores, lipídios e vitaminas (BENSID et al., 2020; FAN, 2022). Muitos conservantes têm sido estudados ao longo dos anos e sua efetiva ação na conservação das maçãs MP está diretamente relacionada à cultivar (FAN, 2022). Os agentes conservantes, também chamados de inibidores do escurecimento, podem ser classificados de acordo com seu modo de ação como: agentes antioxidantes, acidulantes, quelantes, complexantes ou inibidores enzimáticos, atuando diretamente nas enzimas, nos substratos ou ainda nos produtos de reação (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2000). Ainda não há legislação

específica no Brasil para os produtos minimamente processados estabelecendo os tipos de inibidores de escurecimento permitidos e os limites de aplicação (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2000). Para Bensid et al. (2020), há também a necessidade de estabelecer em cada país um esquema regulatório apropriado para garantir aos consumidores a segurança e eficácia desses agentes. Sais de ascorbato, como o eritorbato de sódio (ES), apresentam ação antioxidante e resultados promissores na inibição do escurecimento da polpa e manutenção da qualidade de maçãs MP (SEIFERT, 2017; CAROCHO et al., 2018; RIBEIRO et al., 2019a). Ribeiro (2016) trabalhou com maçãs 'Gala' e 'Fuji' MP e usou o ES a 5% em associação com  $\text{CaCl}_2$  a 1% como agentes conservantes e verificou que não ocorreram perdas de qualidade significativas após um armazenamento de 9 dias, em ambas as cultivares. Cantillano et al. (2017) testaram concentrações de ES como agentes conservantes na maçã MP 'Royal Gala' e concluíram que ambos os antioxidantes e em qualquer concentração foram eficientes no controle de escurecimento da polpa dos frutos. Todavia, para estes autores, apenas o ES a 5% foi eficiente no controle do escurecimento da polpa das maçãs após o prolongamento do armazenamento em 9 dias.

O eritorbato de sódio está autorizado como aditivo alimentar no Brasil, pela ANVISA (2013), na função de antioxidante para uso em produtos de frutas e de vegetais e geleia de mocotó, com limite máximo de ingestão não especificado. Nos EUA, o ácido eritróico beneficiou-se da proibição dos sulfitos nas saladas e atuou como substituto destes. Lá, este composto é maioritariamente consumido (80%) sob a forma de eritrobato de sódio, nomeadamente em carnes curadas, frutos congelados, vegetais, óleos, gorduras, mariscos e peixes (CAROCHO et al., 2018). Na União Europeia (UE), o eritorbato de sódio está autorizado em conformidade com o Regulamento 1333/2008 sobre aditivos alimentares. Em 2016, um Painel de Aditivos Alimentares e Fontes de Nutrientes Adicionados aos Alimentos (Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to food (ANS), foi realizado pela Autoridade Europeia de Segurança Alimentar (European Food Safety Authority - EFSA), e emitiu um parecer científico reavaliando a segurança do eritorbato de sódio como aditivo alimentar. Segundo o painel, o Comitê Conjunto de Especialistas FAO/OMS em Aditivos Alimentares (The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives - JECFA) avaliou o ácido eritróico e o eritrobato de sódio em 1962, 1974 e 1990, e em sua última avaliação atribuiu uma ingestão diária aceitável "não especificada". Já o Comitê Científico de Alimentos (The Scientific Committee on Food - SCF) da UE

avaliou o ácido eritórbico e o eritorbato de sódio em 1987, 1990 e 1997, e considerou uma ingestão diária de 6 mg/kg/dia a recomendada (EFSA, 2016).

No painel realizado pela EFSA, concluiu-se que a absorção, distribuição, metabolismo e excreção do ES foi considerada semelhante à do ácido ascórbico. Além disso, o painel observou que a toxicidade aguda do ES é baixa, não houve indicação de efeitos adversos nos estudos de toxicidade subcrônica, não houve preocupação com relação à sua genotoxicidade nem quanto à carcinogenicidade e nenhum efeito histopatológico foi observado nos órgãos reprodutores masculinos e nem desenvolvimento de problemas no pré-natal. Desta maneira, o uso de ácido eritórbico e eritorbato de sódio como aditivos alimentares nos níveis de uso recomendado não apresentou riscos à saúde humana (EFSA, 2016). Embora, na EU, o uso de ES esteja autorizado somente para produtos de carne tratados ou não tratados termicamente, peixes processados e não processados, incluindo moluscos e crustáceos e ovas de peixes, a EFSA reconhece seu uso, por parte da indústria, em outras categorias de alimentos como recheios de massas, produtos de padaria e confeitaria, produtos lácteos fermentados, gorduras, óleos e emulsões de gordura e óleo, processados de frutas e produtos hortícolas, etc. Com isso, o painel também observou, através dos resultados analíticos, que a segurança do ES como aditivo alimentar pode ser estendida para as categorias de alimentos onde o determinado aditivo ainda não possui autorização (EFSA, 2016). Diante disso, compreender os diferentes efeitos adversos do processamento mínimo em novas cultivares de maçãs e aplicar as tecnologias de conservação mais indicadas é um grande avanço para fomentar um mercado em crescimento e estimular o consumo de alimento saudável, garantindo a segurança e a qualidade do produto.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial de cultivares de macieira desenvolvidas no Brasil para o mercado de MP, considerando atributos de cor relacionados ao escurecimento da polpa, atividade de enzimas relacionadas com o processo de escurecimento da polpa e demais atributos físico-químicos das maçãs. Também foi objetivo do estudo avaliar o efeito de concentrações do agente conservante ES sobre o escurecimento da polpa e demais atributos de qualidade de maçãs das cultivares Luiza, Venice, Elenise e Fuji Mishima submetidas ao processamento mínimo após um curto e um longo período de AR.

## 2 PADRÃO DO ESCURECIMENTO DA POLPA DE NOVAS CULTIVARES DE MAÇÃ

### 2.1 INTRODUÇÃO

A maçã é o fruto de clima temperado de maior dispersão, comercialização e consumo como fruta fresca no mundo (HAUAGGE; BRUCKNER, 2002). No Brasil, o agronegócio da macieira conta com um histórico importante de organização e planejamento, mas precisa de inovações para o fortalecimento da cadeia e o aumento no consumo do fruto (CRUZ et al., 2015). A produção nacional foi crescendo juntamente com o aumento do consumo. Todavia, mesmo sendo a terceira fruta mais consumida pelos brasileiros, o volume de maçã consumido ainda é muito baixo, considerando a dimensão populacional do país e o consumo per capita em outros países. Nesse sentido, a promoção do mercado de minimamente processado na maçã pode motivar o aumento de consumo do fruto, assim como motivou o de outros alimentos (OMS-LIU et al., 2008).

Pesquisas indicam que a indústria de processamento mínimo da maçã tem grande potencial, e pode aumentar o consumo deste fruto. Nos EUA, segundo Subhashree et al. (2017), as maçãs minimamente processadas (MP) emergiram como lanche popular nos programas de merenda escolar e no consumo familiar, e a tendência é que este mercado continue crescendo à medida que mais consumidores exigem um lanche rápido, conveniente, seguro, saudável e nutritivo (HARICH et al., 2017). Oms-Liu et al. (2008) afirmam que o aumento na produção e no consumo de frutas MP pode ser explicado pelo estilo de vida dos consumidores modernos, aliado ao fato da maior procura por produtos *in natura*, pelos seus grandes benefícios, reduzindo o consumo de alimentos industrializados e de desperdícios de alimentos frescos.

O principal problema dos vegetais MP, especialmente a maçã, é o escurecimento enzimático. A maçã é altamente susceptível ao escurecimento enzimático devido sua estrutura e composição fenólica. Em sua composição existem enzimas e substratos específicos para a ação oxidativa enzimática (JAKOBEK et al., 2013). A intensidade do escurecimento depende da complexa interação entre atividade da enzima polifenoloxidase (PPO), presença do oxigênio molecular (O<sub>2</sub>) e concentração dos compostos fenólicos que são os substratos da mesma (JIANG et

al., 2016). O corte do fruto, durante o processamento mínimo, facilita o contato entre a enzima e substrato, de forma que a intensidade e velocidade do escurecimento da polpa tornam-se dependentes do conteúdo de compostos fenólicos, atividade da enzima PPO e a natural capacidade antioxidante do fruto. Segundo Tappi et al. (2019), existe uma variação significativa na atividade da PPO em diferentes cultivares. Além disso, a capacidade antioxidante e os compostos fenólicos também apresentam grande variação entre cultivares (STANGER et al., 2017; STANGER et al., 2018).

O Brasil não possui uma indústria estabelecida de maçã MP e as pesquisas neste setor são muito escassas. Dentre os inúmeros desafios para este setor, destaca-se a necessidade de encontrar cultivares mais apropriadas em termos de qualidade e vida de prateleira potencial, uma vez que a cultivar é um dos principais fatores que exercem influência sobre o escurecimento enzimático (TAPPI et al., 2019). As cultivares 'Gala' e 'Fuji', que correspondem a mais de 90% da produção nacional (PETRI et al., 2011), são bastante suscetíveis ao escurecimento enzimático logo após o corte da polpa (ROJAS-GRAÜ et al., 2006; BERTRAND, et al., 2015).

Nos EUA já foram desenvolvidos estudos de modificação genética em cultivares de macieira com intuito de usá-las para o processamento mínimo (MAXMEN, 2017; HAMDAN et al., 2022). O Brasil não produz maçãs exclusivamente para uso industrial, como ocorre em outros países. Todavia, através de modificações genéticas e cruzamentos entre cultivares de maçãs, a pesquisa desenvolveu avanços agronômicos com promoção de plantas adaptadas a condições climáticas e menos susceptíveis a fitopatógenos (FURLAN et al., 2010). Adicionalmente, o melhoramento permitiu o surgimento de maçãs com escurecimento enzimático tardio ou ausência de escurecimento, possibilitando ao fruto sofrer um estresse mecânico, durante o processamento, e a polpa permanecer inalterada em relação à cor, durante horas (ERCOLI et al., 2017; DENARDI et al., 2020). Assim, frutos com menor taxa ou ausência de escurecimento enzimático podem ser opções em potencial para às indústrias de minimamente processados, gerando um apelo sensorial com a cor quase inalterada.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o escurecimento e a mudança total de cor da polpa em novas cultivares de maçãs, através de parâmetros colorimétricos, com a intenção de identificar uma ou mais cultivares de macieira desenvolvidas no Brasil com mínima ocorrência deste fenômeno.



## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Maças das cultivares Daiane, SCS427 Elenise, Fuji Mishima, Kinkas, SCS425 Luiza, SCS417 Monalisa, Maxi Gala e SCS426 Venice foram colhidas de pomares localizados no município de São Joaquim, SC (latitude 28°10'02.28" S, longitude 50°03'48.07" W, altitude 1158 metros e latitude 28°17' S, longitude 49°55' W, altitude 1415 m), durante a safra 2018/2019. As macieiras foram enxertadas sobre o porta-enxerto Marubakaido com inte-renxerto de M-9 e conduzidas em "líder central" de acordo com as práticas de manejo recomendadas no sistema de produção da macieira (SEZERINO, 2018). Após a colheita, foi efetuada uma padronização de calibre, e os frutos que apresentavam podridões, lesões ou defeitos foram eliminados. Os atributos de maturação (firmeza da polpa, acidez titulável, teor de sólidos solúveis e índice iodo-amido) foram avaliados, em todas as cultivares, após a colheita, e encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Data da colheita, firmeza da polpa (FP), teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e índice de iodo-amido (IA) em frutos de oito cultivares de macieira na colheita, na safra 2018/2019.

Cultivar	Data colheita	FP (N)	SS (°Brix)	AT (% ac. málico)	IA (1-10)
Monalisa	05/02	91,5	11,9	0,77	4,9
Luiza	13/02	88,3	11,4	0,43	5,8
Maxi Gala	18/02	74,2	10,7	0,39	7,2
Venice	15/03	81,9	13,0	0,50	6,9
Daiane	18/03	75,0	11,7	0,46	8,8
Fuji Mishima	18/03	75,2	12,5	0,44	7,7
Kinkas	26/04	75,9	12,7	0,49	7,1
Elenise	26/04	71,3	13,9	0,71	7,9

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Após a colheita, os frutos foram imediatamente levados ao laboratório para avaliação dos atributos de cor relacionados ao escurecimento da polpa. As maçãs foram cortadas ao meio, na porção equatorial, e dispostas em bandejas de papelão em condições ambiente ( $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ /UR de  $75\pm 5\%$ ). Os frutos foram mantidos em condições ambiente, de maneira a induzir o escurecimento da polpa e consequentemente averiguar o padrão de escurecimento das cultivares, sem considerar que, após o corte para MP, estes produtos devem ficar sob refrigeração.

Após o corte, foram realizadas duas leituras de atributos de cor em regiões opostas da polpa dos frutos, utilizando um colorímetro, modelo CR 400 (Konica Minolta®, Tóquio, Japão), em 14 intervalos de tempo (0, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 600, 1080, 1560, 2880 minutos). Através dos parâmetros coletados pelo colorímetro ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ), foram avaliados a luminosidade da polpa (*Lightness*;  $L^*$ ), o índice de escurecimento (IE) e a mudança total de cor ( $\Delta E$ ). O IE e  $\Delta E$  foram obtidos por meio das respectivas equações apresentadas abaixo, conforme Subhashree et al. (2017):

$$IE = \frac{100 \left[ \left( \frac{a + 1,75L}{5,635L + a - 3,012b} \right) - 0,31 \right]}{0,17}$$

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L^* 0)^2 + (a^* - a^* 0)^2 + (b^* - b^* 0)^2}$$

Os parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  desenvolvidos em 1976 fornecem uma diferenciação de cores mais precisa em relação à percepção humana (HUNTERLAB, 1996; PATHARE et al., 2013), definindo em três eixos perpendiculares –  $L^*$  eixo principal (preto = 0 ao branco = 100);  $a^*$  (verde (-) ao vermelho (+)) e  $b^*$  (azul (-) ao amarelo (+)). Os parâmetros a e b são coordenadas que para melhor entendimento podem ser transformadas (MCGUIRE, 1992).

A intensidade de escurecimento, durante o período após o corte das maçãs é representado pelo IE, sendo que quanto maior o valor do índice, mais severo é o escurecimento. Já os valores de  $\Delta E$  indicam o quanto a amostra diferiu ou se distanciou do padrão. Quanto mais perto do valor 0, ou seja, quanto menor a diferença, mais próximo do padrão selecionado (HUNTERLAB, 1996). Cada cultivar apresenta uma tonalidade e uma luminosidade da polpa específica, sendo que algumas são naturalmente mais claras e outras mais escuras. Desta maneira, para eliminar a heterogeneidade entre as amostras e avaliar apenas o escurecimento ocorrido após o corte dos frutos, o atributo “índice de escurecimento” foi normalizado, utilizando o parâmetro inicial sempre como divisor comum, conforme a equação:  $IE_{[0; 10; 20; (...); 2880]} / IE_{[0]}$  (NIAMNUY et al., 2008; SUBHASHREE et al., 2017).

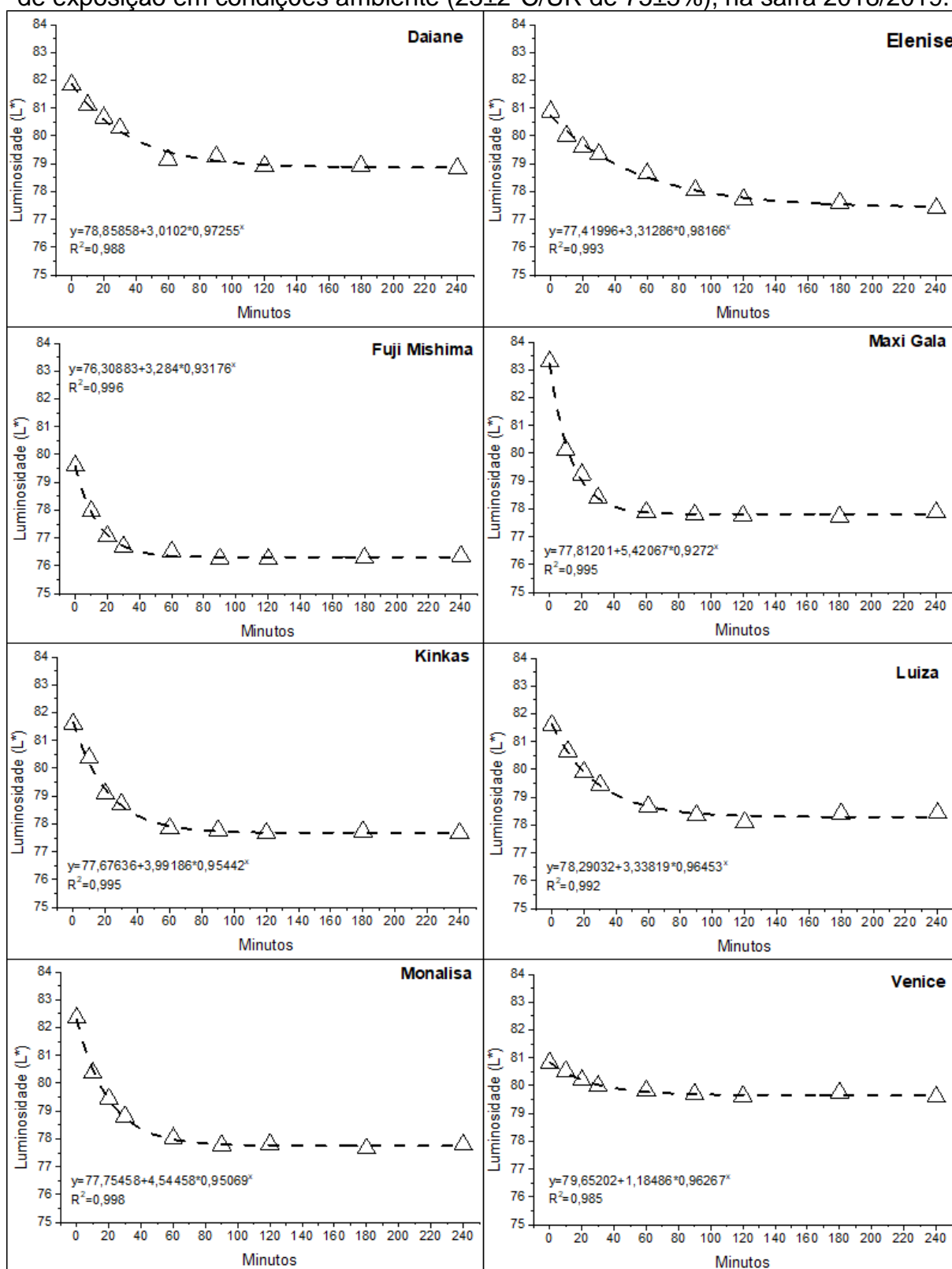
Este experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado; composto por 5 repetições de 10 frutos, seguindo um esquema fatorial “cultivar” (8) x “intervalo de leitura” (14), após a realização do corte dos frutos. Foi realizada análise da variância (ANOVA), e quando a interação entre os fatores foi significativa ( $p < 0,05$ ),

os dados foram submetidos ao desdobramento dos efeitos. Para o fator “cultivar” foi realizado teste de comparação de médias Scott-Knott, enquanto para o fator “intervalo de leitura” foi realizado análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa estatístico Sisvar, versão 5.6 (FERREIRA, 2010).

### 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fatores “cultivar” e “intervalo de leitura” apresentaram interação significativa em todas as variáveis analisadas. A redução máxima da luminosidade, o máximo escurecimento e a mudança total de cor na polpa das maçãs variaram em tempo e intensidade, dependendo das cultivares avaliadas. Contudo, substanciais alterações destas variáveis ocorreram, em média, durante os primeiros 50 minutos de exposição à temperatura ambiente, após o corte dos frutos (Figuras 1, 2 e 3). As alterações de cor, decorrente do dano mecânico sofrido pelo tecido das maçãs após o corte, aparecem em alguns minutos, e, para Oyarzún et al. (2018), com uma manifestação máxima até 1 h depois do corte. Portanto, considerando o processo na indústria de minimamente processados, para reduzir essas alterações, os frutos recém-cortados devem ser armazenados em temperaturas próximas a 0 °C e sua manipulação deve ser realizada em temperaturas baixas, entre 4 °C e 10 °C (ESCALONA; LUCHSINGER, 2008), pois as temperaturas baixas reduzem as reações enzimáticas. Tomás-Barberán e Espin (2001) verificaram que em temperaturas de 0 °C a 4 °C a atividade da PPO tende a diminuir, reduzindo o escurecimento na polpa dos frutos.

Figura 1. Variação da luminosidade ( $L^*$ ) na polpa de oito cultivares de maçã em função do tempo após o corte dos frutos na região equatorial, durante quatro horas de exposição em condições ambiente ( $23\pm 2^\circ\text{C}/\text{UR}$  de  $75\pm 5\%$ ), na safra 2018/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Imediatamente após o corte dos frutos, comparando o valor de  $L^*$  entre as cultivares, verificou-se que a luminosidade da polpa na cultivar Maxi Gala é maior, seguida pela cv. Monalisa e pelas cvs. Daiane, Kinkas e Luiza (Tabela 2). Sendo assim, por estas cultivares apresentarem uma luminosidade da polpa naturalmente maior, a redução deste atributo tende a ser mais abrupta após o corte dos frutos e consequentemente ser percebida visualmente com mais facilidade em relação às demais cultivares. A cv. Fuji Mishima é a que possui a polpa com menor luminosidade, seguida pelas cvs. Elenise e Venice, ou seja, são as cultivares com menor propensão a grandes alterações na luminosidade da polpa após o corte dos frutos.

A variável  $L^*$  é um eficiente indicador do escurecimento da polpa de frutos durante o armazenamento, quer resultante de reações oxidativas de escurecimento, quer do aumento da concentração de pigmentos (ROCHA; MORAIS, 2003). Segundo Qi et al. (2011), o armazenamento sob baixa temperatura contribui para retardar a perda de luminosidade em maçãs MP.

Analisando a redução da luminosidade entre as cultivares, foi possível verificar diferenças logo aos 10 minutos após o corte (Tabela 2). Neste período, a 'Maxi Gala' apresentou a maior redução na luminosidade da polpa, seguida pela 'Monalisa' e pelas cvs. Fuji Mishima e Kinkas, enquanto as demais cultivares apresentaram menor redução da luminosidade, sem diferenças entre elas. Embora a luminosidade e a tonalidade da polpa característica de cada cultivar apresentem diferenças e peculiaridades entre elas, nota-se que algumas cultivares se destacam, mantendo seus atributos visuais muito próximos do natural, mesmo minutos após o corte da polpa e o início das reações de oxidação.

Após uma hora do corte dos frutos, a cultivar Maxi Gala seguiu como a cultivar com maior redução da luminosidade, em média 47% maior do que as demais, seguida pelas cultivares Kinkas e Monalisa e posteriormente as cultivares Luiza, Fuji Mishima e Daiane (Tabela 2). A cultivar Venice foi a que apresentou menor redução da luminosidade. Na avaliação realizada 4 h após o corte, a cultivar Maxi Gala, seguida da cv. Monalisa e da cv. Kinkas foram as que apresentaram maior redução da luminosidade. Após 10 h, a 'Maxi Gala' e a 'Monalisa' apresentaram maior redução da luminosidade, enquanto a cv Fuji Mishima não diferiu da 'Venice', como as cultivares com menor redução da luminosidade da polpa. Após dois dias do corte das maçãs, as cultivares Maxi Gala, Kinkas e Monalisa apresentaram as maiores reduções de luminosidade na polpa sem diferenças entre si, seguidas pela cv. Luiza. A cultivar

Venice foi a que apresentou menor redução da luminosidade na polpa durante todo o período de avaliação, até dois dias após o corte, variando com uma redução de luminosidade que chegou a 84% menor em relação às demais cultivares.

Os consumidores costumam julgar a qualidade de frutos MP com base na sua aparência (JANG; MOON, 2011). O atributo “luminosidade” é considerado um dos principais parâmetros de qualidade visual da polpa de frutos, sendo que quanto maior os valores de  $L^*$ , maior a aceitabilidade dos consumidores (ROCHA; MORAIS, 2003).

Tabela 2. Luminosidade na polpa imediatamente após o corte (LP) e redução da luminosidade, em unidades de *lightness*, de oito cultivares de maçã em função do tempo após o corte dos frutos, na região equatorial e exposição em condições ambiente (temperatura de  $23\pm 2^\circ\text{C}$ /UR de  $75\pm 5\%$ ), na safra 2018/2019.

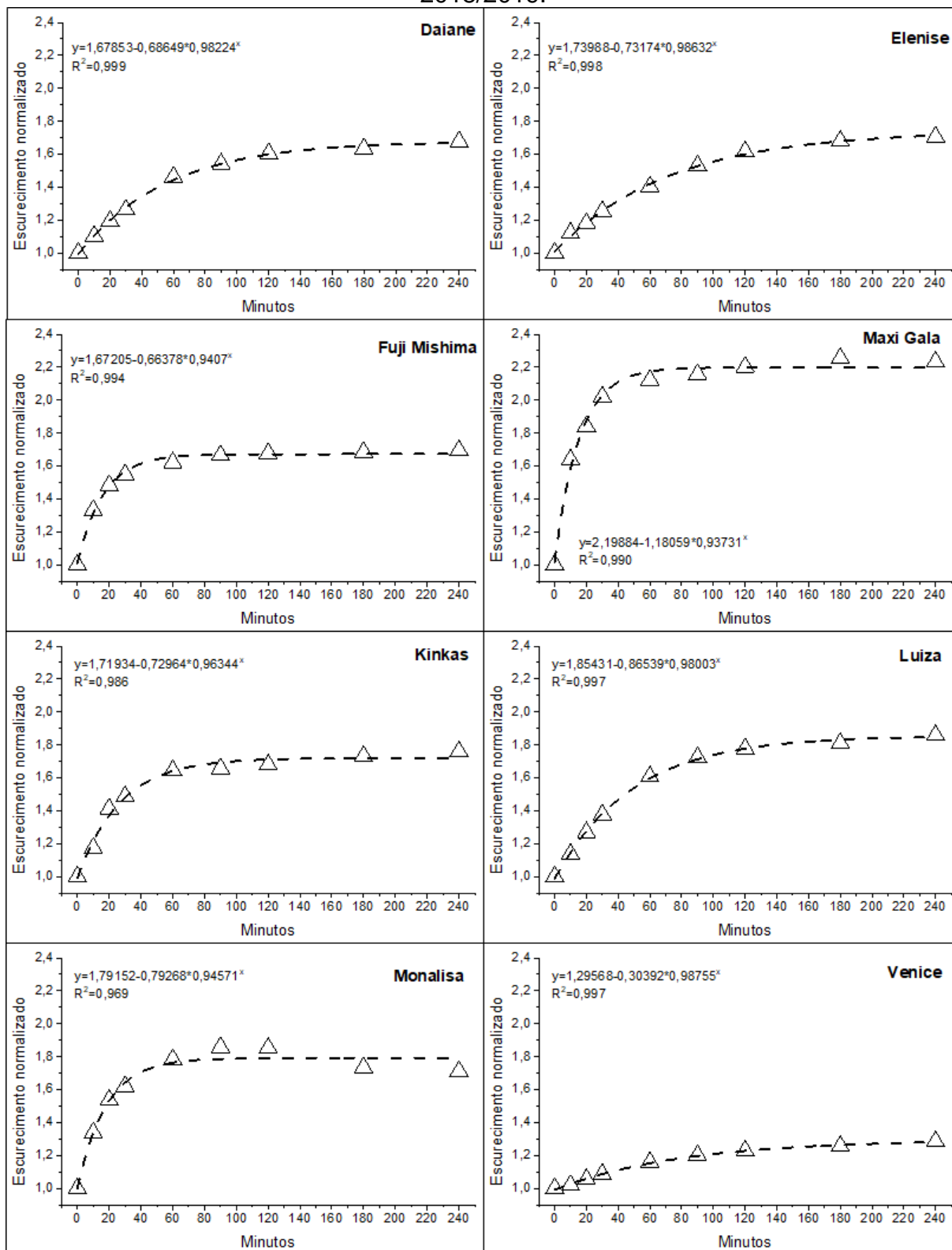
Cultivar	LP	Redução de luminosidade ( $L^*$ )				
		10	60	240	600	2880
		min				
Daiane	81,8 c	0,7 d	2,7 c	3,0 d	4,3 b	4,8 c
Elenise	80,9 d	0,9 d	2,2 d	3,5 d	3,9 b	5,3 c
Fuji Mishima	79,6 e	1,6 c	3,1 c	3,2 d	3,3 c	5,0 c
Maxi Gala	83,3 a	3,2 a	5,4 a	5,4 a	5,2 a	7,5 a
Kinkas	81,6 c	1,2 c	3,8 b	3,9 c	4,2 b	7,5 a
Luiza	81,6 c	0,9 d	2,9 c	3,2 d	4,3 b	6,6 b
Monalisa	82,3 b	2,0 b	4,3 b	4,6 b	4,9 a	7,2 a
Venice	80,8 d	0,3 d	1,0 e	1,2 e	2,7 c	1,0 d
CV (%)	0,6	15,2				

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O escurecimento da polpa dos frutos, de cada cultivar, apresenta uma progressão até um ponto máximo, correspondendo à atividade máxima da PPO e POD sob seus substratos, indicando que estes substratos, contidos na superfície em contato com o ar, foram hidrolisados, transformando-se em pigmentos escuros (Figura 2). Após o ponto máximo de atividade, os atributos de cor ao longo do tempo não se modificaram significativamente, tendendo à uma constante durante o tempo final da análise. Todavia, o corte na porção equatorial das maçãs, as expõem num ambiente onde podem ocorrer modificações nesta região exposta, como a perda da umidade, alterando os resultados nas medições sucessivas.

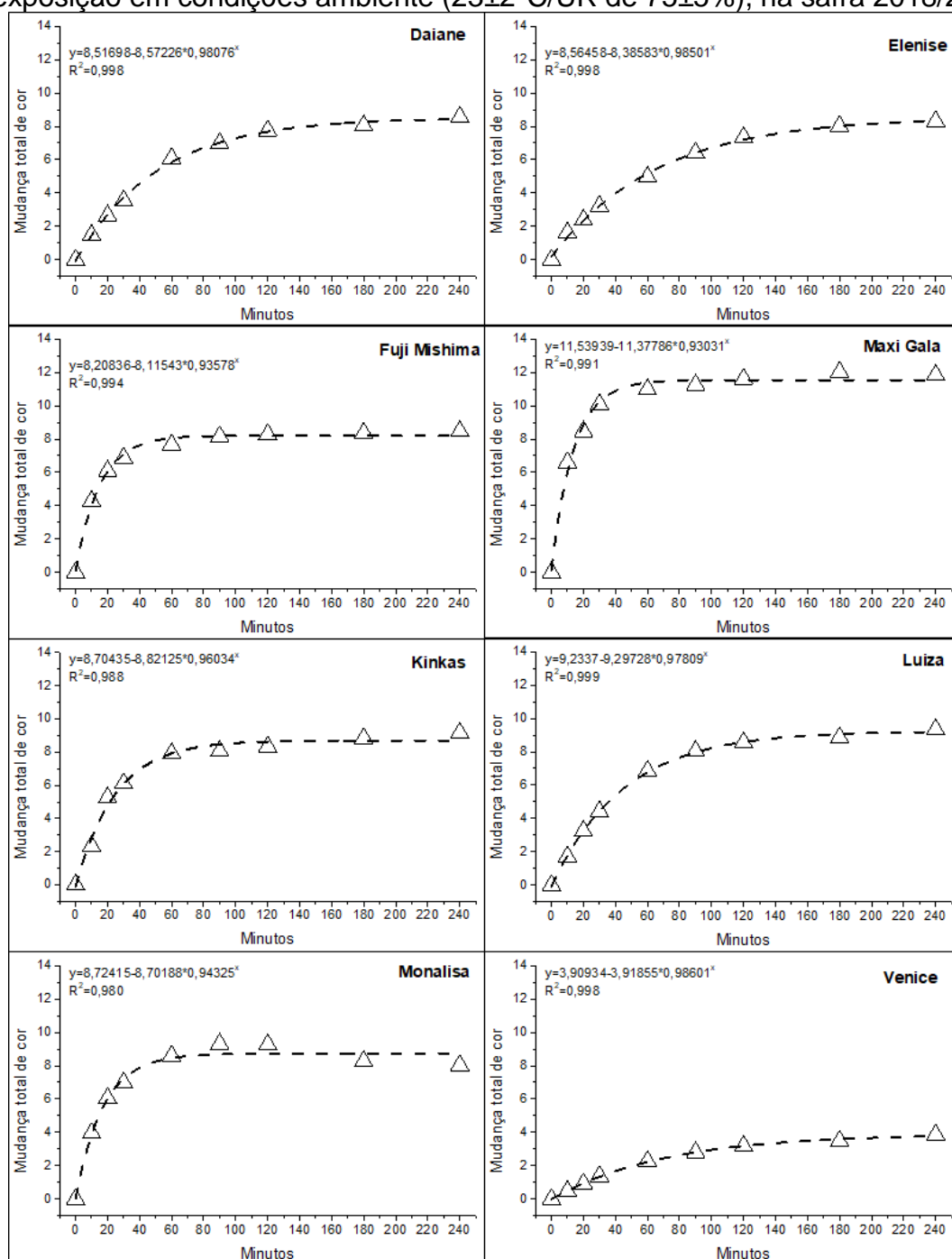
Figura 2. Variação do escurecimento normalizado na polpa de oito cultivares de maçãs em função do tempo após o corte dos frutos na região equatorial, durante quatro horas de exposição em condições ambiente ( $23\pm 2^{\circ}\text{C}/\text{UR}$  de  $75\pm 5\%$ ), na safra 2018/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A compreensão dos detalhes que envolvem o processo do escurecimento enzimático em diferentes cultivares é necessária para que seu controle possa ser realizado. Para Kumar et al. (2012), apesar dos muitos esforços realizados com a utilização de tratamentos físicos que permitam a inibição da atividade enzimática da PPO, sem a adição de agentes químicos, estes não são suficientemente eficientes.

Figura 3. Variação da mudança total de cor na polpa de oito cultivares de maçãs em função do tempo após o corte dos frutos na região equatorial, durante quatro horas de exposição em condições ambiente ( $23\pm 2^{\circ}\text{C}/\text{UR}$  de  $75\pm 5\%$ ), na safra 2018/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.



Em relação ao escurecimento da polpa, o destaque negativo foi a cultivar Maxi Gala, que apresentou escurecimento superior, variando, em média, entre 30 e 40% a mais em relação às outras cultivares, desde os 10 minutos até dois dias após o corte dos frutos (Tabela 3). O escurecimento da polpa em maçãs cortadas ocorre devido a reações químicas catalisadas principalmente pela enzima PPO. O papel da PPO, na reação de escurecimento enzimático, é oxidar fenóis em quinonas (CORTELLINO et al., 2015). As reações subsequentes, que ocorrem após a produção das quinonas, levam à polimerização de quinonas em pigmentos marrons (melanina).

Aos 10 minutos após o corte, as cultivares Fuji Mishima e Monalisa também apresentaram escurecimento da polpa superior às demais, porém, inferior à 'Maxi Gala' (Tabela 3). Após uma hora do corte dos frutos, a 'Venice' já apresentava o menor escurecimento entre todas as cultivares, e manteve-se como a cultivar com menor escurecimento até os dois dias após a realização do corte, numa variação média de 40% menos escurecimento. Na avaliação realizada após uma hora de realização do corte, as cultivares Daiane e Elenise também apresentaram um baixo escurecimento, superior apenas à 'Venice', enquanto a 'Monalisa' apresentou alto escurecimento, inferior apenas em relação à 'Maxi Gala'. Com quatro e dez horas após o corte, a 'Luiza' apresentou escurecimento superior às demais e inferior à 'Maxi Gala'. Ao final de dois dias, a 'Luiza' seguiu como a segunda cultivar com maior escurecimento, enquanto a 'Fuji Mishima' foi a segunda cultivar com menor escurecimento da polpa.

Tabela 3. Escurecimento normalizado na polpa de oito cultivares de macieira em função do tempo (10 minutos, 1 hora, 4 horas, 10 horas e 2 dias) após o corte dos frutos na região equatorial e exposição em condições ambiente ( $23\pm 2^{\circ}\text{C}/\text{UR}$  de  $75\pm 5\%$ ), na safra 2018/2019.

Cultivar	Tempo após o corte dos frutos (min)				
	10	60	240	600	2880
Daiane	1,10 c	1,46 d	1,68 c	1,71 c	2,04 c
Elenise	1,12 c	1,40 d	1,71 c	1,79 c	2,05 c
Fuji Mishima	1,33 b	1,62 c	1,69 c	1,70 c	1,85 d
Maxi Gala	1,64 a	2,12 a	2,23 a	2,29 a	2,67 a
Kinkas	1,17 c	1,64 c	1,76 c	1,80 c	2,15 c
Luiza	1,14 c	1,61 c	1,86 b	1,99 b	2,43 b
Monalisa	1,34 b	1,78 b	1,71 c	1,78 c	2,08 c
Venice	1,02 c	1,16 e	1,29 d	1,35 d	1,50 e
CV (%)	6,5				

Fonte: Elaborado pelo autor, 2019.

Nota: Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Para a mudança total de cor a cultivar Venice novamente foi destaque positivo, com menor alteração de cor, durante todo o período de avaliação (Tabela 4). Em contrapartida, a cultivar Maxi Gala foi o destaque negativo, com a maior alteração de cor. A oxidação causada pela atividade enzimática, além de causar alteração na cor da polpa das maçãs, também pode resultar em perda de qualidade nutricional e proporcionar modificações de sabor (CARVALHO et al., 2010). Segundo Son et al. (2001), a intensidade da cor marrom, resultante da atividade da PPO, depende do perfil de compostos fenólicos no tecido.

A mudança de cor na polpa das maçãs foi mais elevada na cultivar 'Maxi Gala', em todas as avaliações realizadas, e na cultivar Luiza, aos dois dias após o corte (Tabela 4). A 'Venice' apresentou, em todas as avaliações, menor mudança total de cor, sendo que dois dias após o corte de seus frutos os resultados de mudança de cor foram similares aos da 'Maxi Gala' aos 10 minutos após o corte. Aos 10 minutos após o corte, as cultivares Fuji Mishima e Monalisa apresentaram mudança total de cor inferior apenas à cultivar Maxi Gala e superior às demais. Uma hora após o corte, as cultivares Kinkas e Fuji Mishima apresentaram mudança total de cor inferior apenas à 'Maxi Gala', seguidas pela cultivar Luiza. A 'Elenise' apresentou mudança total de cor superior apenas à 'Venice'. Em quatro horas após o corte dos frutos, as cultivares Maxi Gala e Venice apresentaram maior e menor mudança total de cor, respectivamente, enquanto as demais cultivares apresentaram resultados intermediários sem diferirem entre si. Em 10 h após o corte, a cultivar Luiza apresentou mudança total de cor inferior apenas à 'Maxi Gala' e superior as demais. Já após dois dias do corte dos frutos, a 'Luiza' e a 'Maxi Gala' apresentaram maior mudança total de cor, sem diferenças entre si, seguidas da cv. Kinkas, enquanto a cultivar Venice apresentou, dentre todas, a menor mudança de coloração.

Tabela 4. Mudança total de cor na polpa de oito cultivares de macieira em função do tempo (10 minutos, 1 hora, 4 horas, 10 horas e 2 dias) após o corte dos frutos na região equatorial e exposição em condições ambiente ( $23\pm 2^\circ\text{C}/\text{UR}$  de  $75\pm 5\%$ ), na safra 2018/2019.

Cultivar	Tempo após o corte dos frutos (min)				
	10	60	240	600	2880
Daiane	1,5 c	6,1 d	8,6 b	9,0 c	12,4 c
Elenise	1,6 c	5,0 e	8,3 b	9,2 c	11,8 c
Fuji Mishima	4,3 b	7,7 b	8,5 b	8,5 c	10,4 d
Maxi Gala	6,6 a	11,0 a	11,8 a	12,2 a	15,2 a
Kinkas	2,3 c	7,9 b	9,2 b	9,6 c	13,3 b
Luiza	1,7 c	6,9 c	9,3 b	10,6 b	14,5 a
Monalisa	4,0 b	8,6 b	8,0 b	8,7 c	11,9 c
Venice	0,5 d	2,3 f	3,9 c	4,9 d	6,7 e
CV (%)	11,4				

Nota: Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Os resultados de luminosidade, escurecimento e mudança total de cor na polpa dos frutos indicam que algumas cultivares apresentam maior potencial para a utilização na indústria de processamento mínimo. As cultivares Fuji Mishima, Elenise e especialmente Venice apresentaram os melhores resultados. Já a cultivar Maxi Gala, que atualmente é a mais produzida no Brasil (PETRI et al., 2011), apresentou resultados inferiores, indicando que dentre as cultivares avaliadas, pode não ser uma boa opção para o mercado de processamento mínimo de maçãs, ou que seu emprego para este fim depende da aplicação de antioxidantes e da temperatura de manipulação. A cultivar Fuji Mishima também tem um volume de produção elevado no país e pode ser melhor aproveitada para estes fins. Já as cultivares Elenise e Venice ainda estão em processo de difusão pelo Brasil, porém com boas perspectivas de cultivo devido a vantagens em relação aos clones de cvs. Gala e Fuji, como maior adaptabilidade as condições climáticas do país, resistência a doenças e boa qualidade dos frutos (DE MARTIN et al., 2018), além de menor velocidade de escurecimento e de alteração de cor da polpa, que pode tornar os frutos mais aptos para o processamento mínimo, conforme os resultados obtidos.

Para Denardi et al. (2020), além do alto potencial para o mercado de frutas frescas, a variedade de maçãs 'Elenise' pode promover mudanças nas indústrias de maçãs MP e de suco de maçã no Brasil que hoje dependem das cultivares 'Gala' e 'Fuji', pois apresenta lento escurecimento da polpa devido à baixa reação oxidativa de

seus compostos. Os resultados deste trabalho corroboram com os autores e, ainda incluem a cultivar Venice nesse nicho de mercado em potencial, pois seus frutos também apresentam lento escurecimento da polpa.

## 2.4 CONCLUSÕES

As maçãs da cultivar Venice apresentam menor escurecimento da polpa, comparadas às demais cultivares estudadas. Esta cultivar apresenta maior potencial para utilização na indústria de minimamente processados, bem como na indústria de sucos de maçãs, por conta da menor alteração visual dos frutos após os danos mecânicos.

As maçãs das cultivares Fuji Mishima e Elenise também possuem potencial para o mercado de minimamente processados pelas baixas alterações visuais na polpa dos frutos. Todavia, estudos mais aplicados nestas cultivares devem ser realizados.

### **3 POTENCIAL DE DIFERENTES CULTIVARES DE MACIEIRA PARA UTILIZAÇÃO COMO PRODUTO MINIMAMENTE PROCESSADO**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

No Brasil, as cultivares de maçãs produzidas limitam-se à 'Gala' e 'Fuji', incluindo suas mutações, com mais de 90% das áreas de cultivo (PETRI et al., 2011). Desde o início do cultivo de maçãs no país, um dos principais desafios para os pomicultores tem sido a adaptação deficiente de cultivares de maçãs com alto requerimento em frio hibernar para o clima local. A questão da sanidade vegetal dos pomares também é um desafio considerável, uma vez que o clima das regiões produtoras e a suscetibilidade das cultivares de maçãs atuais favorecem muito o desenvolvimento de doenças (BONETI et al., 2009). Além disso, pomares com uma ou duas cultivares têm implicado em grande demanda por mão de obra nas atividades de colheita, primordialmente nos sistemas que abrangem grandes áreas, necessitando muitas vezes investimentos em moléculas químicas para escalonar a colheita (KVITSCHAL; DENARDI, 2010). Esses problemas ocasionam um baixo rendimento da cultura, uma baixa qualidade das maçãs e altos custos de produção. Por essas razões, no início da década de 1970, foram iniciados os primeiros estudos sobre a criação de cultivares de maçãs no Brasil, dando origem ao Programa de Melhoramento Genético da Epagri. Os objetivos iniciais eram desenvolver e/ou introduzir novas cultivares de maçã bem adaptadas ao clima do sul do Brasil, que fossem resistentes às principais doenças, apresentassem elevado potencial de rendimento e produzissem frutos de qualidade (DENARDI et al., 2019).

Ao longo do tempo, com a elevação nos custos de produção da macieira e a escassez de mão de obra, novos objetivos foram adicionados ao programa de melhoramento, tais como: seleção de boas mutações espontâneas de 'Gala' e 'Fuji'; alta capacidade de armazenamento dos frutos; aumento das opções de cultivares comerciais para diversificar o período de colheita e a oferta ao consumidor; entre outros (DENARDI et al., 2019). Desta maneira, dezenas de cultivares foram lançadas pelo programa ao longo dos anos, como por exemplo as cultivares Monalisa, Daiane, Kinkas, Luiza, Venice e Elenise. Essas cultivares atendem aos objetivos iniciais do programa de melhoramento da Epagri, ou seja, possuem uma adaptabilidade climática melhor em relação às cultivares Gala e Fuji, apresentam bons rendimentos, com

produtividades semelhantes ou até superiores às cultivares atualmente cultivadas no país, possuem diferentes épocas de maturação, o que permite um escalonamento da colheita e são resistentes à algumas das principais doenças que acometem os pomares brasileiros, como a Mancha Foliar de *Glomerella* (DENARDI et al., 2015a,b,c).

A seleção de cultivares voltadas para diversos fins de consumo está recebendo atenção em programas de melhoramento de macieiras em todo o mundo (LAURENS, 1999). Embora as cultivares de maçãs desenvolvidas no Brasil não objetivem inicialmente atender um mercado de produtos processados, como sucos, cidras ou mesmo maçãs MP, algumas destas cultivares podem apresentar potencial para estes fins, devido à menor deterioração enzimática ou maior quantidade de substâncias com ação antioxidante naturalmente presentes nos frutos (SACHINI et al., 2018). Kvitschal e Denardi (2010) ressaltam que a cadeia produtiva da maçã no Brasil é vulnerável por conta da restrita disponibilidade de opções de cultivares comerciais em uso. Mas também avaliam que a estagnação do mercado em relação a inovações e métodos modernos de comercialização também é um problema. Desta maneira, o mercado de maçãs minimamente processadas surge como uma alternativa interessante, sobretudo com a utilização de novas cultivares (HARICH et al., 2017). Para Persic et al. (2017), o estudo de novas cultivares nacionais com potencial para processamento mínimo pode impulsionar este mercado no país e aumentar o consumo de maçãs como também pode contribuir com a diversificação de cultivares nos pomares.

As cultivares apresentam características distintas em relação a atributos de maturação e qualidade, o que interfere diretamente no potencial para serem utilizadas como alimento MP. Os atributos como teor de compostos fenólicos e atividade das enzimas PPO e POD de cada cultivar estão relacionados ao escurecimento da polpa das suas maçãs (JIANG et al., 2016; TAPPI et al., 2019). Nas células vegetais, os compostos fenólicos estão localizados nos vacúolos, enquanto a PPO está localizada nos plastídios. Áreas danificadas nas células permitem o contato entre a PPO e compostos fenólicos, desencadeando a reação conhecida como escurecimento enzimático. Cultivares com alto teor de compostos fenólicos, que conferem alta atividade antioxidante são interessantes para consumo *in natura*, enquanto cultivares com baixa atividade enzimática, que reduzam a deterioração oxidativa, são relevantes para o processamento de maçãs (PODSEDEK et al., 2000). A compreensão dos detalhes que envolvem o processo do escurecimento enzimático em diferentes

cultivares é necessária para que seu controle possa ser realizado. Levando isso em consideração, cada operação do processo deve ser projetada adequadamente para obter um produto MP que mantenha sua qualidade e forneça o máximo de seu potencial bioativo. A qualidade destes produtos, considerando seus atributos físico-químicos, valor nutricional ou saudável, dependerá da qualidade da fruta colhida, que poderá sofrer alterações dependendo da cultivar utilizada. Essa é a razão pela qual a seleção da cultivar é provavelmente uma das etapas mais importantes no processamento mínimo de frutas frescas (PIAGENTINI; PIROVANI, 2017).

O uso de agentes conservantes confere outra etapa importante na preparação de frutos MP. Sais de ascorbato, como o ES, apresentam resultados promissores na inibição do escurecimento da polpa e manutenção da qualidade de maçãs MP (CAROCHO et al., 2018; RIBEIRO et al., 2019a).

Neste sentido, este trabalho teve como objetivo comparar as cultivares Monalisa, Luiza, Venice, Daiane, Kinkas e Elenise, Maxi Gala e Fuji Mishima quanto à qualidade como produto MP, após o período de comercialização simulado, bem como o efeito do agente conservante ES sobre os atributos de qualidade das maçãs MP durante o período de comercialização simulado. Também é objetivo indicar, dentre as cultivares avaliadas, aquelas que são mais adequadas para o processamento mínimo.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Maçãs das cultivares SCS417 Monalisa, SCS425 Luiza, Daiane, SCS426 Venice, Maxi Gala, Fuji Mishima, Kinkas e SCS427 Elenise foram colhidas de pomares localizados no município de São Joaquim, SC (latitude 28°10'02.28" S, longitude 50°03'48.07" W, altitude 1158 metros e latitude 28°17' S, longitude 49°55' W, altitude 1415 m), durante a safra 2018/2019. Após a colheita, foi efetuada uma padronização de calibre, e os frutos que apresentavam podridões, lesões ou defeitos foram eliminados. Os atributos de maturação (firmeza da polpa, acidez titulável, teor de sólidos solúveis e índice iodo-amido) foram avaliados em todas as cultivares após a colheita, e encontram-se na Tabela 1.

Após a colheita, os frutos foram armazenados em câmara fria a  $0,5 \pm 0,2$  °C e UR de  $85 \pm 5\%$  durante 20 dias. Após o período em armazenamento refrigerado (AR), foi realizado o processamento mínimo dos frutos.

O processamento mínimo das maçãs iniciou com a seleção dos frutos, sendo utilizados frutos de tamanho e aparência uniforme e ausência de defeitos. Em seguida, as maçãs selecionadas foram sanitizadas, imergindo-as em uma solução de hipoclorito de sódio (200 ppm) durante 10 minutos. Após, as maçãs foram cortadas em oito fatias longitudinais, retirando-se a região carpelar e mantendo-se a casca. A opção de deixar a casca foi devido à boa aceitação por parte dos consumidores em países desenvolvidos (PERSIC et al., 2017) e por conta da casca conter maior quantidade de compostos funcionais em relação à polpa (STANGER et al., 2017). As fatias de maçãs de cada cultivar foram mergulhadas por um minuto nos seguintes tratamentos: sem antioxidante (água destilada + cloreto de cálcio 1%); ou com antioxidante (eritorbato de sódio 5% + cloreto de cálcio 1%). A escolha de ES com  $\text{CaCl}_2$  foi baseada em resultados que comprovam sua ação na preservação de atributos de qualidade em maçãs processadas (CANTILLANO; RIBEIRO; SEIFERT, 2017). Sais de cálcio, como o cloreto, têm sido utilizados em combinação com agentes antioxidantes, na prevenção da perda de firmeza de frutas e hortaliças inteiras e MP, sendo responsável pela redução de desequilíbrios fisiológicos e manutenção da cor (RAYBAUDI-MASSILIA et al., 2007; TECHAKANON; BARRETT, 2017). Posteriormente, oito fatias de maçãs foram acondicionadas em bandejas de polietileno tereftalato e armazenadas por quatro períodos de tempo (0, 3, 6, 9 dias), em BOD com a temperatura controlada em  $5 \pm 0,5$  °C e UR de  $80 \pm 8\%$ , simulando as condições de comercialização indicadas como adequadas para maçãs MP (PUTNIK et al., 2016).

Foram avaliados a perda de massa, a textura da polpa, a acidez titulável (AT), o teor de sólidos solúveis (SS), as taxas respiratórias e de produção de etileno, a atividade antioxidante total (AAT), pelos métodos ABTS e DPPH, os compostos fenólicos totais (CFT), o teor de ácido ascórbico (AA) e a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO). Também foi avaliado o escurecimento da polpa, através de leituras colorimétricas e expresso em luminosidade, ângulo *hue* ( $h^\circ$ ) e IE, de forma similar como descrito no capítulo 1.

A AAT e os CFT foram determinados apenas nas cultivares Luiza, Maxi Gala, Venice, Fuji Mishima e Elenise). A atividade das enzimas SOD, POD e PPO foram determinadas nas cultivares Luiza, Venice, Fuji Mishima e Elenise. O teor de AA foi determinado nas cultivares Luiza, Venice e Fuji Mishima.



A perda de massa foi calculada conforme a fórmula:  $(P_i - P_f) / P_i \cdot 100$ , onde  $P_i$  era peso da amostra no dia do processamento e  $P_f$  era o peso da amostra no dia da avaliação.

A textura da polpa (N) foi determinada em termos de força para penetração da polpa, utilizando o penetrômetro eletrônico TAXT plus<sup>®</sup> (Stable Micro Systems Ltda, Surrey, Reino Unido), com ponteira de 2 mm de diâmetro, sendo que as velocidades de pré-teste, teste e pós-teste foram, respectivamente, 30, 1, 30 e uma profundidade de penetração de 5 mm.

Os valores de AT (% de ácido málico) foram obtidos por meio de uma amostra de 5 mL de suco extraído das fatias dos frutos, diluídos em 45 mL de água destilada, e titulada com solução de NaOH 0,1 N até pH 8,1, utilizando titulador automático TitroLine<sup>®</sup> easy (SCHOTT Instruments, Mainz, Alemanha). Os teores de sólidos solúveis (°Brix) foram determinados em refratômetro digital, modelo PR201 $\alpha$  (Atago<sup>®</sup>, Tóquio, Japão), com uma alíquota do suco extraído das fatias dos frutos.

As taxas respiratórias ( $\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) e de produção de etileno ( $\eta\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ) foram quantificadas por analisador de gases e cromatografia gasosa, respectivamente. Amostras de fatias de frutos de cada repetição ( $\pm 1000$  g) foram acondicionadas em recipientes, com fechamento hermético. As taxas respiratórias e de produção de etileno foram obtidas pela diferença da concentração de  $\text{CO}_2$  e  $\text{C}_2\text{H}_4$ , respectivamente, no interior do recipiente, imediatamente após o seu fechamento e após um determinado período. Para análise da concentração de  $\text{CO}_2$  no interior do recipiente, o ar contido neste recipiente foi circulado, em sistema fechado, por meio de um analisador de gases  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$  (Schelle<sup>®</sup>, Alemanha). Para a análise do etileno, duas amostras de gás foram coletadas da atmosfera do espaço livre dos recipientes, utilizando uma seringa plástica de 1,0 mL, e injetadas em um cromatógrafo a gás, (PerkinElmer<sup>®</sup>, Clarus 580, Waltham, EUA), equipado com uma coluna Porapak N<sup>®</sup> de 3 m de comprimento (80-100 mesh) e detector de ionização de chama. As temperaturas da coluna, do detector e do injetor foram de 70; 250; e 130 °C, respectivamente. Os fluxos de nitrogênio, hidrogênio e ar sintético utilizados foram de 70, 45 e 450 mL  $\text{min}^{-1}$ , respectivamente.

Para obtenção dos extratos para as análises de AAT e CFT, foi retirada uma porção da polpa e uma porção de casca, de cada fatia dos frutos, de forma manual, com lâminas cortantes. As amostras foram maceradas em nitrogênio líquido. Para as extrações, foram utilizadas 5 g da polpa e 1 g de casca, que, após serem maceradas,

foram homogeneizadas, de forma independente, em ultraturrax modelo D-91126 (Schwabach, Alemanha), com 20 mL de metanol/água (50:50, v/v), e deixados em repouso por 60 minutos. Após, as amostras foram centrifugadas na temperatura de 4 °C a 12.000 rpm durante 20 minutos. O sobrenadante foi salvo e ao resíduo adicionado 20 mL de acetona/água (70:30, v/v), deixando em repouso por 60 minutos, seguidos por uma nova centrifugação de 20 minutos nas mesmas condições. O sobrenadante das duas centrifugações foi transferido para balão volumétrico, completando o volume para 50 mL com água destilada.

A determinação da AAT por ABTS ( $\mu\text{Mol trolox g}^{-1}$ ) foi realizada conforme metodologia descrita por Rufino et al. (2007a). O radical foi gerado a partir da reação da solução estoque de ABTS (7 mM) com o persulfato de potássio (140 mM), mantido no escuro por 16 h a 20 °C. Antes da análise, o radical ABTS foi diluído com álcool etílico até obter uma absorvância de  $0,70 \pm 0,05$ , no comprimento de onda de 734 nm. A partir do extrato hidroalcoólico, foram preparadas, em tubos de ensaio, três diluições diferentes, em triplicata. Foram transferidas alíquotas de 30  $\mu\text{L}$  de cada diluição do extrato para tubos de ensaio com 3,0 mL do radical ABTS, e homogeneizadas em agitador de tubos. As leituras foram realizadas em uma leitora de microplacas modelo EnSpire (PerkinElmer, USA), no comprimento de onda de 734 nm, após 6 min de reação.

A determinação da AAT por DPPH ( $\mu\text{Mol trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ ) foi realizada conforme metodologia descrita por Rufino et al. (2007b). O radical DPPH (0,06 mM) foi preparado no dia da avaliação, diluído em metanol. Foi transferida uma alíquota de 0,1 mL do extrato hidroalcoólico para tubos de ensaio com 3,9 mL do radical DPPH, em triplicata, com posterior homogeneização em agitador de tubos. A medida de absorvância foi realizada no comprimento de onda de 515 nm, após 30 min de reação com adição da amostra.

A determinação de CFT ( $\text{mg EAG } 100 \text{ g}^{-1}$ ) foi realizada utilizando o método Folin-Ciocalteu, conforme Roesler et al. (2007). Uma alíquota de 500  $\mu\text{L}$  dos extratos foi adicionada a 2,5 mL do reagente Folin-Ciocalteu/água destilada (25:75, v/v), sendo agitada e mantida por três minutos para reagir. Após, se adicionaram 2,0 mL de solução de carbonato de sódio (10%), que novamente foi agitada e mantida em repouso durante uma hora. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 765 nm.

Todas as etapas necessárias ao processo de determinação da atividade enzimática foram executadas a 4 °C. Para obtenção do extrato enzimático, utilizado para as análises da atividade de SOD, POD e PPO, foram homogeneizadas 500 mg de amostra dos frutos em ultra-turrax, modelo SilentCruscher M, marca Heidolph (Schwabach, Alemanha), com 5 mL do meio de extração, composto do tampão fosfato de potássio 0,100 M, pH 7,0 (Vetec, Duque de Caxias, Brasil), contendo 1 mM de polivinilpirrolidona insolúvel (PVP) (Vetec, Duque de Caxias, Brasil) e 1 mM de ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) (Synth, Diadema, Brasil), por 1 minuto. Após a homogeneização, adicionou-se 50 µL de Triton a 10% (Vetec, Duque de Caxias, Brasil). As amostras foram então mantidas em repouso por 15 minutos na geladeira e em seguida foram centrifugadas (modelo CR22N, marca Hitachi, Ibaraki, Japão) em temperatura de 4 °C por 15 minutos a 4000 rpm. O sobrenadante foi armazenado em microtubos de 2,0 mL a -50 °C até o momento das análises, que não foi superior a sete dias.

A atividade da enzima SOD foi determinada de acordo com o método descrito por Giannopolitis e Ries (1977), com modificações. As reações foram realizadas em três tubos distintos. No primeiro tubo, determinado como branco, uma alíquota de 50 µL de extrato bruto da amostra da polpa e 25 µL de extrato bruto de casca foi adicionada à 2,95 mL e 2,975 mL, respectivamente, do meio de reação, composto pelo tampão de fosfato de potássio 50 mM (Synth, Diadema, Brasil) pH 7,8, metionina 13 mM (Vetec, Duque de Caxias, Brasil), Cloreto de tetrazólio-nitroazul (NBT) 75 µM (Sigma-Aldrich, Cotia, Brasil), EDTA 100 nM (Vetec, Duque de Caxias, Brasil) e riboflavina 2 mM (Vetec, Duque de Caxias, Brasil), e permaneceram em reação cobertos por papel alumínio durante 10 minutos. O segundo tubo, chamado de controle, recebeu apenas a solução de trabalho, permanecendo pelo mesmo tempo de reação, porém recebendo luz. O terceiro tubo recebeu a solução de trabalho e a amostras, permanecendo por 10 minutos em reação sob luz. As leituras das amostras foram realizadas com auxílio de um leitor de microplacas (PerkinElmer, modelo EnSpire, Waltham, USA) no comprimento de onda de 560 nm. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{mol min}^{-1} \text{mg prote\acute{a}ina}^{-1}$ .

A quantificação da atividade da enzima POD foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Hammerschmidt, Nuckles, Kuc (1982), com modificações. Uma alíquota de 100 µL do extrato bruto de casca e 300 µL para a polpa foi adicionada a 2,9 mL e 2,7 mL, respectivamente, do tampão de reação, composto de 5 mL do

tampão de fosfato de potássio 50 mM, pH 6,0, (Vetec, Duque de Caxias, Brasil), 12,5  $\mu$ L de guaiacol puro (Vetec, Rio de Janeiro, Brasil) e 16,3  $\mu$ L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> puro (Vetec, Duque de Caxias, Brasil). Com auxílio de um leitor de microplacas (PerkinElmer, modelo EnSpire, Waltham, USA), foi medida a absorbância das amostras durante 13 minutos, a cada 30 segundos, a 25 °C, em 470 nm. A atividade da enzima POD foi determinada de acordo com a inclinação da reta no intervalo de 0 a 13 minutos. Os resultados foram expressos em  $\mu$ mol min<sup>-1</sup> mg proteína<sup>-1</sup>.

A quantificação da atividade da enzima PPO foi determinada conforme a metodologia descrita por Kar e Mishra (1976), com modificações. As reações foram realizadas em três tubos, sendo que no primeiro tubo adicionou-se 0,3 mL de solução tampão de fosfato de potássio 0,2 M, pH 6,7 (Vetec, Duque de Caxias, Brasil) e 1,85 mL de solução de catecol 0,1 M (Vetec, Duque de Caxias, Brasil), dissolvido na solução tampão. O segundo tubo, chamado de branco de amostra, recebeu 0,3 mL da amostra de extrato bruto e 1,85 mL de água deionizada. Por fim, no terceiro tubo adicionou-se 0,3 mL de amostra e 1,85 mL de catecol 0,1 M (Vetec, Duque de Caxias, Brasil). As leituras foram realizadas em um leitor de microplacas (PerkinElmer, modelo EnSpire, Waltham, USA) no comprimento de onda de 395 nm. Os resultados foram expressos em  $\mu$ mol min<sup>-1</sup> mg proteína<sup>-1</sup>.

A determinação de AA foi baseada na metodologia descrita por Mata et al. (2000), onde foi pesada 0,200 g de amostra dos frutos previamente triturada e misturada a 2 mL de solução tampão (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) em pH 2,6. Após, foi realizada a centrifugação por 5 min a 10000 rpm a 4°C e filtrado 0,45  $\mu$ m para injeção. A quantificação do AA foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (Shimadzu, modelo LC-10A, Quioto, Japão). Foi utilizada uma coluna analítica Restek C18 (250 x 4,6 mm i.d.; tamanho das partículas, 5  $\mu$ m) para a separação. A fase móvel foi de ácido fosfórico (400  $\mu$ L). A taxa de fluxo foi de 0,8 mL / min e o volume de injeção de 20  $\mu$ L, durante um tempo total de corrida de 10 min, com o detector fixado em 245 nm. A curva de calibração foi realizada com L-ácido ascórbico.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com esquema trifatorial composto por “tratamento antioxidante” (com e sem aplicação) x “período de armazenamento” e “cultivar” (2x4x8). Foram utilizadas 4 repetições e a unidade experimental foi constituída por uma bandeja com oito fatias de maçã. Os dados foram submetidos à ANOVA, e quando a interação entre os fatores foi significativa (p<0,05),

os dados foram submetidos ao desdobramento dos efeitos. Para os fatores qualitativos, “tratamento antioxidante” e “cultivar”, foi realizado teste de comparação de médias Scott-Knott, enquanto para o fator quantitativo “período de armazenamento”, foi realizado análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa estatístico Sisvar, versão 5.6 (FERREIRA, 2010).

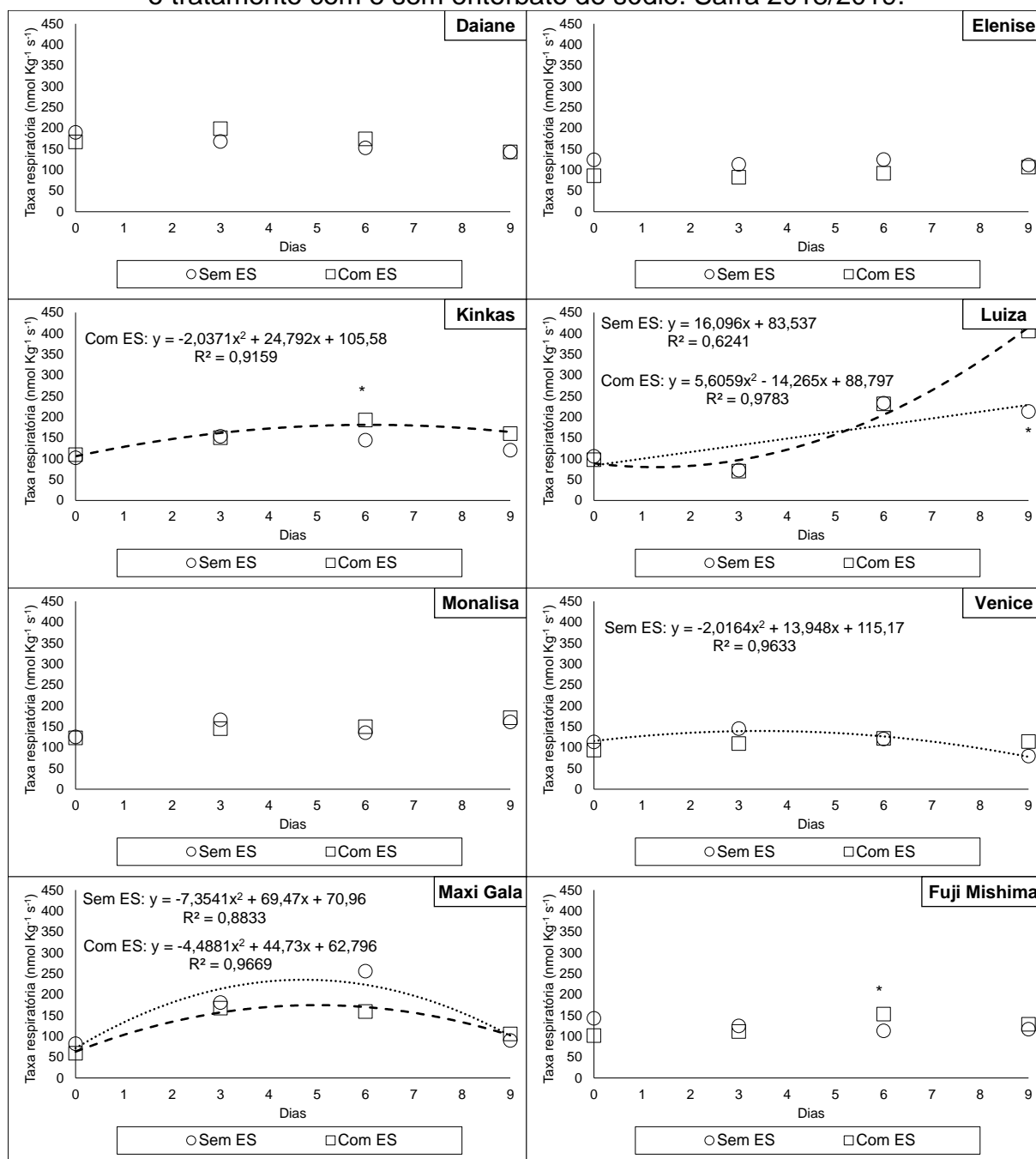
### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa respiratória apresentou resultados variados entre as diferentes cultivares de maçãs avaliadas. As maçãs das cultivares Elenise, Fuji Mishima, Monalisa e Daiane com ambos os tratamentos mais as maçãs ‘Kinkas’ sem o tratamento de ES e ‘Venice’ com o tratamento do antioxidante, não apresentaram alterações na taxa respiratória ao longo do período de armazenamento (Figura 4). As maçãs ‘Venice’ sem o tratamento de ES, ‘Kinkas’ com o tratamento de ES e ‘Maxi Gala’ tratadas e não tratadas com o antioxidante apresentaram aumento da taxa respiratória até o sexto dia de armazenamento com conseguinte redução da respiração até o final do armazenamento. Já as maçãs ‘Luiza’ apresentaram aumento das taxas respiratórias até o último dia de armazenamento, independentemente do tratamento. A respiração é um processo metabólico que fornece energia para os processos bioquímicos. Vários substratos utilizados em importantes vias metabólicas são formados durante a respiração (FONSECA; OLIVEIRA; BRECHT, 2002). As substâncias que possivelmente tomam parte ativa nesse processo são proteínas, glicídeos, lipídeos, ácidos orgânicos, vitaminas, minerais e alguns componentes da parede celular, como hemiceluloses e pectinas. A respiração resulta em modificações profundas desses constituintes, que podem ser altamente indesejáveis sob ponto de vista da qualidade (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A atividade respiratória de produtos MP é alta, e está diretamente relacionada com o tipo de produto, corte e temperatura de armazenamento (LEE et al., 2003). Segundo Fagundes et al. (2013), a temperatura foi identificada como o fator externo mais importante que influencia a respiração.

Quando comparado os tratamentos com e sem ES, observa-se que a taxa respiratória das maçãs ‘Fuji Mishima’ e ‘Kinkas’, tratadas com ES, é maior ao sexto dia de armazenamento e a taxa respiratória das maçãs ‘Luiza’, tratadas com ES, é maior ao nono dia de armazenamento (Figura 4). Por outro lado, a taxa respiratória das maçãs não tratadas com ES, da cv. Maxi Gala, é superior à das maçãs tratadas

com o antioxidante, durante o sexto dia de armazenamento. Avaliando a influência de diferentes cultivares e soluções que previnem o escurecimento em maçãs MP, Putnik et al. (2016) verificaram que a produção de CO<sub>2</sub> oscilou juntamente com a mudança de cor para todas as cultivares com diferentes tratamentos, de forma semelhante ao que ocorreu neste estudo.

Figura 4. Taxa respiratória de oito cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD (5±0,5 °C e UR de 80±8%), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



\* significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Aos nove dias de armazenamento, a cultivar Luiza apresentou as maiores taxas respiratórias, tanto entre as maçãs com o tratamento de ES, quanto nos frutos sem o tratamento (Figura 4 e Tabela 5). Nas maçãs sem a aplicação do antioxidante, as cultivares Elenise, Fuji Mishima, Maxi Gala, Kinkas e Venice apresentaram as menores taxas respiratórias. Para os frutos que receberam a aplicação do antioxidante, as cultivares Elenise, Fuji Mishima, Maxi Gala e Venice apresentaram as menores taxas respiratórias. De maneira geral, as taxas mais altas de respiração indicam metabolismo e deterioração mais rápidos (VENTURA-AGUILAR et al., 2017). Assim, a respiração pode ser um parâmetro chave para otimizar os tratamentos pós-colheita (KADER 2010; RUX et al., 2017).

Tabela 5. Taxa respiratória e Produção de etileno na polpa de oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2018/2019.

Cultivar	Eritorbato de sódio			
	Com	Sem	Com	Sem
	Taxa respiratória		Produção de etileno	
	nmol Kg <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>			
Daiane	143 b	143 b	3,5 d	1,0 c
Elenise	107 c	112 c	9,3 c	8,5 b
Fuji Mishima	128 c	117 c	10,8 c	4,2 c
Maxi Gala	105 c	90 c	33,6 a	17,8 a
Kinkas	160 b	120 c	5,8 d	2,6 c
Luiza	406 a	213 a	24,5 b	4,2 c
Monalisa	171 b	161 b	35,5 a	8,5 b
Venice	114 c	79 c	9,5 c	1,6 c
<b>CV (%)</b>	23,1		25,3	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A produção de etileno em maçãs não tratadas com ES não sofreu alterações em função do período de armazenamento para a cultivar Venice (Figura 5). De maneira geral, em frutos de ambos os tratamentos, observa-se que ocorre um aumento da produção de etileno até aproximadamente o sexto dia de armazenamento, seguido de uma breve estabilização e início de redução da produção. As primeiras respostas dos produtos MP ao ferimento incluem aumento tanto na respiração quanto na produção de etileno (MAHAJAN et al. 2014). Isso foi amplamente estudado para vegetais cortados, sendo que em cenouras MP, por

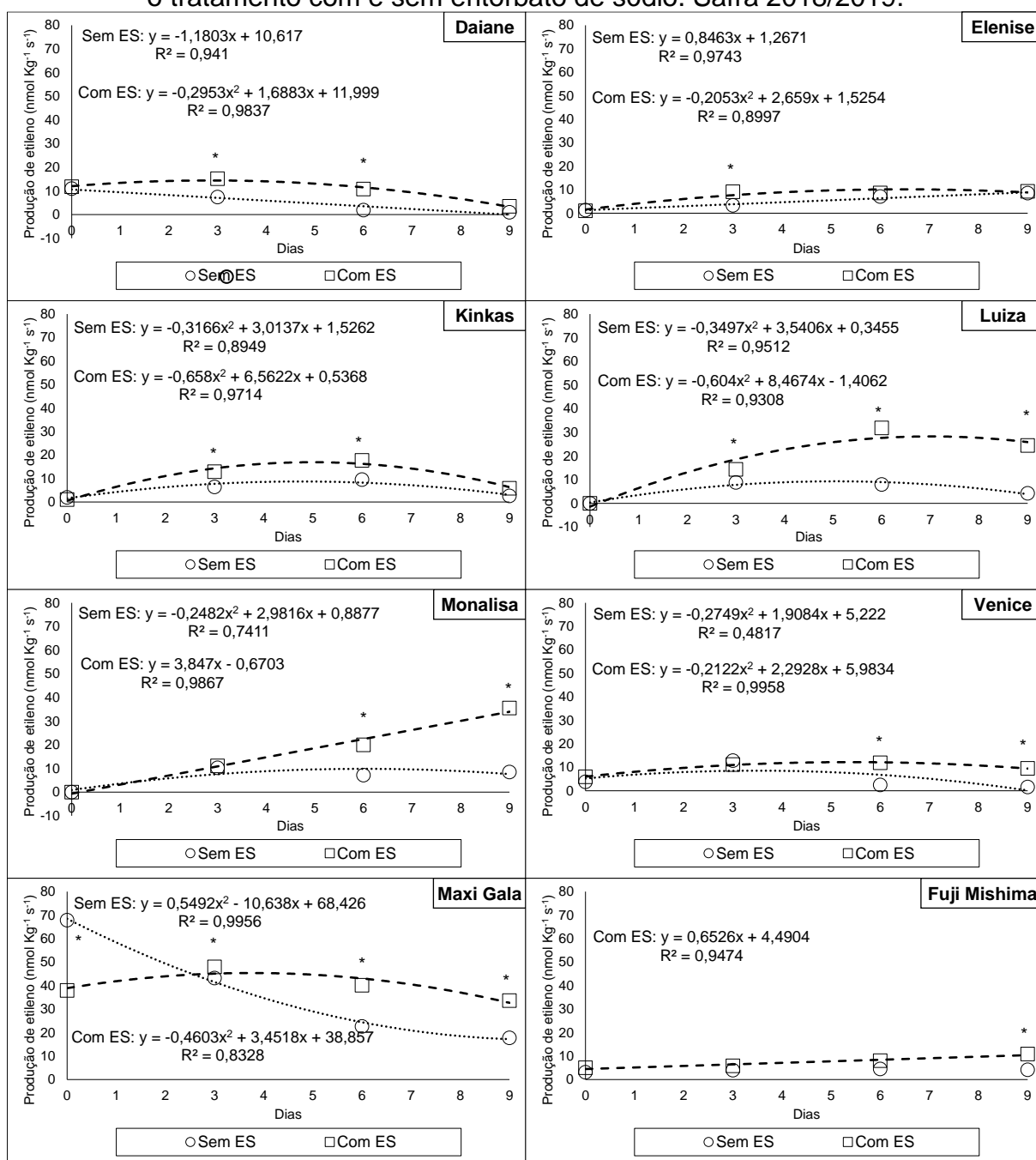
exemplo, essas taxas podem aumentar até 3 vezes após o corte (IQBAL et al. 2009). No entanto, o aumento é momentâneo, principalmente devido à resposta inicial ao estresse, pois a atividade respiratória diminui para um valor de equilíbrio (FINNEGAN et al. 2013). A perda de reservas metabólicas nos frutos MP devido aos processos respiratórios significa a aceleração da senescência à medida que a ação do etileno também é aumentada (KADER; SALTVEIT 2003).

De maneira geral, a produção de etileno em maçãs que receberam a aplicação de ES foi maior em relação àquelas que não receberam o antioxidante (Figura 5). Maçãs tratadas com ES das cultivares Maxi Gala, Luiza, Kinkas e Daiane apresentaram produção de etileno superior às maçãs não tratadas com ES a partir do terceiro dia de armazenamento, maçãs 'Monalisa' e 'Venice', a partir do sexto dia de armazenamento, maçãs 'Fuji Mishima' apenas no nono dia de armazenamento e maçãs 'Elenise' tratadas com ES só apresentaram maior produção de etileno no terceiro dia de armazenamento. O ES é um estereoisômero do AA e pode desempenhar a mesma função deste. O AA, por conta da sua ação redutora, é capaz de agir como cofator para a enzima ácido 1-aminociclopropano-1- carboxílico oxidase (ACC) (VERVERIDIS; JOHN, 1991; MURPHY et al., 2014). A ACC faz parte da via de síntese do etileno, ou seja, o AA se correlaciona com a síntese de etileno (SMIRNOFF; WHEELER, 2000). Desta maneira, o ES pode estar desempenhando essa mesma função no aumento da produção de etileno das maçãs MP.

Em relação as cultivares, a produção de etileno ao final do período de armazenamento, em maçãs com o tratamento de ES, foi maior nas cultivares Maxi Gala e Monalisa seguidas por Luiza, enquanto as cultivares Daiane e Kinkas foram as que apresentaram menor produção de etileno (Figura 5 e Tabela 5). Dentre os frutos que não foram submetidos à aplicação do antioxidante, a cultivar Maxi Gala apresentou a maior produção de etileno enquanto as cultivares Daiane, Fuji Mishima, Kinkas, Luiza e Venice apresentaram as menores produções. O etileno participa da regulação de diversos genes envolvidos com o processo de maturação de frutos. Alguns genes estão diretamente ligados à produção e atividade de enzimas relacionadas ao processo de escurecimento, como a PPO e a POD (ESPLEY et al. 2019). Desta maneira, é possível que cultivares de maçãs com maiores taxas de produção de etileno, sejam mais propensas ao escurecimento enzimático.



Figura 5. Produção de etileno de oito cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



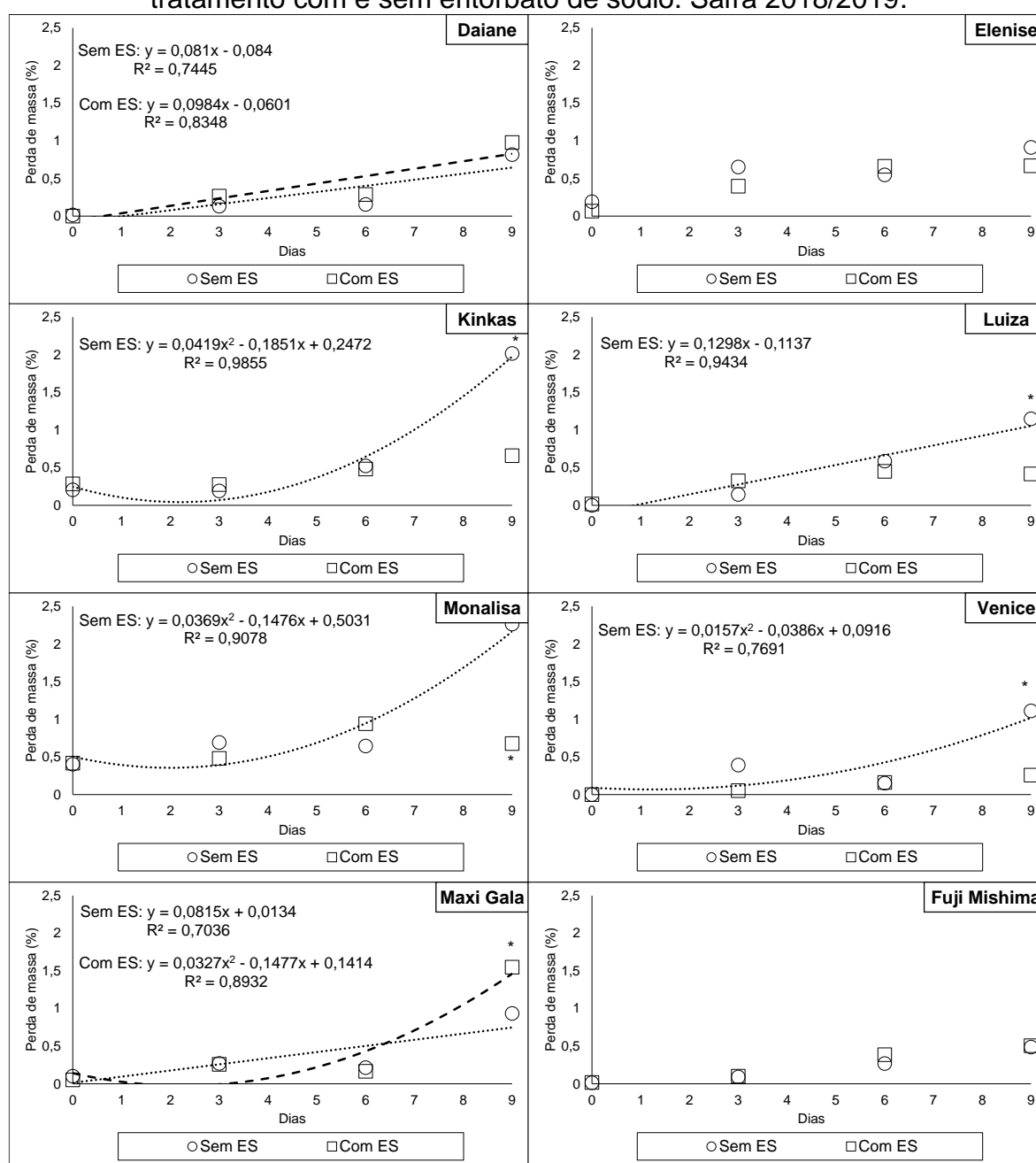
\* significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A perda de massa não foi significativa nas maçãs 'Elenise' e 'Fuji Mishima', independentemente da aplicação de ES (Figura 6). Nas demais cultivares, a perda de massa também não foi significativa quando aplicado o ES, com exceção das maçãs 'Daiane' e 'Maxi Gala', as quais apresentaram gradativa perda de massa ao longo do período de armazenamento. Maçãs 'Monalisa', 'Luiza', 'Maxi Gala', 'Venice', 'Daiane'

e 'Kinkas' que não receberam a aplicação do antioxidante também apresentaram perda de massa progressiva. A perda gradual de massa, durante o armazenamento, foi devido à exposição da polpa ao ar atmosférico com UR de  $80\pm 8\%$ , potencializando a perda de água (PAJAK et al., 2017). Apesar da perda de massa com o tempo de armazenamento, a aparência visual do produto não foi comprimetida, independente da cultivar, do tempo de armazenamento e do uso de antioxidante.

Figura 6. Perda de massa de oito cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



\* significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Após nove dias armazenadas, as maçãs ‘Monalisa’, ‘Luiza’, ‘Venice’ e ‘Kinkas’ que receberam a aplicação de ES apresentaram menor perda de massa em comparação aos frutos que não receberam aplicação do antioxidante, enquanto as maçãs ‘Maxi Gala’ apresentaram maior perda de massa (Figura 6 e Tabela 6). Após esse período de armazenamento, as maçãs das cultivares Kinkas e Monalisa apresentaram maior perda de massa em relação às demais cultivares quando não foi aplicado o tratamento com antioxidante. Já quando aplicado o ES, as maçãs das cultivares Maxi Gala e Daiane apresentaram maior perda de massa em relação às demais. Perda de massa elevada tem efeito fisiológico e pode comprometer a aparência, a textura e a qualidade nutricional de frutas (SANCHIS et al., 2016). A transpiração e o tempo de armazenamento são os principais fatores que ocasionam a perda de massa (ÖZDEMİR; GÖKMEN, 2019). Como era previsto, as maçãs MP apresentaram maior perda aos 9 dias. Todavia, a perda de massa foi relativamente baixa, não chegando a 2,5%. Finger e Vieira (1997) afirmaram que a perda de massa máxima sem o aparecimento de murchamento ou enrugamento da superfície de frutos oscila entre até 5% e 10%.

Tabela 6. Perda de massa na polpa de oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2018/2019.

Cultivar	Eritorbato de sódio	
	Com	Sem
Perda de massa (%)		
Daiane	1,0 b	0,8 b
Elenise	0,7 c	0,9 b
Fuji Mishima	0,5 c	0,5 b
Maxi Gala	1,5 a	0,9 b
Kinkas	0,7 c	2,0 a
Luiza	0,4 c	1,1 b
Monalisa	0,7 c	2,3 a
Venice	0,3 c	1,1 b
<b>CV (%)</b>	88,1	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O uso do antioxidante ES não apresentou efeito sobre a força para a penetração da polpa (dados não apresentados). Todos os frutos (tratamentos com e

sem antioxidante) receberam aplicação de  $\text{CaCl}_2$ , o qual tem papel essencial na manutenção da integridade e textura da polpa, devido à sua ação como estabilizador de biomembrana, apoiando a integridade da parede celular da membrana (GANG et al., 2015). Além disso, condições apropriadas de processamento e armazenamento contribuem para evitar o amolecimento da polpa.

No período final de armazenamento ocorreu menor força para penetração da polpa de maçãs MP, em relação ao valor inicial. No entanto, até os 3 primeiros dias de armazenamento, observou-se um pequeno aumento na força para penetração da polpa (dados não apresentados). Para Souza et al. (2005) este efeito deve-se à formação de um tecido superficial resistente, devido à maior perda de umidade, fazendo com que se tornem mais firmes durante o início do armazenamento. Outro fator que justificaria a elevação da força para penetração da polpa seria a lignificação provocada pela “cicatrização da superfície cortada”, processo induzido pelas injúrias causadas pelas operações do processamento mínimo (JACOMINO et al., 2004).

A AAT, pelo método ABTS, não apresentou interação entre os fatores. Todavia, as maçãs que receberam aplicação de ES apresentaram AAT cerca de 40% maior em relação às maçãs que não receberam tratamento (dados não apresentados). A adição de agentes antioxidantes tem sido amplamente praticada na fabricação de alimentos para inibir a oxidação e o escurecimento enzimático de frutas e vegetais. Os agentes antioxidantes são substâncias que podem proteger proteínas, lipídios e outras biomoléculas da oxidação, prevenindo assim a formação de cores e sabores estranhos em frutas e vegetais e, assim, aumentar sua vida útil (HAMDAN et al., 2022)

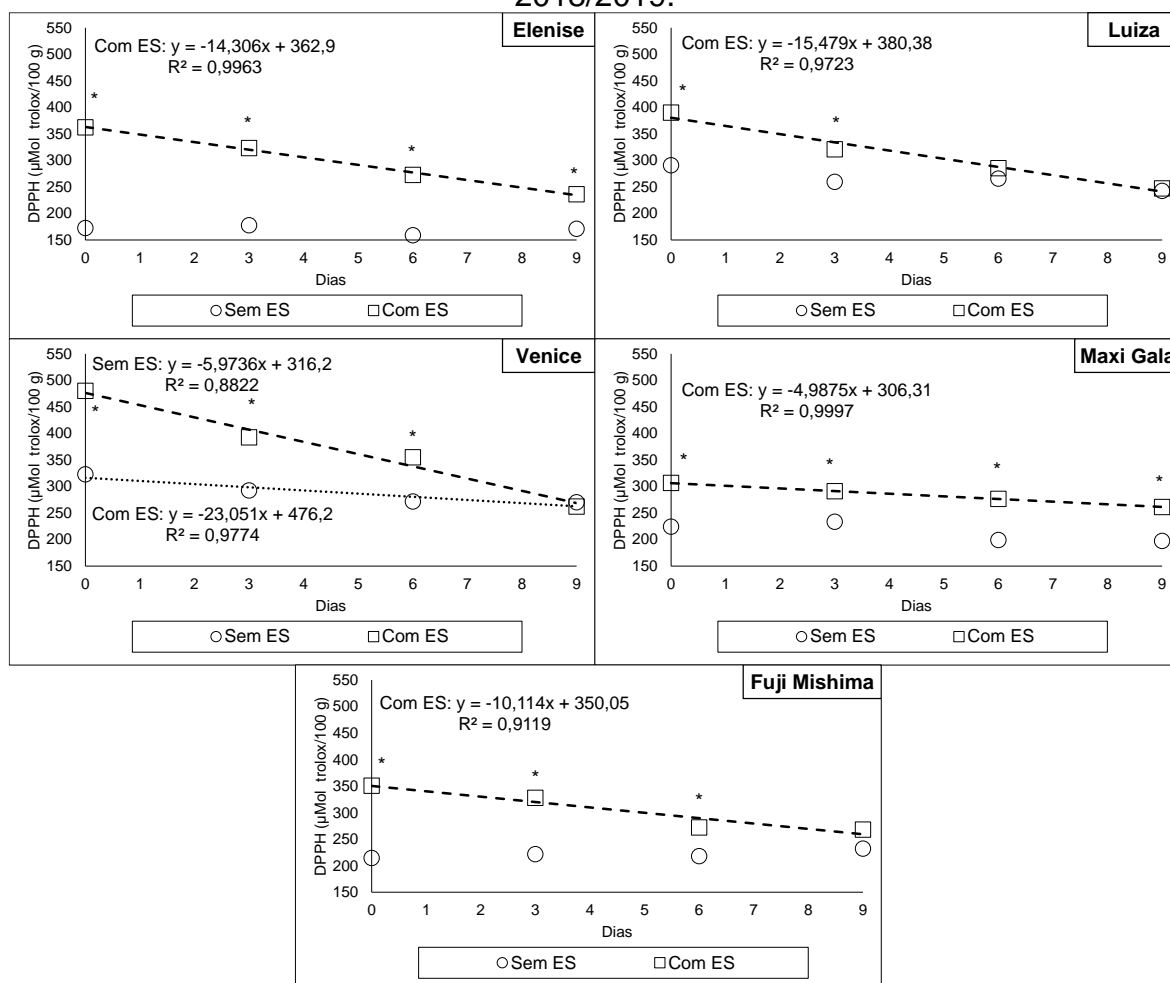
Em relação às cultivares, a ‘Luiza’ apresentou maior AAT, pelo método ABTS, em relação às demais, seguida pela ‘Elenise’, sendo que a cultivar ‘Maxi Gala’ apresentou a menor AAT (dados não apresentados). As propriedades antioxidantes estão muito relacionadas com a cultivar, com as condições de cultivo, como o ambiente e técnicas de manejo, além do grau de maturação na colheita (CASTREJON et al., 2008; STANGER et al., 2017; STANGER et al., 2018).

A AAT das maçãs MP, pelo método DPPH, apresentou uma redução linear ao longo do tempo de armazenamento para os frutos que receberam o tratamento de ES (Figura 7). Para as maçãs sem ES, a AAT variou durante o período de armazenamento apenas na cultivar Venice, com pequena redução ao longo do tempo. Em relação a AAT entre maçãs que receberam o tratamento de ES e que não receberam, as cultivares Elenise e Maxi Gala, com tratamento do antioxidante, apresentaram maior

AAT durante todas as avaliações. Já na cultivar Luiza, as maçãs com ES apresentaram maior AAT até o terceiro dia de armazenamento e nas cultivares Venice e Fuji Mishima até o sexto dia de armazenamento, sendo que após estes períodos a AAT entre maçãs com o tratamento de ES não diferiu daquelas sem o tratamento. O ES pode aumentar a AAT impedindo a oxidação (FIGUEIREDO et al., 2014); ou captura do oxigênio presente no meio por meio de reações químicas estáveis, impedindo que o oxigênio atue como propagador da auto oxidação ou como sinérgico na regeneração de antioxidantes primários (RAMALHO; JORGE, 2006). Todavia, observa-se que o ES reduz sua ação antioxidante ao longo do tempo de armazenamento. Cocci et al. (2006) também encontraram valores de AAT maiores para as amostras imersas em antioxidantes em comparação com as não imersas durante o período de armazenamento. Os autores observaram ainda que nessas amostras, com o passar do tempo de armazenamento, o comportamento da AAT foi de diminuir, atingindo níveis semelhantes aos das amostras não tratadas ao final do armazenamento refrigerado, resultado semelhante ao observado neste estudo.

Observa-se que maçãs 'Venice' tratadas com ES apresentaram maior AAT em relação às demais cultivares, até o sexto dia de armazenamento (Figura 7). Todavia, devido a redução da sua AAT mais acelerada em relação às demais, aos nove dias de armazenamento, não se observa diferenças na AAT entre maçãs tratadas com ES (Tabela 7). Já para o grupo de maçãs que não receberam o tratamento de ES, as cultivares Venice, Fuji Mishima e Luiza foram as que apresentaram maior AAT ao final do período de armazenamento. Para Drogoudi et al. (2008), cultivares de maçã que apresentam maior AAT adquirem coloração marrom mais rapidamente quando cortada, o que, segundo os autores, pode ser atribuído ao alto teor de compostos fenólicos que a mesma contém. Todavia, na maçã existem vários compostos fitoquímicos que podem atuar como antioxidantes. Dentre esses compostos, os mais encontrados são os polifenóis, ácido ascórbico, carotenóides e tocoferóis (BOYER; LIU, 2004; SUN et al., 2011).

Figura 7. Atividade antioxidante, método DPPH, de cinco cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



\* significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 7. Atividade antioxidante total (AAT), método DPPH e composto fenólicos totais (CFT) na polpa de cinco cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2018/2019.

Cultivar	Eritorbato de sódio			
	Com	Sem	Com	Sem
	AAT ( $\mu\text{Mol trolox}/100\text{ g}$ )		CFT ( $\text{mgEAG } 100\text{g}^{-1}$ )	
Elenise	236 <sup>ns</sup>	171 b	41 d	30 c
Fuji Mishima	268	232 a	41 d	30 c
Maxi Gala	261	197 b	60 a	39 b
Luiza	247	243 a	54 b	43 a
Venice	262	270 a	49 c	36 b
<b>CV (%)</b>	9,6		4,9	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

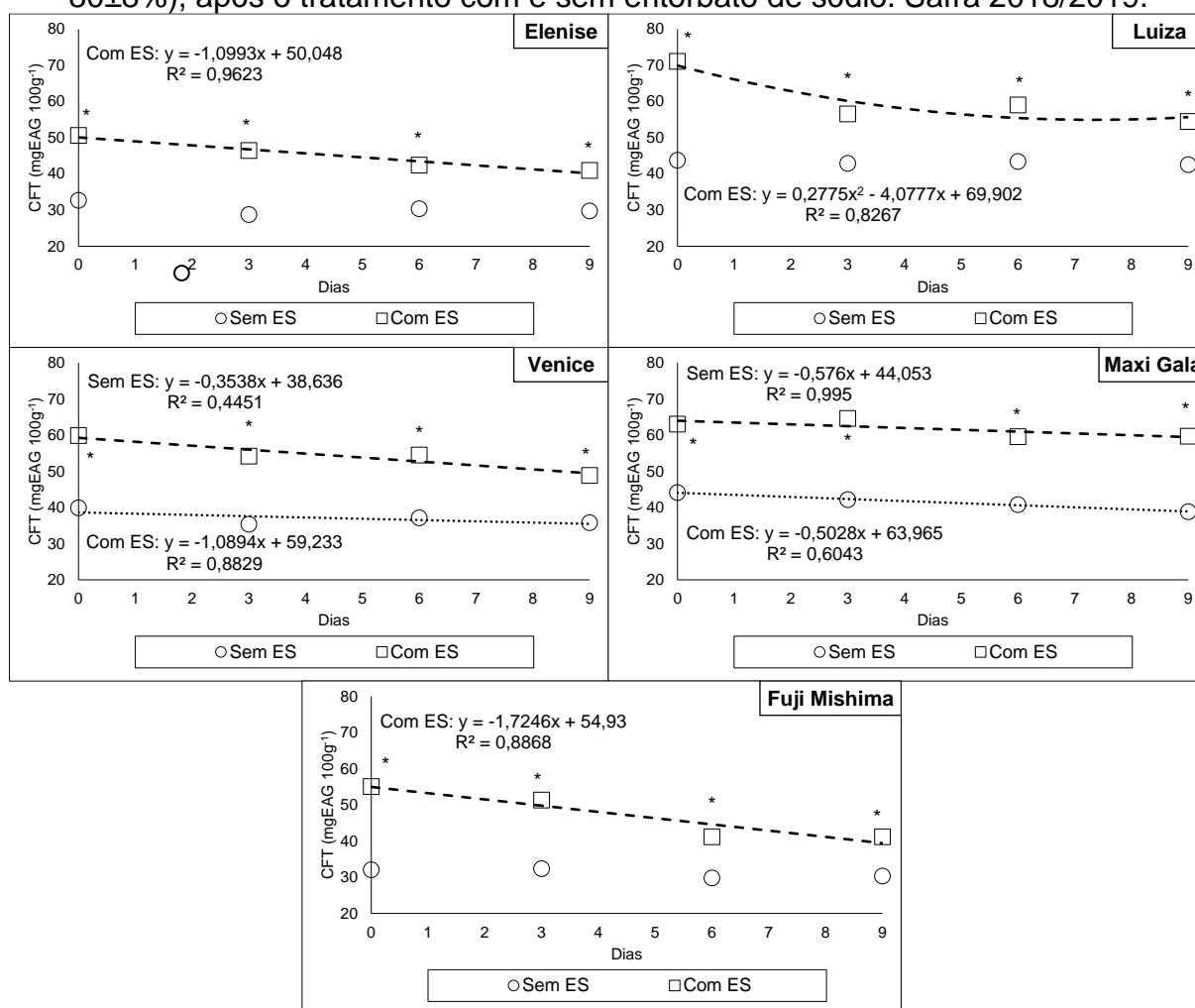
Em relação ao conteúdo de CFT, os frutos de todas as cultivares que receberam o tratamento de ES apresentaram maior conteúdo durante todas as avaliações em relação aos frutos sem o tratamento do antioxidante (Figura 8). Isso possivelmente ocorre porque o ES, juntamente com seus estereoisômeros, limitam a produção de quinonas (GRANT-PREECE et al., 2013), eliminando o oxigênio do tecido antes de reagir com os compostos fenólicos (CLARK et al., 2009). Moreno et al. (2016) perceberam que quando utilizavam antioxidantes, a cor da polpa preservava-se mais clara e os níveis de compostos fenólicos permaneciam mais altos, possivelmente devido a não utilização dos mesmos como substrato pela PPO. O maior conteúdo de CFT nas maçãs com o ES também pode estar relacionado à maior AAT dos frutos. As maçãs contêm grandes quantidades de compostos fenólicos endógenos com propriedades antioxidantes (KIM et al., 2017), além de AA. Entretanto, a carga antioxidante pode ser complementada pela imersão da fruta MP em soluções contendo antioxidantes exógenos (AGUAYO et al., 2010). Este processo visa interferir nas reações de oxidação após o processamento, preservando compostos fenólicos endógenos e AA. A aplicação de ES também aumentou as concentrações de compostos fenólicos na polpa de maçãs MP no estudo de Ribeiro et al. (2019a).

Frutos tratados com ES apresentaram uma redução do conteúdo de CFT ao longo do tempo de armazenamento em todas as cultivares, enquanto nos frutos sem o antioxidante, esse efeito foi observado apenas nas cultivares Venice e Maxi Gala, sendo que, nas demais não ocorreu variações na composição de CFT durante o tempo de armazenamento (Figura 8). Holderbaum et al. (2010) também observaram essa tendência de diminuição do teor de CFT ao longo do período de armazenamento das maçãs, em todas as cultivares que avaliaram. Essa tendência de redução nos CFT ocorre, provavelmente, pela oxidação desses compostos pela PPO, uma vez que os compostos fenólicos são substratos da PPO na reação de escurecimento enzimático (RODRÍGUEZ-ARZUAGA; RIOS; PIAGENTINI, 2019). Segundo Tang et al. (2020), os polifenóis são as substâncias básicas para o escurecimento e, devido ao seu alto conteúdo fenólico, a maçã, é altamente suscetível ao escurecimento (HOLDERBAUM et al., 2010). A oxidação de fenóis, além de causar escurecimento, também pode resultar em perda de qualidade funcional e proporcionar modificações de sabor (ESPLEY et al., 2019). Todavia, o ES parece fornecer algum composto para a oxidação dessas maçãs. Por isso, há um gasto significativo de CFT nos frutos de todas as cultivares tratadas com ES.

Aos nove dias de armazenamento, a cultivar Luiza apresentou o maior conteúdo de CFT entre as maçãs sem a aplicação de ES (Figura 8 e Tabela 7). Já nas maçãs que receberam o tratamento do antioxidante, o conteúdo de CFT foi maior na cultivar Maxi Gala, seguido pela cultivar Luiza. Tanto nos frutos com o tratamento de ES, quanto nos frutos sem o tratamento do antioxidante, as cultivares Elenise e Fuji Mishima apresentaram os menores conteúdos de CFT. A magnitude da relação entre o escurecimento enzimático e o CFT é específica do genótipo (HOLDERBAUM et al., 2010). Embora a literatura relata correlação entre os elevados teores de CFT e o maior escurecimento enzimático (DEUTCH, 2018), para Son et al. (2001), a intensidade do escurecimento depende do tipo de composto fenólico envolvido. Alguns fenóis quando oxidados, geram compostos que são altamente reativos com os demais polifenóis, as quinonas. Estas se ligam quimicamente entre si ou entre outros fenóis e ocorre uma reação em cadeia de oxidação da maioria dos compostos fenólicos (LIU et al., 2010). Outros fenóis apresentam um alto potencial antioxidante, sendo eficientes na inibição ou delonga das reações de escurecimento enzimático, pois possuem elevada capacidade em doar elétrons e também quelar os íons metálicos das estruturas enzimáticas (LIN et al., 1998; LE BOURVELLEC et al., 2004; SERRA et al., 2021).



Figura 8. Compostos fenólicos totais de cinco cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



\* significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

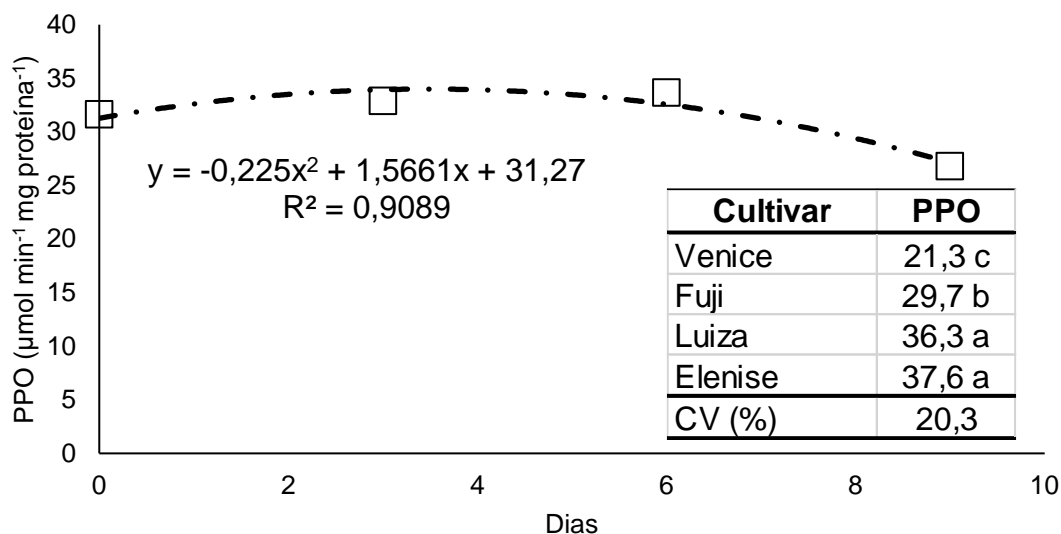
O efeito dos CFT pode ser ambíguo, pois alguns polifenóis podem apresentar atividade antioxidante, preservando as membranas na célula e evitando o escurecimento na polpa das maçãs, enquanto outros são o substrato utilizado pela PPO nas reações que ocasionam o escurecimento (HOLDERBAUM et al., 2010; DUANGMAL et al. 2017). Desta maneira, os CFT podem não apresentar relação clara com o escurecimento da polpa das maçãs e é muito importante a avaliação qualitativa, através dos perfis de compostos fenólicos, para identificar quais estariam mais associados ao escurecimento e/ou sua inibição (TAPPI et al., 2019). O fato da AAT não apresentar um comportamento semelhante ao dos CFT nas diferentes cultivares, também pode ser um indício de que existem outras substâncias contribuindo para

diferenças na atividade antioxidante dos frutos, como a atividade de enzimas e os teores de AA.

A atividade da enzima PPO apresentou uma regressão quadrática em função do tempo de armazenamento, com um leve aumento nos primeiros dias seguido de declínio da sua atividade (Figura 9). Jeong et al. (2008), trabalhando com maçãs 'Fuji' armazenadas a 4 °C, observaram um aumento da atividade enzimática até o terceiro dia de armazenamento, seguido de um decréscimo da atividade, depois deste período. Segundo Le Bourvellec et al. (2004), os produtos da oxidação dos fenóis atuam como inibidores da PPO, ou seja, a formação do escurecimento da polpa das maçãs faz com que a atividade da enzima PPO seja diminuída. Para Murata et al. (1995), a atividade da PPO diminui devido a uma desnaturação da proteína e não à redução da produção de PPO.

O fator "tratamento antioxidante" não apresentou efeito sobre a atividade da PPO, e as maçãs da cultivar Venice foram as que apresentaram menor atividade desta enzima, seguidas pelas maçãs 'Fuji Mishima' (Figura 9). A atividade da enzima PPO talvez seja o atributo mais relevante no escurecimento da polpa das maçãs. Todavia, a atividade enzimática vai depender diretamente da cultivar, considerando inclusive seus substratos fenólicos, assim, nem sempre uma maior atividade representará um maior escurecimento. As maçãs da cultivar Elenise, por exemplo, apresentaram os teores de CFT mais baixos e ainda assim alta atividade da PPO. Holderbaum et al. (2010) encontraram correlações positivas entre atividade da PPO e escurecimento enzimático na polpa de 'Aori27' e 'Elstar', mas não na polpa de 'Fuji' e 'Mellow'. Murata et al. (1995) encontraram uma correlação positiva entre o teor de CFT e escurecimento enzimático, mas não entre atividade da PPO e escurecimento enzimático para um grupo de cultivares de maçã. Coseteng e Lee (1987) não encontraram correlação entre CFT ou PPO e escurecimento enzimático em sete cultivares de maçãs. Esses resultados reforçam a noção de que a dinâmica da atividade da PPO, o teor de CFT e o escurecimento da polpa das maçãs são uma variável genótipo-dependente. Além disso, o papel da atividade da PPO no escurecimento de algumas cultivares revela resultados controversos e pode depender do nível de maturação do fruto e da região de cultivo ou mesmo de outras rotas oxidativas ou não oxidativas envolvidas no escurecimento da polpa de maçãs (FANG et al., 2022).

Figura 9. Atividade da enzima PPO (média' de maçãs com e sem o tratamento de eritorbato de sódio) em quatro cultivares de macieira minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2018/2019.



Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

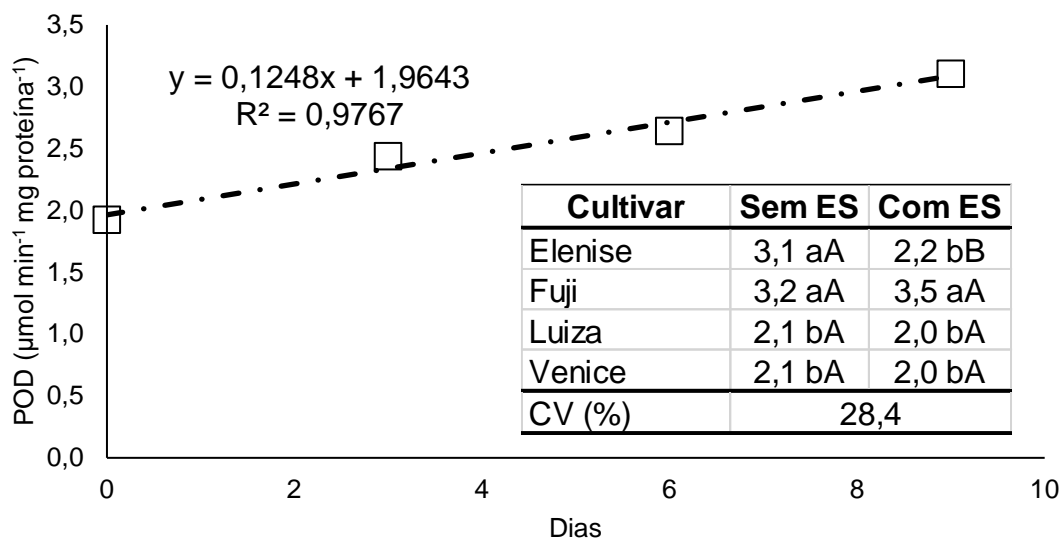
Para Serra et al. (2021), a atividade enzimática da PPO e concentração fenólica não é suficiente para prever o escurecimento. Em vez disso, é necessária uma compreensão abrangente da composição dos compostos fenólicos, pois estes são fortes “manipuladores” da atividade enzimática, seja na inibição ou promoção (DEVIC et al., 2010). Entretanto, o genoma totalmente sequenciado de 'Golden Delicious' revelou que a PPO é codificada em 10 genes distribuídos entre três cromossomos (VELASCO et al., 2010). Isso levou ao desenvolvimento de maçãs geneticamente modificadas, que não apresentam escurecimento da polpa, conhecidas como a série Arctic®, que têm os genes responsáveis pela expressão de PPO interrompidos (XU, 2013). Essas maçãs transgênicas têm atividade da PPO reduzida em 90% no momento da colheita e escurecimento da polpa bastante suprimido em comparação com suas respectivas cultivares originais (TAZAWA et al., 2019).

A atividade da enzima POD teve um crescimento linear em função do tempo de armazenamento (Figura 10). Para Valderrama et al. (2001), a POD tem um aumento da sua solubilidade e atividade durante o período de maturação do fruto, elevando a concentração desta enzima no período pós-climatérico. A oxidação conduzida pela PPO gera ERO, principalmente  $H_2O_2$ , em diferentes quantidades dependendo da composição fenólica, e este  $H_2O_2$  pode oxidar ainda mais os fenólicos e aumentar o

escurecimento enzimático (SUZUKI; OLIVEIRA; FRANCA, 2021). Além disso, na presença de  $H_2O_2$ , a enzima POD pode participar da oxidação fenólica, com a função de ser doador de prótons durante o processo denominado peroxidação (HAMDAN et al., 2022). As POD pertencem à família das oxidorreduções, que na presença de  $H_2O_2$ , catalisam a oxidação dos resíduos de tirosina e, novamente, induzem a melanina (TOMÁS-BARBERÁN; ESPÍN, 2001). Essa enzima também está envolvida nas últimas etapas da biossíntese da lignina e nos mecanismos de defesa contra patógenos e microrganismos (VALENTINES et al., 2005; SERRA et al., 2021).

Não houve diferenças na atividade da POD entre maçãs tratadas e não tratadas com ES, à exceção da cv. Elenise, onde maçãs sem o antioxidante apresentaram atividade enzimática maior em relação à maçãs com ES (Figura 10) Considerando que o ES é um estereoisômero de AA, a redução da atividade da POD na 'Elenise' está de acordo com os resultados relatados por Jang e Moon (2011), onde a presença de AA reduziu efetivamente a atividade da POD em maçãs MP. A atividade reduzida da POD em maçãs 'Elenise' tratadas com ES pode ser o resultado de menor estresse oxidativo na superfície do fruto, devido à natureza antioxidante do ES (SABA; SOGVAR, 2016). As enzimas POD e PPO possuem alguns substratos comuns, e seus substratos difenólicos comuns podem levar à formação de melanina. Além disso, ambas as enzimas têm inibidores comuns que podem ser usados na prevenção do escurecimento enzimático (NOKTHAI; LEE; SHANK, 2010; SHRESTHA et al., 2020). Por exemplo, compostos de polifenóis ou antioxidantes, como o ES, são capazes de competir com as enzimas (PPO ou POD) e interagir no sítio ativo destas. Os polifenóis e os antioxidantes também possuem grupos hidroxila que podem estar envolvidos na doação de elétrons para a quinona intermediária, levando ao término do processo de oxidação. E ainda, podem quelar os íons metálicos, especialmente  $Cu^{2+}$  e  $Fe^{3+}$  no sítio de ligação e catalítico das enzimas. Consequentemente, a atividade enzimática se reduz quando esses derivados fenólicos e antioxidantes formam ligações de hidrogênio no sítio ativo das enzimas (CIRKOVIC; STANIC-VUCINIC, 2018).

Figura 10. Atividade da enzima POD (média' de maçãs com e sem o tratamento de eritorbato de sódio) em quatro cultivares de macieira minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8$ ). Safra 2018/2019.



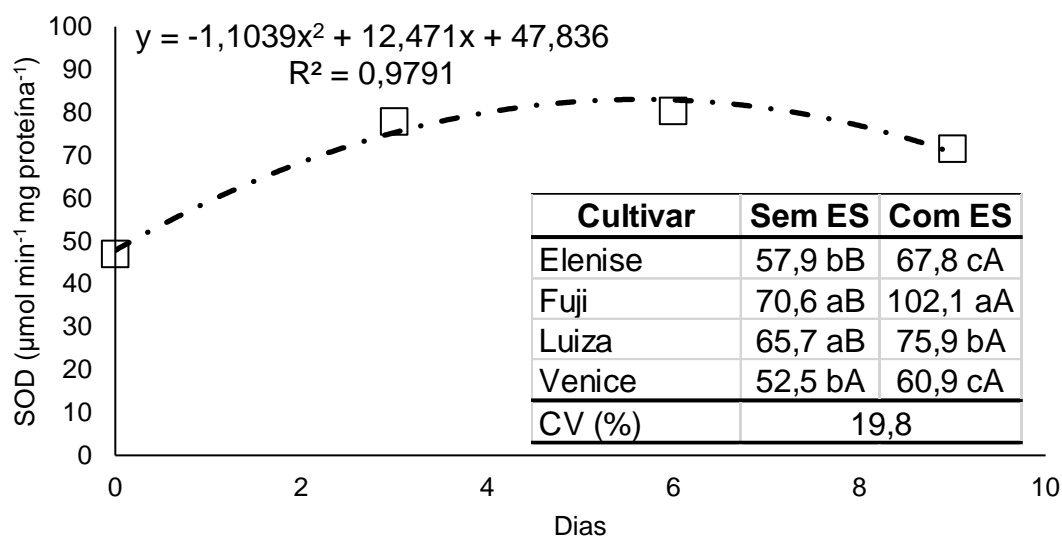
Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para frutos submetidos à aplicação de ES, as maçãs da cultivar Fuji Mishima apresentaram maior atividade da POD. Já para frutos não submetidos à aplicação de ES, maçãs 'Fuji Mishima' e 'Elenise' apresentaram maior atividade da POD (Figura 10). A atividade da POD, assim como a da PPO, pode apresentar uma variabilidade grande entre as cultivares de macieira (SERRA et al., 2021). Contudo, a contribuição da POD para o escurecimento enzimático é menor, uma vez que atua na presença de peróxido de hidrogênio, cuja concentração é baixa em maçãs (MISHRA; GAUTAM; SHARMA, 2013). Assim, seu envolvimento é mais plausível em processos lentos como o escurecimento interno de frutas inteiras (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2009).

Em relação à enzima SOD, houve uma progressão quadrática, com aumento da sua atividade até entre o terceiro e sexto dia de armazenamento e leve redução da sua atividade em seguida (Figura 11). O grande acúmulo de ERO agrava o escurecimento enzimático de maçãs MP, mas a fruta possui um sistema completo de defesa enzimática antioxidante, incluindo SOD, catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), glutathione redutase (GR), etc. (OMS-LIU et al., 2008), que pode efetivamente remover ERO e retardar os danos oxidativos. Qi et al. (2019) observaram aumento na atividade de enzimas antioxidantes de maçãs MP, aumentando durante os primeiros 2 dias de armazenamento e depois diminuindo gradualmente.

Figura 11. Atividade da enzima SOD (média' de maçãs com e sem o tratamento de eritorbato de sódio) em quatro cultivares de macieira minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8$ ). Safra 2018/2019.



Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As maçãs que receberam o tratamento de ES apresentaram maior atividade da SOD em relação àquelas sem o antioxidante, à exceção das maçãs 'Venice', que não apresentaram diferença com o tratamento de ES (Figura 11). As enzimas antioxidantes desempenham um papel importante na manutenção dos frutos MP e a maior atividade da SOD nas maçãs que receberam aplicação de ES pode contribuir com o retardo do escurecimento enzimático (TANG et al., 2020). Com relação às cultivares, as maçãs 'Elenise' e 'Venice' apresentaram menor atividade da SOD em ambos os tratamentos, com e sem ES, em comparação às demais cvs. Quando aplicado ES nos frutos, a cv Fuji Mishima apresentou maior atividade da SOD. Quando os frutos não receberam o antioxidante, a cv Fuji Mishima apresentou maior atividade desta enzima juntamente com a 'Luiza'. Para alguns autores, o escurecimento da polpa de maçãs pode estar correlacionado ao sistema antioxidante dos frutos, como enzimas antioxidantes capazes de retardar o processo oxidativo envolvido no escurecimento (RAUDONE et al., 2017; KSCHONSEK et al., 2018). Tang et al. (2020) verificaram que as atividades da PPO e teores de CFT não mudaram durante o escurecimento de maçãs MP, enquanto as atividades da POD e SOD mudaram significativamente. Portanto, um poderoso sistema antioxidante pode ser um elemento importante para retardar o escurecimento (ZHANG et al., 2015). Em maçãs MP, as

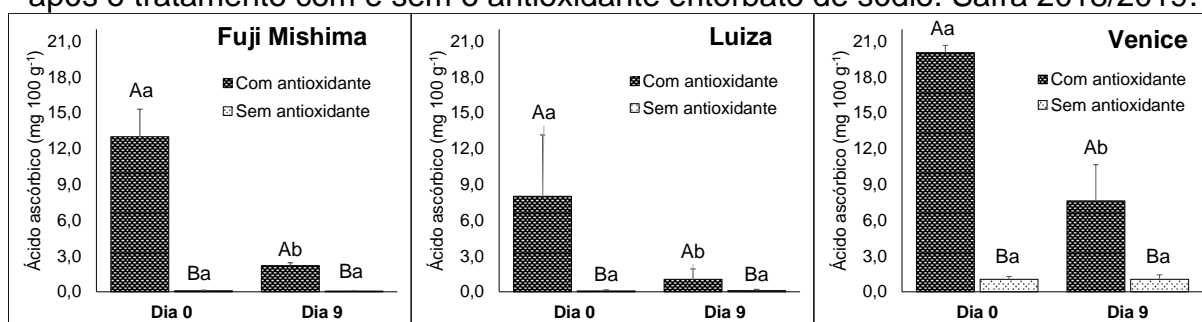
lesões acumuladas durante o corte e armazenamento induzem o acúmulo de ERO (CHUMYAM et al., 2019). O acúmulo de ERO pode estimular a peroxidação lipídica da membrana, formar produtos tóxicos, romper a estrutura da membrana celular e causar vazamento de íons e descompartmentalização celular, acelerando o escurecimento enzimático (LIN et al., 2014). Sabe-se que o teor de ERO aumenta enquanto o escurecimento acelera, à medida que o tempo de armazenamento avança (WANG et al., 2016). Tang et al. (2020) sugerem que maçãs com atividade da SOD e POD mais elevadas podem ajudar a proteger as células contra danos, removendo o excesso de radicais livres (GONG et al., 2001) e retardando o escurecimento enzimático na polpa de maçãs.

O teor de AA foi consideravelmente maior em frutos que receberam o tratamento de ES, onde, em todas as cultivares, maçãs MP que receberam o tratamento do antioxidante apresentaram maior teor de AA, tanto no dia do processamento, quanto após 9 dias armazenadas (Figura 12). O ES deve ter preservado o teor de AA devido sua ação antioxidante. O ES possui ação antioxidante devido às suas propriedades redutoras (WATANABE et al., 2014), agindo de maneira semelhante ao AA (CLARK et al., 2009). O ES é considerado seguro para consumo humano, de baixo custo, bem aceito pelos consumidores e capaz de preservar o teor de vitamina C (LOAN; MANZANO, 1993; EFSA, 2016), embora apresente apenas 5% da atividade desta vitamina.

Nos frutos que não receberam ES, a degradação do AA foi alta já no mesmo dia do processamento mínimo (Figura 12). Assim, após 9 dias, em todas as cultivares, o teor de AA nos frutos sem tratamento de ES não diferiu em relação ao seu teor nos frutos no dia do processamento. Já os frutos que receberam o ES apresentaram uma redução no teor de AA após 9 dias armazenados, em todas as cultivares. Segundo Rojas-Grau et al., (2008), quando o AA é completamente oxidado em ácido desidroascórbico, as quinonas podem se acumular novamente e causar escurecimento. O AA é bastante instável e fora da sua compartimentalização celular, em pouco tempo pode ocorrer sua degradação. Cocci et al. (2006) notaram que parte do excedente de AA das fatias de maçãs MP foi rapidamente oxidado durante um dia de refrigeração. Como previamente demonstrado por Kalt et al. (1999), nas células vegetais a maior parte do AA está localizada no vacúolo, que é um ambiente de pH muito baixo e também contém flavonóides fenólicos. A ação redutora dos flavonóides juntamente com o baixo pH do vacúolo deve impedir a rápida oxidação do AA.

Provavelmente, o AA de fatias mergulhadas no ES foram melhor conservados devido à maior concentração desse sal, que pode ter evitado a oxidação naturalmente acelerada do AA (RIBEIRO et al., 2019a). Para Cocci et al. (2006), o uso de antioxidantes pode ser considerado uma forma de enriquecer o tecido do fruto com AA, o que pode contribuir para um aumento da atividade antioxidante que normalmente deriva de compostos bioativos endógenos.

Figura 12. Teor de ácido ascórbico de três cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ) após o tratamento com e sem o antioxidante eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



Letras minúsculas iguais nas barras escuras, letras minúsculas iguais nas barras claras e barras unidas com a mesma letra maiúscula não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

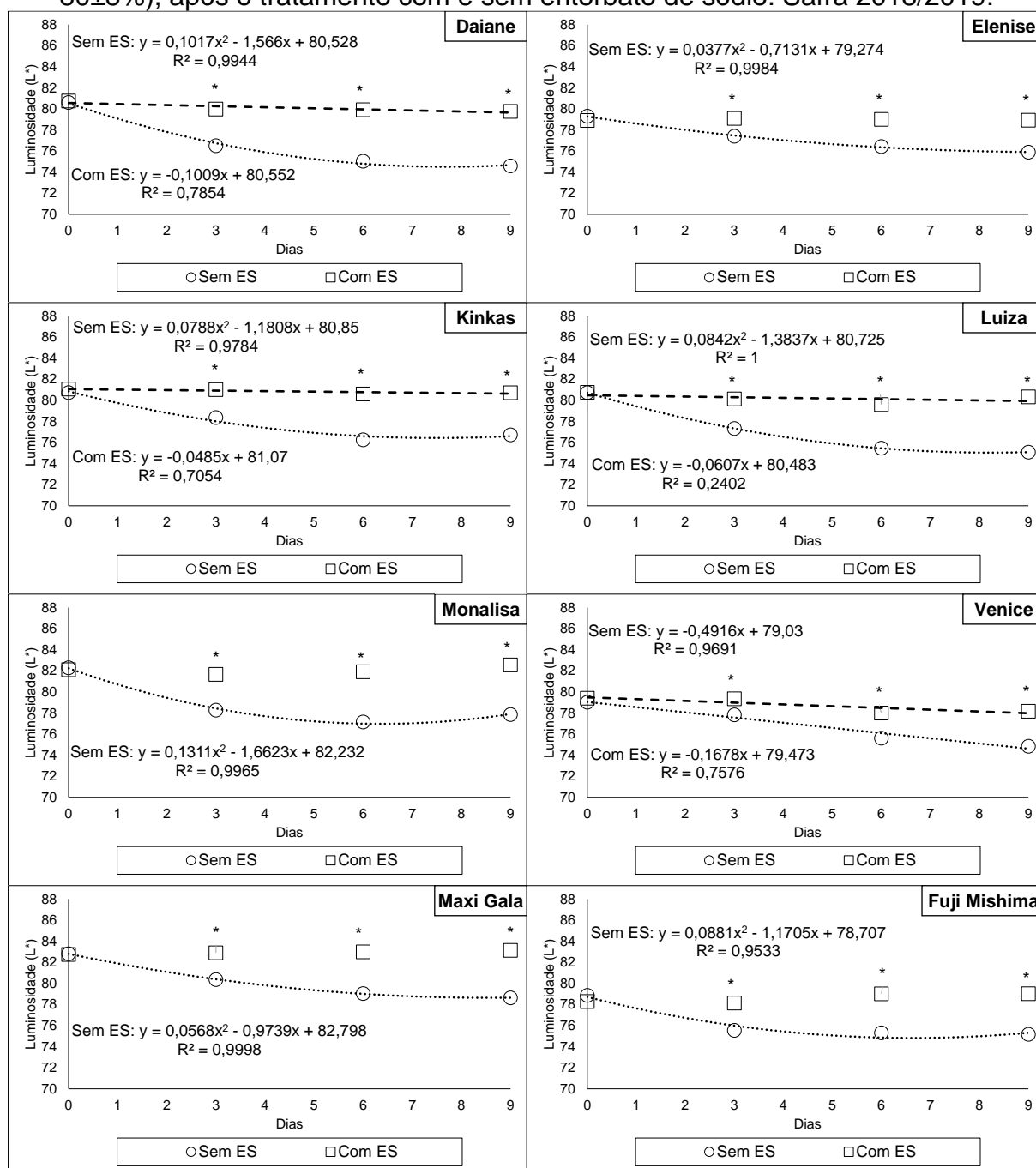
Em relação às cultivares, a 'Venice' foi a que apresentou maior teor de AA, enquanto a 'Luiza' foi a que apresentou menor teor (Figura 12). Varmig et al. (2013), estudando diferentes maçãs também observaram variação no teor de AA entre as cultivares. Na maioria dos estudos, as variáveis mais relacionadas ao escurecimento enzimático na polpa de maçãs e seu controle envolvem compostos fenólicos, atividade enzimáticas e AA (WEN et al., 2021; ZHANG et al., 2022; FAN, 2022). Segundo Suzuki, Oliveira e Franca (2021), o AA possui propriedades redutoras e pode impedir a decomposição de ácidos clorogênicos em ácidos cafeicos (GÓMEZ-JUARISTI et al., 2020). Desta maneira, um teor maior de AA na polpa das maçãs é desejado.

A variável  $L^*$  é um eficiente indicador do escurecimento de frutos durante o armazenamento (ROCHA; MORAIS, 2003). A luminosidade na polpa das maçãs MP de todas as cultivares apresentou redução com o tempo de armazenamento quando não houve aplicação de ES (Figura 13). Todavia, quando aplicado o antioxidante, as maçãs 'Elenise', 'Fuji Mishima', 'Monalisa' e 'Maxi Gala' não apresentaram redução de luminosidade na polpa. Segundo Qi et al. (2011), o armazenamento sob baixa temperatura contribui para retardar a perda de luminosidade em maçãs MP. No



entanto, apenas maçãs que foram tratadas com o antioxidante não apresentaram redução significativa da luminosidade, indicando efetiva ação do ES na manutenção deste atributo de qualidade, enquanto os frutos sem tratamento apresentaram redução da luminosidade a partir dos três dias de armazenamento.

Figura 13. Luminosidade da polpa de oito cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



\* significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Algumas cultivares apresentaram maior redução da luminosidade em relação a outras, após nove dias de armazenamento (Tabela 8). As maçãs 'Daiane' e 'Venice' apresentaram maior redução de luminosidade entre os frutos tratados com ES, enquanto as maçãs 'Elenise', 'Fuji Mishima', 'Maxi Gala' e 'Monalisa' não apresentaram redução ao final dos nove dias. Desta maneira, entre as maçãs tratadas com ES, as cvs. Maxi Gala e Monalisa foram as que apresentaram maior luminosidade na polpa após nove dias armazenadas, com média de 81,6, seguidas pelas cultivares Kinkas e Luiza, com  $L^*$  médio de 80,5, e Daiane, com  $L^*$  de 79,8, enquanto a cv. Venice apresentou a menor luminosidade, com média de 78,2 (Figura 13). Estes resultados demonstram basicamente a luminosidade natural dos frutos de cada cultivar, sendo que, como observado, maçãs de diferentes cultivares apresentam luminosidades da polpa diferentes. Nos frutos que não receberam a aplicação de ES, a redução de luminosidade foi maior em relação aos frutos que receberam o antioxidante, para todas as cultivares (Figura 13 e Tabela 8). Nestes frutos, sem o ES, as cultivares Daiane e Luiza foram as que tiveram a luminosidade da polpa mais reduzida enquanto as cultivares Elenise e Fuji Mishima apresentaram a menor redução. Entre as maçãs não tratadas com ES, as cvs. Daiane, Luiza e Fuji Mishima não diferiram da cv. Venice, como as cultivares com menor luminosidade após nove dias armazenadas (Figura 13). Já a 'Maxi Gala' foi a maçã que apresentou maior luminosidade da polpa, após nove dias, quando não foi aplicado ES, seguida de 'Monalisa' e depois de 'Kinkas'. Mesmo com luminosidade da polpa inferior, em relação a maioria das cultivares, 'Elenise' e 'Fuji Mishima' merecem destaque por apresentar menor redução da luminosidade ao longo do tempo em relação as demais.

Os resultados observados demonstram que a utilização de temperaturas baixas, que contribuem para inibição da atividade enzimática da PPO e conseqüentemente a redução no escurecimento de polpa, não é suficientemente efetiva sem a adição de agentes conservantes para impedir o escurecimento da polpa (KUMAR et al., 2012). Desta maneira, a busca por agentes conservantes efetivos é bastante estudada (FAN, 2022). O ES é um agente antioxidante (BUTA et al., 1999) comumente usado na indústria de alimentos. Pesquisas recentes indicam o ES como alternativa para reduzir a oxidação superficial em frutos MP (GROSS et al., 2016). O cloreto de cálcio, quando utilizado em associação com antioxidantes, é responsável pela redução dos desequilíbrios fisiológicos e manutenção da cor. Esse efeito está relacionado à sua ação na prevenção da degradação da membrana celular, com

consequente redução na liberação de substratos para a atividade da PPO, protegendo portanto, a cor dos produtos MP (PEREZ-CABRERA et al., 2011).

Tabela 8. Redução da luminosidade na polpa de oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2018/2019.

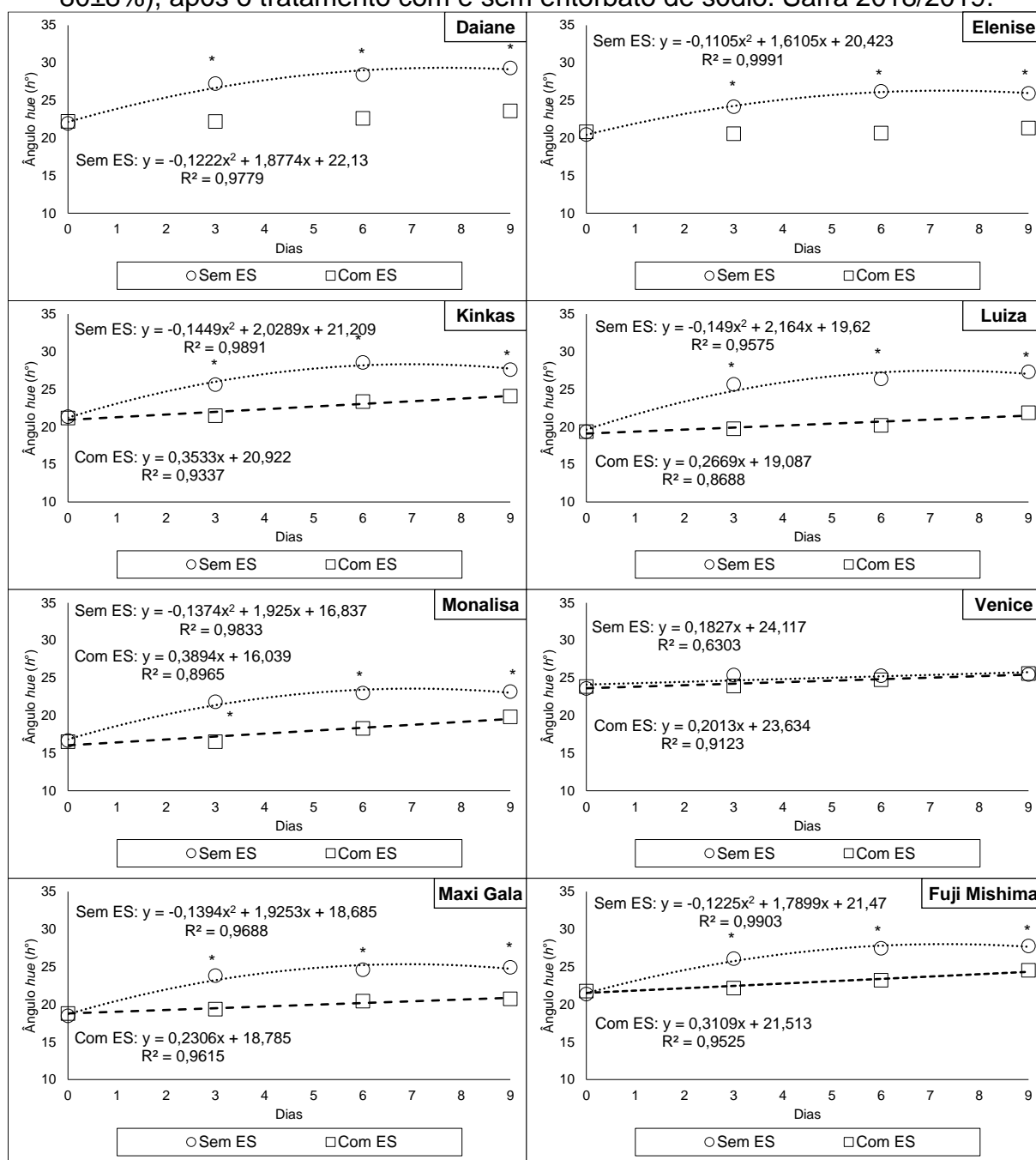
Cultivar	Redução de luminosidade (L*)		Alteração de tonalidade (h°)	
	Com antioxidante	Sem antioxidante	Com antioxidante	Sem antioxidante
Daiane	1,0 a	6,0 a	1,4 b	7,4 a
Elenise*	0,0 c	3,4 c	0,5 b	5,5 b
Fuji Mishima*	0,0 c	3,7 c	2,8 a	6,4 b
Maxi Gala*	0,0 c	4,2 b	2,0 b	6,5 b
Kinkas	0,3 b	4,0 b	2,9 a	6,3 b
Luiza	0,4 b	5,6 a	2,5 a	8,0 a
Monalisa*	0,0 c	4,4 b	3,3 a	6,5 b
Venice	1,2 a	4,2 b	1,7 b	1,9 c
CV (%)	19,3		20,5	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. \*As maçãs 'Elenise', 'Fuji Mishima', 'Maxi Gala' e 'Monalisa' minimamente processadas não perderam luminosidade quando tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio durante o tempo de armazenamento em BOD (temperatura de  $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O ângulo *hue*, que expressa a tonalidade de cor, apresentou alteração ao longo do tempo de armazenamento das maçãs (Figura 14). Apenas as maçãs 'Daiane' e 'Elenise' que receberam a aplicação de ES não apresentaram alteração da tonalidade de cor em função do período de armazenamento. A alteração de tonalidade da polpa ao longo do armazenamento nas cultivares de maçãs que receberam aplicação de ES foi menor em relação às cultivares de maçãs que não receberam este tratamento, à exceção da cultivar Venice, a qual não sofreu alteração de tonalidade da polpa entre os tratamentos com e sem ES.

Figura 14. Ângulo *hue* na polpa de oito cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD (5±0,5 °C e UR de 80±8%), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



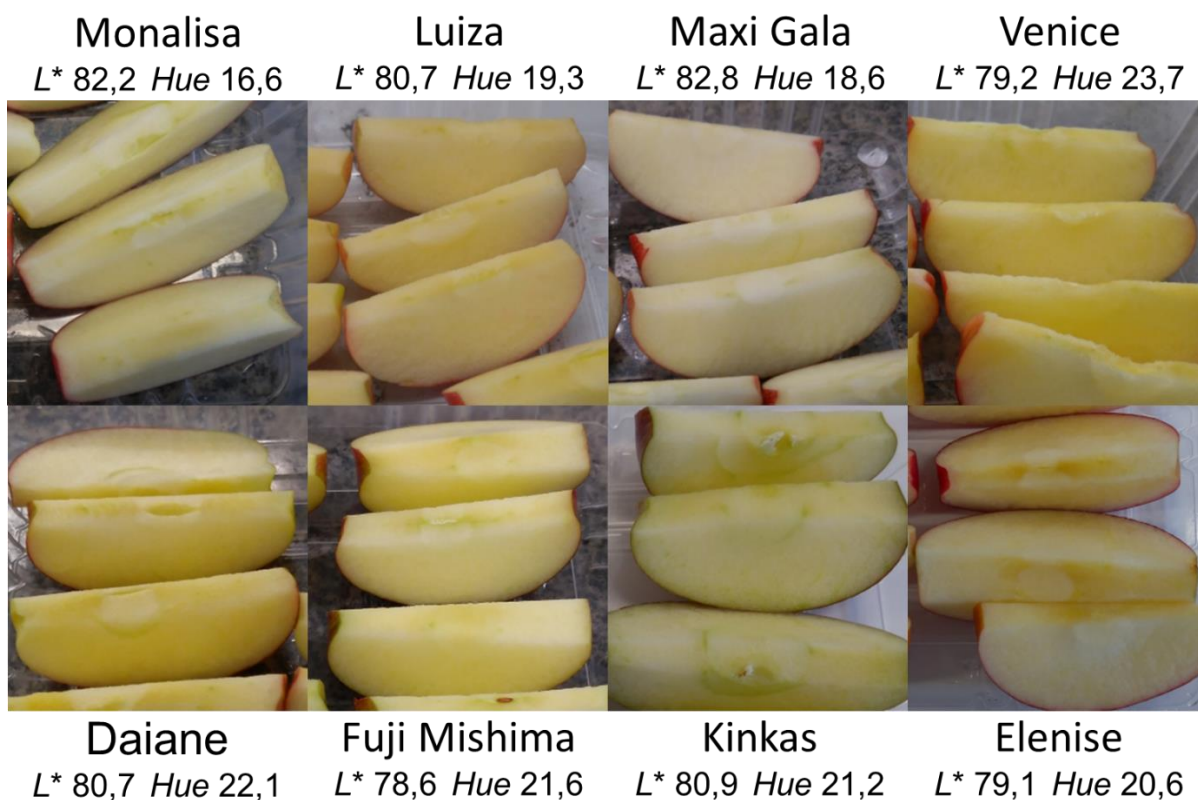
\* significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Ao final do período de armazenamento, entre os frutos que não receberam a aplicação do antioxidante, as cultivares Luiza e Daiane foram as que apresentaram maior alteração da tonalidade na polpa dos frutos (Tabela 8 e Figura 14). Já a cultivar Venice foi a que apresentou menor alteração. Desta maneira, a cv. Daiane apresentou maior ângulo *hue* entre as maçãs não tratadas com ES, após nove dias, com h° de

29,3. Em seguida, 'Fuji Mishima', 'Kinkas' e 'Luiza', apresentando  $h^\circ$  de 27,6, enquanto a 'Monalisa', com  $h^\circ$  de 23,2 foi a que apresentou menor valor neste período. Já entre os frutos que receberam o tratamento de ES, as cultivares Venice, Maxi Gala, Elenise e Daiane, foram as que tiveram menor incremento no ângulo *hue*, apresentando consequentemente menor variação de tonalidade da polpa dos frutos. Todavia, a cultivar Venice foi a que apresentou maior ângulo *hue* com 25,6  $h^\circ$ , seguida pelas cvs. Fuji Mishima, Kinkas e Daiane com média de 24,1  $h^\circ$ , enquanto 'Maxi Gala' e 'Monalisa' apresentaram o menor ângulo 20,3  $h^\circ$ . Para Manolopoulou e Varzakas (2011), o ângulo *hue*, juntamente com a luminosidade da polpa, são os dois parâmetros de cor mais adequados para medir a mudança de cor na superfície de corte dos frutos. Todavia, estes atributos expressam valores diferentes conforme a cor da polpa natural de cada cultivar e muitas vezes essas diferenças não têm relação com a mudança de cor provocada pelo corte e processamento dos frutos (Figura 15). A avaliação do escurecimento na polpa das maçãs MP é bastante complexa, uma vez que diversos atributos interferem na percepção de cor julgada pelo consumidor (SUBHASHREE et al., 2017). Fang et al. (2022), relataram que maçãs sem polpa vermelha podem ser classificadas em grupos de polpa amarela e polpa branca, porém, poucas pesquisas foram realizadas para comparar as semelhanças e diferenças entre esses dois grupos. Além disso, a distribuição desigual da PPO e substratos fenólicos nas maçãs pode resultar em escurecimento desigual na superfície cortada. Duangmal et al. (2017) encontraram quantidades de fenólicos bem como atividade específica da enzima PPO em níveis diferentes, em diferentes porções do fruto. Desta maneira, é importante ponderar todas as variáveis possíveis com relação à cor, a fim de obter uma análise mais crítica dos resultados. Assim, a variável IE expressa melhor a real mudança de cor ocasionada exclusivamente após o processamento das maçãs.

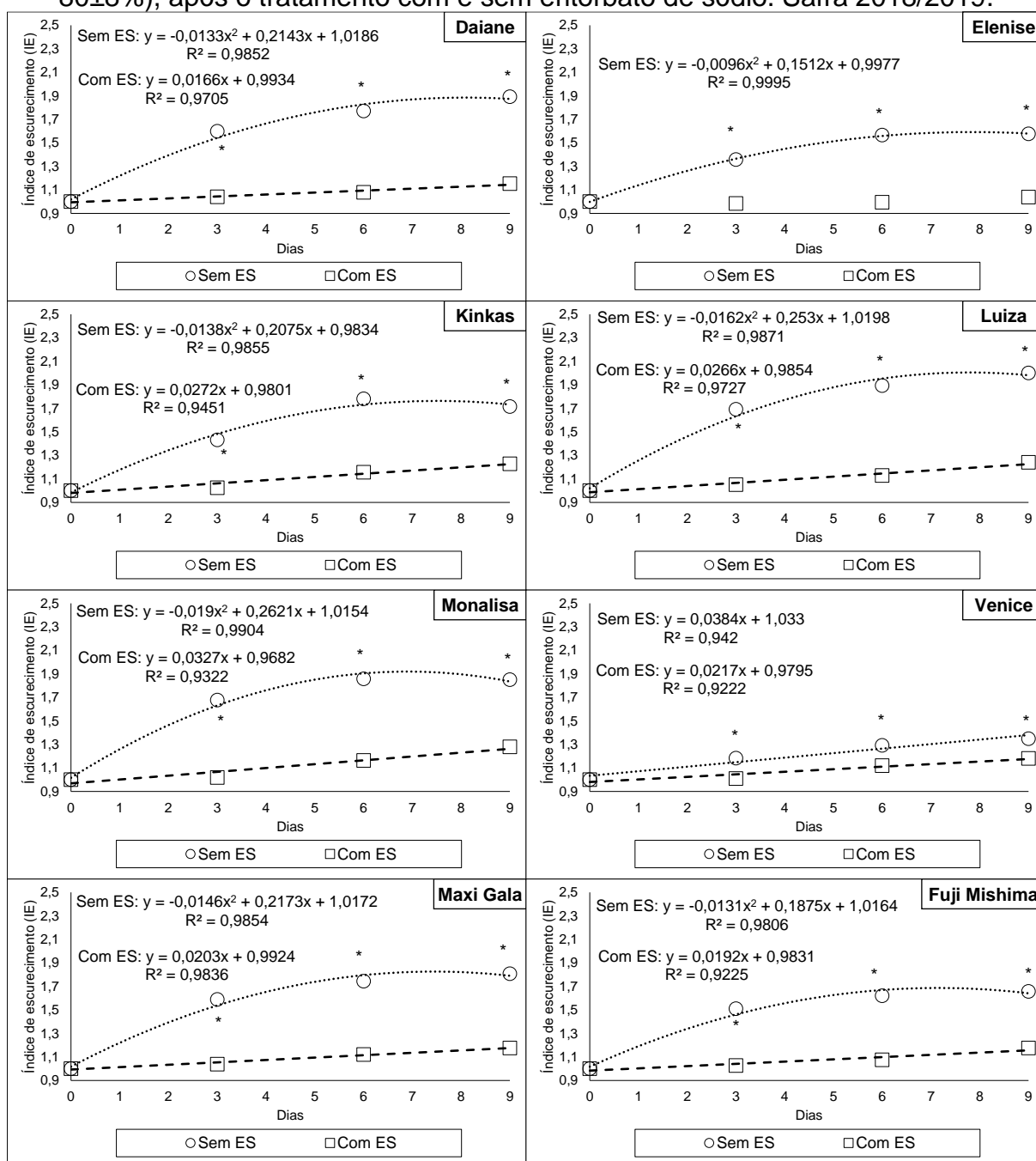
Figura 15. Luminosidade ( $L^*$ ) e tonalidade ( $^{\circ}Hue$ ) da polpa natural de oito cultivares de maçãs minimamente processadas. Safra 2018/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O IE mede a pureza da cor marrom e é considerado um parâmetro essencial nos processos em que ocorre o escurecimento enzimático e não enzimático (KUMAR et al., 2018b). Em todas as cultivares e durante todo o período de armazenamento, o IE foi maior nas maçãs que não receberam aplicação de ES em comparação com aquelas que receberam aplicação do antioxidante (Figura 16). O IE apresentou avanço ao longo do período de armazenamento nas maçãs de todas as cultivares independentemente da aplicação do ES, com exceção das maçãs 'Elenise' que receberam aplicação do antioxidante, as quais não sofreram escurecimento ao longo do armazenamento.

Figura 16. Índice de escurecimento de oito cultivares de maçãs minimamente processadas em função do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ), após o tratamento com e sem eritorbato de sódio. Safra 2018/2019.



\* significativo a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Após nove dias de armazenamento, todas as cultivares que receberam a aplicação de ES apresentaram de 12 a 39% menor IE da polpa em relação aos frutos sem o antioxidante (Figura 16 e Tabela 9). Entre as cultivares, a Elenise, por conta de não apresentar escurecimento quando recebeu o tratamento de ES, foi a cultivar que apresentou menor IE entre todas as maçãs que receberam o tratamento com o

antioxidante. Quando as maçãs não receberam a aplicação do ES, a cultivar Venice, apresentou menor IE em relação às demais, seguida pelas cvs. Elenise e Fuji Mishima. Já as maçãs 'Luiza', seguidas por 'Daiane' e posteriormente 'Monalisa' apresentaram os maiores IE da polpa quando não foi aplicado o ES. O escurecimento em maçãs MP ocorre devido a reações químicas catalisadas principalmente pela enzima PPO. Martín et al. (2011) e Piagentini e Pirovani (2017), estudaram a atividade da PPO de diferentes cultivares de maçãs e concluíram que as cultivares com maior teor de CFT e maior atividade da PPO foram as que apresentaram maior desenvolvimento de escurecimento da polpa. Esses resultados se confirmam para a cultivar Luiza. No entanto, apenas uma maior atividade da PPO não significa, necessariamente um maior escurecimento. Conforme observado, as maçãs 'Elenise' apresentaram uma das maiores atividades PPO e um dos menores IE. O papel da PPO na reação de escurecimento enzimático é oxidar monofenóis em difenóis e subsequentemente difenóis em quinonas (CORTELLINO et al., 2015). Neste sentido, as maçãs 'Elenise' foram as que apresentaram menor conteúdo de CFT. Ou seja, o menor IE das maçãs 'Elenise' deve estar relacionado ao seu baixo conteúdo de substratos utilizados pela PPO. A atividade da PPO e o escurecimento enzimático parecem depender do grau de polimerização dos compostos fenólicos usados como substratos (PERISIC et al., 2017). Em outras palavras, compostos monoméricos menores e de menor peso molecular, como a catequina e os ácidos hidroxicinâmicos (por exemplo, ácido p-cumárico e ácido clorogênico), parecem servir como substrato mais eficiente para PPO (WEAVER et al., 2014). A PPO é capaz de catalisar a oxidação de diferentes substratos fenólicos, mas a atividade varia de acordo com a especificidade do substrato (RODRÍGUEZ-ARZUAGA; RIOS; PIAGENTINI, 2019). Segundo Silva, Rosa e Vilas Boas (2009), todas as PPO oxidam os difenóis, mas algumas podem não ter atividade cresolase ou monoxigenase (não são capazes de hidroxilar monofenóis). Além disso, alguns compostos fenólicos, como proantocianidinas, procianidinas polimerizadas, ácido cafeico, ferúlico e cumárico, podem apresentar um alto potencial antioxidante, inibindo ou retardando as reações de escurecimento enzimático. Assim, é necessária uma caracterização aprofundada e compreensão melhor da polimerização dos compostos fenólicos para investigar os fenômenos de escurecimento de forma mais eficaz, uma vez que em cada cultivar de maçã, a composição fenólica distinta e a atividade de várias enzimas são diferentes e tudo isso pode influenciar o potencial de escurecimento da polpa (SERRA et al., 2021).



Tabela 9. Escurecimento na polpa de oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2018/2019.

Cultivar	Eritorbato de sódio	
	Com	Sem
	Índice de escurecimento	
Daiane	1,15 a	1,89 b
Elenise	1,04 b	1,58 e
Fuji Mishima	1,18 a	1,66 e
Maxi Gala	1,18 a	1,81 c
Kinkas	1,23 a	1,72 d
Luiza	1,24 a	2,00 a
Monalisa	1,28 a	1,85 c
Venice	1,18 a	1,35 f
<b>CV (%)</b>	5,3	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. ns: não significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Entre as cultivares avaliadas, 'Venice' foi também uma das cultivares com menor escurecimento da polpa, enquanto a 'Luiza' a com maior escurecimento (Figura 16 e Tabela 9). Em comum, as maçãs da cultivar Venice foram as que apresentaram os maiores teores de AA e menor atividade da PPO enquanto as maçãs 'Luiza' apresentaram os menores teores de AA e maior atividade da PPO. Diversos estudos demonstram a efetiva ação de AA na inibição do escurecimento da polpa em maçãs (ERCOLI et al., 2017; ERTEKIN FILIZ; SEYDIM, 2018; FAN, 2022;). Num estudo recente, Wen et al. (2021), mostraram, através de ensaio de fluorescência e técnicas que analisam transferência de energia de ressonância de Förster, que o AA interagiu com a tirosinase em um contato dinâmico e induziu uma mudança conformacional da enzima PPO. Estes autores concluem que o AA interage com o cobre e o encaixe molecular na PPO, podendo quelar os íons de cobre localizados no centro ativo da enzima e interagir com os resíduos de aminoácidos da tirosinase via interação hidrofóbica. Além disso, o AA previne o escurecimento de maçãs MP aumentando a atividade antioxidante e inibindo as atividades de PPO e POD que reduzem a oxidação de CFT e flavonóides. De acordo com Ertekin Filiz e Seydim (2018), o escurecimento enzimático é evitado, na presença do AA, devido à sua capacidade antioxidante. Ao invés do oxigênio participar na oxidação dos fenóis, na presença de PPO e POD, atua na oxidação do AA (LI; SCHELLHORN, 2007; FANG et al., 2017).

As cultivares Luiza e Venice, que apresentaram maior e menor escurecimento da polpa, respectivamente, apresentaram também as menores atividades de POD. De forma semelhante, Serra et al. (2021) estudaram a atividade enzimática da POD em 14 cultivares de maçãs e verificaram que os níveis mais baixos de atividade da POD foram em 'Topaz', uma cultivar que apresentou mudanças extremas de cor. Já outra cultivar de mudança de cor mais branda, 'Granny Smith', também apresentou níveis baixos de POD. Desta maneira, Serra et al. (2021), enfatizam a narrativa de uma série complexa de reações bioquímicas que contribuem para a formação enzimática e o escurecimento da polpa em maçãs.

Na variável SS, apenas as maçãs 'Maxi Gala', 'Daiane' e 'Kinkas' sem o tratamento de ES apresentaram variação ao longo do armazenamento, sendo que as demais cultivares e qualquer cultivar com aplicação de ES não sofreu influência do período de armazenamento (dados não apresentados). Olivas, Mattinson e Barbosa-Cánovas (2007) não verificaram redução significativa no teor de sólidos solúveis, durante o período de armazenagem em estudos com maçãs Gala MP.

Após os nove dias de armazenamento, o teor de SS nas maçãs 'Luiza', 'Monalisa' e 'Maxi Gala' que não receberam o tratamento de ES foi superior em comparação com as que receberam ES (Tabela 10). O aumento dos SS nessas maçãs, não tratadas com ES, pode ser efeito de uma combinação da perda de massa e da taxa respiratória dos frutos. As maçãs 'Monalisa' e 'Luiza', sem o antioxidante, apresentaram maior perda de massa, sendo que existe a possibilidade de aumento dos valores de SS pela perda da umidade (PIZATO et al., 2013). A ação da respiração também pode consumir SS e as maçãs 'Maxi Gala' que não receberam ES apresentaram respiração superior as que receberam o antioxidante durante o sexto dia de armazenamento dos frutos. Entre as cultivares, de maneira geral, as maçãs 'Elenise', 'Kinkas', 'Fuji Mishima' e 'Venice' foram as que apresentaram maior teor de SS, enquanto as maçãs 'Maxi Gala' foram as que apresentaram menor teor de SS. As maçãs 'Elenise', 'Venice' e 'Fuji Mishima', que apresentaram maiores teores de SS foram, também, as que apresentaram menores escurecimento da polpa. Esses resultados divergem de alguns estudos recentes que estão relacionando o teor de SS de maçãs com a suscetibilidade ao escurecimento da polpa em diferentes cultivares de maçãs, onde quão mais elevado o teor de SS, maior a suscetibilidade (KUMAR et al., 2018a). Drogoudi et al. (2008) estudando sete cultivares de maçãs, encontraram uma correlação positiva entre maior atividade antioxidante, maior teor de CFT, uma

cor mais clara na polpa e menor teor de sólidos solúveis (PIAGENTINI; PIROVANI, 2017; FANG et al., 2022). Wu et al. (2007) relacionou maçãs com baixo teor de fenólicos e com alto teor de SS e sugeriu que são adequadas para a produção de sucos de cor clara. Manzocco et al. (2001) observaram que a maior relação SS/AT de maçãs reflete tanto um sabor mais doce quanto uma maior suscetibilidade da fruta às reações de escurecimento durante as operações de processamento devido ao maior teor de açúcar. Além disso, os açúcares das maçãs podem acelerar reações não enzimáticas, o que também contribui para o escurecimento (SHRESTHA et al., 2020). Nesse sentido, refere-se que maiores teores de glicosídeos de cianidina podem promover o escurecimento não enzimático da maçã MP (FANG et al., 2022).

Tabela 10. Sólidos solúveis (SS) e acidez titulável (AT) em oito cultivares de macieira minimamente processadas tratadas e não tratadas com o antioxidante eritorbato de sódio, depois de nove dias armazenadas ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2018/2019.

Cultivar	SS (°Brix)		AT (%)	
	Antioxidante ES		Antioxidante ES	
	Com	Sem	Com	Sem
Daiane	11,9 cA	12,3 bA	0,37 dA	0,37 dA
Elenise	13,7 aA	13,5 aA	0,49 cA	0,50 bA
Fuji Mishima	13,1 bA	13,1 aA	0,31 eA	0,31 eA
Maxi Gala	10,6 dB	11,6 bA	0,39 dA	0,41 cA
Kinkas	13,2 bA	13,4 aA	0,33 eA	0,33 eA
Luiza	11,4 cB	12,1 bA	0,40 dA	0,37 dA
Monalisa	11,3 cB	12,2 bA	0,71 aA	0,71 aA
Venice	12,8 bA	13,1 aA	0,55 bA	0,47 bB
CV (%)	3,9		6,4	

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para a AT, o período de armazenamento não apresentou efeito nas cultivares Maxi Gala e Fuji Mishima com aplicação de ES e Kinkas com ambos os tratamentos (dados não apresentados). Na cultivar Venice, os frutos tratados com ES apresentaram maior AT em relação às maçãs que não receberam ES (Tabela 10). Nas demais cultivares, a AT não apresentou diferenças entre maçãs com e sem ES. Em relação às cultivares, pequenas variações para o efeito cultivar foram observadas sem ou com a aplicação do antioxidante. De forma geral, 'Monalisa', 'Venice' e 'Elenise' apresentaram maior AT. As cultivares Fuji Mishima e Kinkas foram as que

apresentaram menor AT. Frutos de 'Maxi Gala', 'Luiza' e 'Daiane' apresentaram valores intermediários. A acidez titulável constitui um fator de grande importância para o sabor e aroma das frutas, sendo que o pH influencia no escurecimento oxidativo dos tecidos vegetais (PETKOVŠEK et al., 2007). Os ácidos orgânicos também são usados como substrato respiratório para fornecimento de carbono e para produção de energia nas diferentes fases do ciclo vegetal. Para muitos autores, as cultivares que apresentam maior desenvolvimento de escurecimento estão relacionadas àquelas com maior atividade de PPO e/ou maior teor de compostos fenólicos (HOLDERBAUM et al., 2010; RODRIGUEZ-ARZUAGA; RIOS; PIAGENTINI, 2019). Porém, Martín et al. (2011) e Piagentini e Pirovani (2017) verificaram que além da atividade de PPO e dos compostos fenólicos, a acidez das maçãs também pode estar relacionada ao escurecimento da polpa. Para estes autores, cultivares de maçãs com menor acidez, tendem a apresentar maior desenvolvimento de escurecimento na polpa. Os ácidos orgânicos possuem propriedades ácidas fracas que podem ser encontradas naturalmente em frutas. A maioria dos ácidos orgânicos são conhecidos como ácidos carboxílicos, exibindo propriedades anti-escurecimento atribuídas às suas atividades quelantes de metais ou efeitos de redução de pH. Eles são ótimos inibidores de enzimas, pois são capazes de desativar a enzima PPO e a enzima POD baixando o pH do meio (HAMDAN et al., 2022). Todavia, verifica-se que cultivares com alta AT apresentam resultados discrepantes no escurecimento da polpa. É o caso das cultivares Elenise, Venice e Monalisa, onde maçãs 'Elenise' e 'Venice' apresentaram baixo escurecimento da polpa enquanto maçãs 'Monalisa' alto escurecimento. Isso indica que a acidez dos frutos não é suficiente para evitar o escurecimento da polpa das maçãs, ou que depende de ácidos orgânicos específicos.

Três cultivares se destacaram após considerar os atributos de cor avaliados. 'Elenise', 'Venice' e 'Fuji Mishima' apresentaram menor escurecimento da polpa e menores variações de cor na polpa, mesmo sem a presença do antioxidante ES. A cultivar Elenise, embora tenha apresentado alta atividade da PPO, foi a cultivar com menor teor de CFT. Tappi et al. (2019) destacam que atributos como o perfil fenólico diferente, tanto em termos quantitativos quanto qualitativos das cultivares podem influenciar no fenômeno de escurecimento mais notável. Já as cultivares Venice e Fuji Mishima foram as que apresentaram menores atividades da PPO e maiores teores de AA. Ercoli et al. (2017), estudando diferentes cultivares, verificaram correlação entre os fatores que afetam a cor da polpa de maçãs e indicou que o AA pode diminuir a reação

de escurecimento através da inibição da PPO. Todavia, mesmo com o menor escurecimento da polpa destas três cultivares, o emprego de antioxidantes se mostra necessário para manter a qualidade dos frutos processados por períodos mais longos. Contudo, é importante examinar se cultivares menos suscetíveis ao escurecimento podem apresentar resposta satisfatória à aplicação de doses menores dos antioxidantes.

### 3.4 CONCLUSÕES

As maçãs 'Venice', 'Elenise' e 'Fuji Mishima' são as mais indicadas ao mercado de frutos MP. Por outro lado, as maçãs 'Luiza', 'Daiane' e 'Maxi Gala' são as menos recomendadas para o processamento mínimo. As maçãs das cultivares Venice, Elenise e Fuji Mishima são menos propensas à redução de luminosidade, alteração de tonalidade e escurecimento da polpa.

A taxa respiratória e a produção de etileno são atributos relacionados com o escurecimento da polpa das maçãs. Cultivares de maçãs com menor taxa respiratória, 'Elenise', 'Venice' e 'Fuji Mishima', possuem escurecimento da polpa mais branda, enquanto maçãs com maior produção de etileno, 'Luiza', 'Maxi Gala' e 'Monsalisa', possuem escurecimento da polpa mais evidente. O menor escurecimento da polpa em maçãs 'Elenise' e 'Fuji Mishima' está relacionado com os menores teores de CFT, enquanto em maçãs 'Venice' está relacionado aos maiores teores de AA e as menores atividades da PPO e POD.

O emprego de antioxidante é fundamental para preservação das características de qualidade das maçãs MP, especialmente a manutenção da cor da polpa. ES é eficaz na manutenção da cor da polpa das maçãs e em demais atributos físico-químicos, além de melhorar a qualidade nutricional, como a AAT, o teor de CFT e os níveis de AA nos frutos MP.

## 4 QUALIDADE DE MAÇÃ MINIMAMENTE PROCESSADA EM FUNÇÃO DO USO DE ERITORBATO DE SÓDIO E DO PERÍODO DE ARMAZENAGEM DOS FRUTOS

### 4.1 INTRODUÇÃO

As maçãs minimamente processadas são suscetíveis à deterioração devido a alterações microbiológicas, enzimáticas, físicas e químicas, que podem reduzir sua qualidade, valor nutricional e segurança, além de causar alterações indesejáveis de seus atributos físico-químicos e sensoriais. Diante dessas questões, uma diversidade de métodos biológicos, físicos e químicos de conservação de frutos MP foram desenvolvidos para prolongar a vida útil dos alimentos e mantê-los seguros para os consumidores, sem alteração de suas características sensoriais (INANLI et al. 2020). Assim, a aplicação de conservantes no processamento de frutos tornou-se uma das técnicas atuais de conservação de alimentos. Os antioxidantes têm sido usados como conservantes para limitar ou retardar a deterioração biológica e química dos frutos, impedindo a oxidação de pigmentos, lipídios, vitaminas, ácidos e açúcares (BENSID et al., 2020). De maneira geral, a indústria de processamento mínimo de frutos utiliza a combinação de métodos físicos e químicos para o controle do escurecimento enzimático, pois evita o uso de tratamentos individuais mais severos, que poderiam prejudicar outros atributos sensoriais dos vegetais (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2009)

A oferta de maçãs MP e com baixo escurecimento da polpa se torna possível a partir do tratamento com compostos antioxidantes, tais como eritorbatos, logo após o corte dos frutos (CANTILLANO et al, 2017). De acordo com Ribeiro (2016), maçãs 'Gala' e 'Fuji' MP e tratadas com ES a 5%, em associação com  $\text{CaCl}_2$  a 1%, não apresentaram perda de qualidade significativa nas avaliações físico-químicas e mantiveram melhor aparência e qualidade sensorial em comparação a outros conservantes como L-cisteína (0,6%), ácido eritórbito (3%) e ácido kójico (0,07%). Cantillano et al. (2017) testaram L-cisteína a 0,6% e três concentrações de ES (3%, 4% e 5%) como agentes conservantes na maçã MP 'Royal Gala' e concluíram que ambos os antioxidantes e em qualquer concentração foram eficientes no controle de escurecimento da polpa dos frutos. Todavia, para estes autores, apenas o ES a 5% foi eficiente no controle do escurecimento de polpa das maçãs após o prolongamento do armazenamento em 9 dias. Já Seifert (2017) também identificou que o ES a 5%

proporcionou melhor preservação das características físico-químicas de maçãs 'Gala' MP.

Conforme observado nos capítulos 1 e 2, algumas maçãs brasileiras apresentam menor perda de qualidade após o corte, incluindo escurecimento da polpa, em relação a maçãs de cultivares tradicionais, como a 'Gala'. Todavia, a utilização de agentes conservantes é imprescindível mesmo para essas maçãs com menor escurecimento da polpa e maior potencial para processamento mínimo. Contudo, é possível que concentrações menores de agentes conservantes sejam necessárias para controlar os efeitos danosos na qualidade de maçãs cujas cultivares apresentem menor suscetibilidade ao escurecimento da polpa e/ou melhor resposta aos agentes conservantes.

Sabe-se que a maturidade das maçãs na colheita e o estágio de maturação, no momento do processamento mínimo, afetam a qualidade e a vida útil dos produtos MP (HARKER et al., 2003). No Brasil, a maior parte das maçãs produzidas são armazenadas em câmaras frias com a finalidade de ofertar frutos de qualidade ao longo do ano (GONÇALVES; ARGENTA; DE MARTIN, 2017). Contudo, não se sabe como o período de armazenagem de maçãs brasileiras pode afetar seu potencial para serem utilizadas como alimento minimamente processado.

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o efeito de concentrações baixas de ES (0%, 0,5%, 1% e 2%) sobre o escurecimento da polpa, atividade enzimática e demais atributos físico-químicos de maçãs das cultivares Luiza, Venice, Elenise e Fuji Mishima submetidas ao processamento mínimo, bem como verificar o efeito de um período de 100 dias de AR sobre a qualidade destas maçãs minimamente processadas.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Maçãs das cultivares, SCS425 Luiza, SCS426 Venice, Fuji Mishima e SCS427 Elenise foram colhidas de pomares localizados no município de São Joaquim, SC (latitude 28°10'02.28" S, longitude 50°03'48.07" W, altitude 1158 metros e latitude 28°17' S, longitude 49°55' W, altitude 1415 m), durante a safra 2019/2020. Foram utilizadas maçãs 'Venice' e 'Elenise' devido aos resultados promissores dos capítulos 1 e 2, onde estas maçãs apresentaram menor escurecimento da polpa. Maçãs 'Fuji Mishima' também apresentaram bons resultados, com baixo escurecimento da polpa

e pertence ao segundo grupo de cultivares ('Fuji Standard' e suas mutações) mais plantados no Brasil, ou seja, possui grande potencial para o mercado de MP no país. Já maçãs 'Luiza' apresentaram elevado escurecimento da polpa e foram utilizadas para fins de comparação às maçãs com baixo escurecimento.

Após a colheita, foi efetuada uma padronização de calibre, e os frutos que apresentavam podridões, lesões ou defeitos foram eliminados. Os atributos de maturação (firmeza da polpa, acidez titulável, teor de sólidos solúveis e índice iodo-amido) foram avaliados, em todas as cultivares, após a colheita, e encontram-se na Tabela 11.

Tabela 11. Data da colheita, firmeza da polpa (FP), teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e índice de iodo-amido (IA) em frutos de oito cultivares de macieira na colheita, na safra 2019/2020.

<b>Cultivar</b>	<b>Data colheita</b>	<b>FP (N)</b>	<b>SS (°Brix)</b>	<b>AT (% ac. málico)</b>	<b>IA (1-10)</b>
Luiza	13/02	85,7	14,9	0,459	7,3
Venice	23/03	84,2	14,2	0,337	8,4
Fuji Mishima	02/04	77,3	15,5	0,443	6,2
Elenise	17/04	84,9	14,8	0,576	7,6

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Após a colheita, os frutos foram armazenados em câmara fria a  $0,5 \pm 0,2$  °C e UR de  $85 \pm 5\%$  durante 5 e 100 dias. O AR de 100 dias teve como objetivo avaliar se as cultivares com potencial para processamento mínimo durante a colheita são capazes de manter esse potencial após armazenamento prolongado dos frutos, a fim de manter um abastecimento do produto ao longo do ano. Após o período em armazenamento, foi realizado o processamento mínimo dos frutos.

Semelhante ao capítulo 2, para a montagem do experimento, as maçãs foram sanitizadas imergindo-as em uma solução de hipoclorito de sódio (200 ppm) durante 10 minutos. Após, as maçãs foram cortadas em oito fatias longitudinais, retirando-se a região carpelar e mantendo-se a casca. As fatias de maçãs de cada cultivar foram submersas por um minuto nos seguintes tratamentos: 0% de ES (água destilada); 0,5% de ES; 1,0% de ES; e 2,0% de ES. Em todos os tratamentos, na solução de ES, foi adicionado  $\text{CaCl}_2$  na concentração de 1%. Posteriormente, oito fatias de maçãs foram colocadas em bandejas de polietileno tereftalato e armazenadas por dois períodos de tempo (0 e 10 dias), em BOD com a temperatura controlada em  $5 \pm 0,5$  °C e UR de  $80 \pm 8\%$ . O período de 0 dias compreendeu cerca de 2h de armazenamento



na BOD, tempo considerável para que todas as amostras se encontrassem homogêneas em termos de temperatura e umidade.

Foram avaliadas as taxas respiratórias e de produção de etileno, perda de massa, textura da polpa, acidez titulável, teor de sólidos solúveis, escurecimento da polpa, expresso em luminosidade, ângulo *hue*, índice de escurecimento normalizado (IE) e mudança total de cor ( $\Delta E$ ), atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH), compostos fenólicos totais (CFT), teor de ácido ascórbico (AA) e a atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO). Todas essas avaliações foram realizadas com a mesma metodologia descrita nos capítulos 1 e 2.

A atividade enzimática foi determinada apenas nas cultivares Luiza e Elenise, as quais apresentaram grande contraste de escurecimento da polpa, ou seja, as maçãs 'Luiza' apresentaram os maiores índices de escurecimento da polpa enquanto maçãs 'Elenise' apresentaram um dos menores.

Nas maçãs em AR por 100 dias, foram repetidas as avaliações de perda de massa, textura da polpa, acidez titulável, teor de sólidos solúveis, taxas respiratórias e de produção de etileno e escurecimento da polpa.

O delineamento experimental deste experimento foi inteiramente casualizado, com esquema fatorial (4x2x4) composto por "concentração de ES" (0, 0,5, 1, e 2 %) x "período de armazenamento" (0 e 10 dias) e "cultivar" (Luiza, Venice, Fuji Mishima e Elenise). Foram utilizadas 4 repetições e a unidade experimental foi constituída por uma bandeja com oito fatias de maçã.

Os dados foram submetidos à ANOVA, e quando a interação entre os fatores foi significativa ( $p < 0,05$ ), os dados foram submetidos ao desdobramento dos efeitos. Para os fatores qualitativos, "período de armazenamento" e "cultivar", foi realizado teste de comparação de médias Scott-Knott, enquanto para o fator quantitativo "concentração de ES", foi realizado análise de regressão.

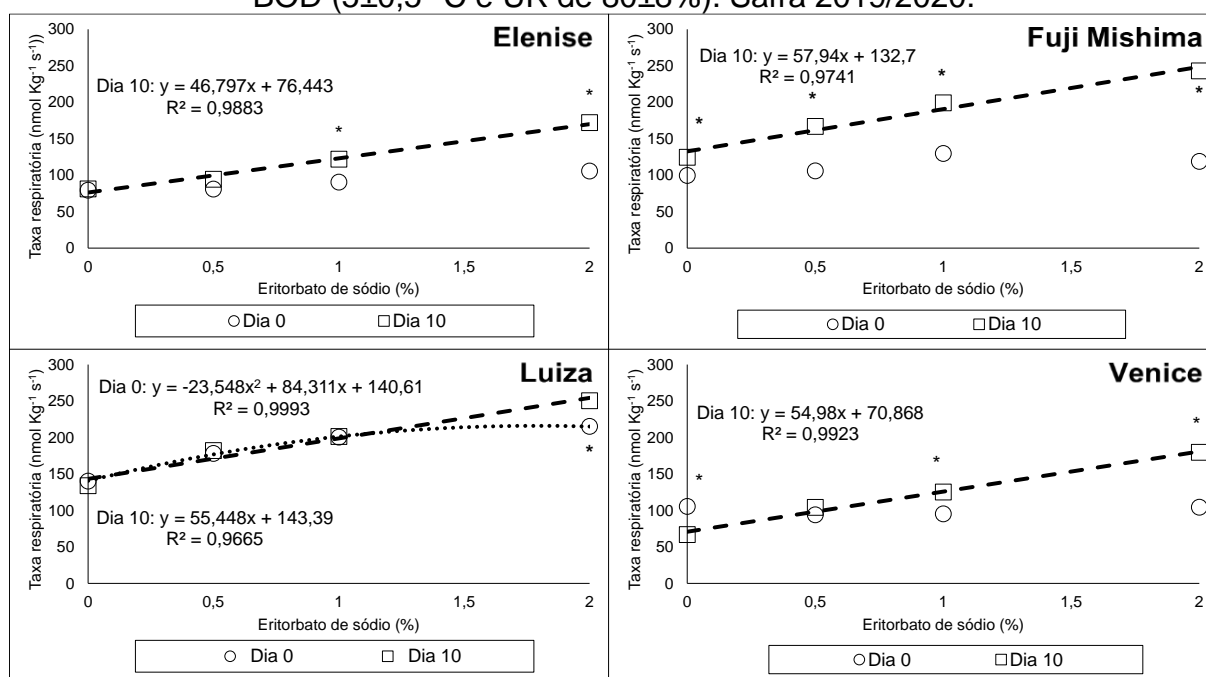
## 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3.1 Maçãs MP depois do AR de 5 dias

Na respiração, o efeito do aumento da concentração de ES foi de aumentar a taxa respiratória das maçãs MP (Figura 17). Esse aumento da respiração ocorreu em

todas as cultivares ao décimo dia de armazenamento e na cultivar Luiza, também, no dia do processamento. Quanto ao período de armazenamento, as maçãs 'Fuji Mishima' apresentaram aumento da taxa respiratória após 10 dias de armazenamento, independentemente da concentração de ES. Já nas maçãs das cultivares Elenise e Venice o aumento da taxa respiratória após 10 dias de armazenamento ocorreu nas concentrações de 1 e 2% de ES e nas maçãs 'Luiza' apenas na concentração de 2% de ES. Na cultivar Venice, quando não foi aplicado o ES, a taxa respiratória reduziu após 10 dias de armazenamento. O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> é esperado, pois é consequência do processo respiratório e são detectáveis nas frutas MP, mesmo que armazenadas em recipientes permeáveis às trocas gasosas (MANURAKCHINAKORN et al., 2012). Para as cultivares, de maneira geral, a taxa respiratória das maçãs 'Luiza' foi a maior enquanto a taxa respiratória das maçãs 'Elenise' e 'Venice' foi a menor.

Figura 17. Taxa respiratória de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD (5±0,5 °C e UR de 80±8%). Safra 2019/2020.



\* significativo a 5%.

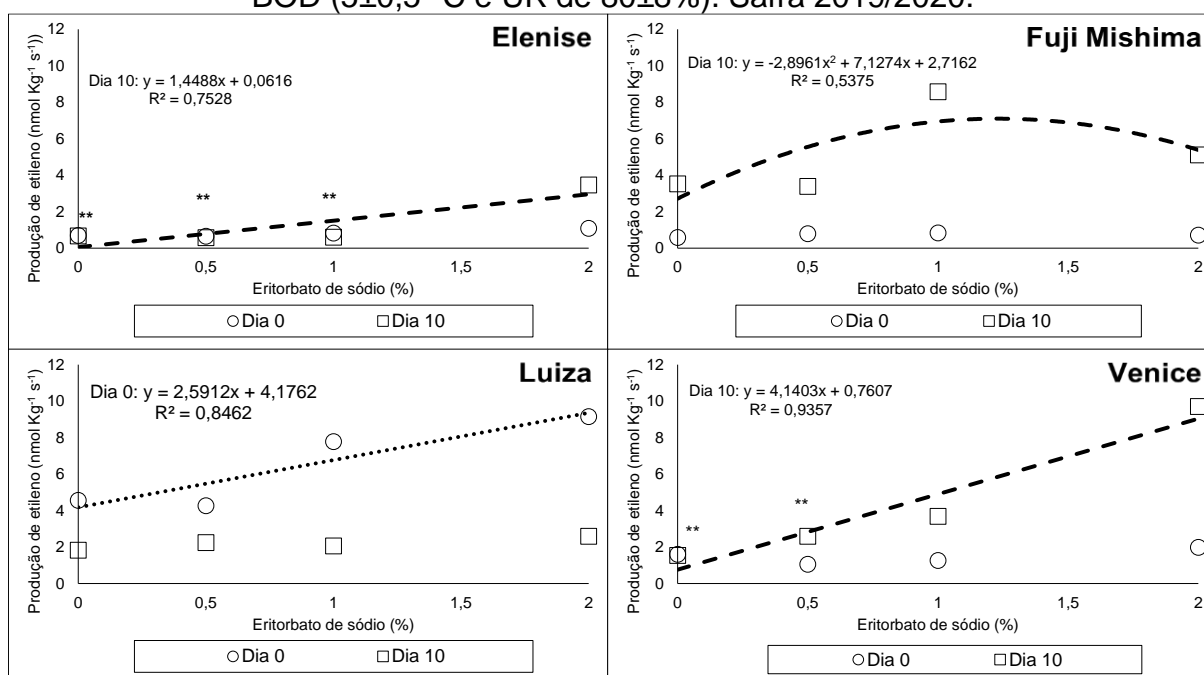
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para a produção de etileno, as maçãs MP das diferentes cultivares apresentaram resultados variados, porém, de maneira geral, o aumento da concentração de ES aumentou a produção de etileno nos frutos (Figura 18). No dia

do processamento dos frutos, as maçãs da cv. Luiza foram as que apresentaram maior produção de etileno em relação às demais cultivares. Além disso, as maçãs desta cultivar apresentaram aumento na produção de etileno conforme foi aumentada a concentração de ES no período de 0 dias e tiveram também redução na produção de etileno após os 10 dias de armazenamento, independentemente da concentração de ES. No dia 10 de armazenamento, as maçãs 'Fuji Mishima' e 'Venice' foram as que apresentaram maior produção de etileno em relação às demais. As maçãs destas cultivares, juntamente com as da 'Elenise', apresentaram aumento na produção de etileno conforme maior a concentração de ES aos 10 dias de armazenamento. Nas maçãs dessas três cultivares, a concentrações de ES não influenciou a produção de etileno no dia 0 de armazenamento. Maçãs 'Fuji Mishima' apresentaram aumento na produção de etileno após os 10 dias de armazenamento, em qualquer das concentrações de ES. Já na cultivar Venice, a produção de etileno das maçãs MP aumentou após 10 dias de armazenamento somente nas concentrações de 1 e 2% de ES, enquanto nas maçãs 'Elenise', só ocorreu aumento da produção de etileno na concentração de 2% de ES.

As primeiras respostas dos produtos minimamente processados ao ferimento incluem aumento tanto na respiração quanto na produção de etileno devido à resposta inicial ao estresse, com conseqüente redução dessas taxas para um valor de equilíbrio (FINNEGAN et al. 2013; MAHAJAN et al. 2014). Esse comportamento padrão em frutos MP, é observado apenas nas maçãs 'Luiza', sendo que as maçãs 'Fuji Mishima', 'Venice' e 'Elenise' apresentaram aumento da produção de etileno justamente alguns dias após o processamento dos frutos. Esse comportamento pode ser uma característica genética destas cultivares e que pode estar diretamente relacionado a menor deterioração enzimática das mesmas, uma vez que uma menor taxa respiratória pode significar um metabolismo menos acelerado, bem como uma menor velocidade de deterioração dos frutos. Já a menor produção de etileno pode estar relacionada a uma menor produção de enzimas oxidativas, já que o etileno pode estar envolvido na ativação de genes ligados à produção das enzimas PPO e POD (ESPLEY et al., 2019).

Figura 18. Produção de etileno de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.



\*\* não significativo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

É curioso como o aumento da concentração de ES aumenta a produção de etileno das maçãs MP (Figura 18). O ácido ascórbico se correlaciona com a síntese de giberelinas, de etileno, ativa outros antioxidantes, se relaciona com a respiração celular e atua protegendo a planta de danos provocados pela luz ao proteger o fotossistema II (SMIRNOFF; WHEELER, 2000). O AA é capaz de agir como cofator, por conta da sua ação redutora, em várias enzimas importantes no metabolismo vegetal. Uma delas é a enzima ACC (VERVERIDIS; JOHN, 1991). A ACC faz parte da via de síntese do etileno, atuando na última etapa do processo de formação deste hormônio. Dessa maneira, o AA participa da síntese do etileno (MURPHY et al., 2014). O ES como um estereoisômero do ácido ascórbico pode estar desempenhando essa mesma função no aumento da produção de etileno.

O teor de SS, a AT e a força para penetração da polpa das maçãs MP não foram afetados pela concentração de ES após o período de 10 dias de armazenamento (dados não apresentados). Os SS e a AT são comumente usados para avaliar a qualidade dos frutos, e uma mudança na relação entre esses parâmetros pode ter um grande impacto no sabor da maçã MP (HAGEN et al., 2007; PIAGENTINI; PIROVANI, 2017). Contudo, avaliações sensoriais em outros estudos já

demonstraram que o ES junto com  $\text{CaCl}_2$  não apresenta prejuízos organolépticos em maçãs MP com relação à fruta *in natura*, no dia da colheita (RIBEIRO, et al., 2019a; RIBEIRO, et al., 2019b).

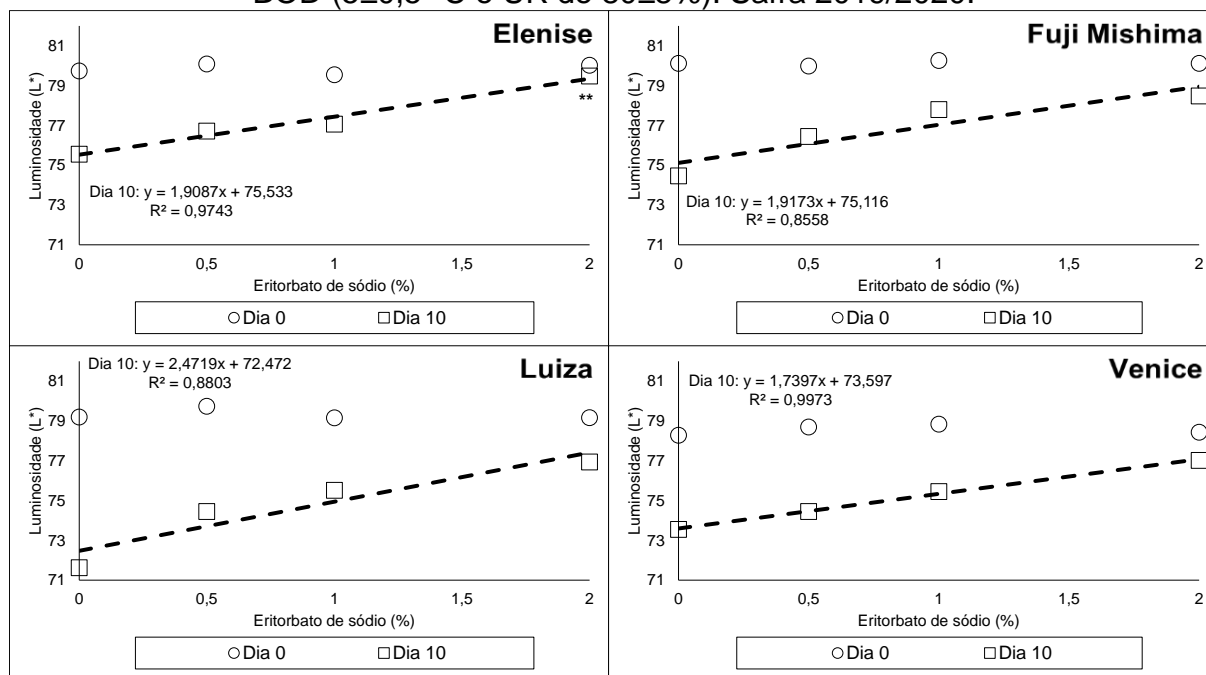
Na perda de massa, o comportamento das cultivares em relação a concentração de ES foi o mesmo, onde quanto maior a concentração de ES nas maçãs MP, menor a sua perda de massa (dados não apresentados). A lesão mecânica dos tecidos vegetais causada pelo processamento mínimo intensifica as perdas de água, aumentando assim o risco de murcha e desidratação (RUX et al., 2019). Este efeito é resultado da redução da resistência à difusão devido à remoção da camada epidérmica protetora natural (BEAUDRY, 2000). Perda de massa significativa tem efeito fisiológico e pode comprometer a aparência, a textura e a qualidade nutricional das frutas e legumes minimamente processados (SANCHIS et al., 2016). O uso de  $\text{CaCl}_2$  tem papel essencial na manutenção da integridade e firmeza da polpa, devido à sua ação como estabilizador de biomembrana, e a ação sinérgica com o ES pode ter garantido os melhores resultados na perda de massa e conseqüentemente pode ter garantido também uma melhor manutenção da textura dos frutos (LEE et al., 2003; GANG et al., 2015; SANCHIS et al., 2016).

Para luminosidade da polpa, no dia do processamento, a concentração de ES não apresentou efeito nas maçãs MP de todas as cultivares (Figura 18). Neste período, a luminosidade da polpa das maçãs 'Fuji Mishima' e 'Elenise' eram maiores, enquanto a cv. Venice apresentava os frutos MP com menor luminosidade da polpa. Conforme os resultados já apresentados nos primeiros capítulos, a luminosidade da polpa natural das maçãs da cv. Venice é menor.

Após o período de 10 dias armazenadas, as maçãs MP sofreram redução de luminosidade da polpa (Figura 19). Todavia, o aumento da concentração de ES apresentou efeito linear e crescente na preservação da luminosidade da polpa das maçãs de todas as cultivares, sendo que, na concentração de 2%, o ES manteve a luminosidade da polpa das maçãs 'Elenise', mesmo após 10 dias armazenadas. O ES é um agente antioxidante devido à sua capacidade de extinguir o oxigênio singlete, de doar hidrogênio e atuar como agente redutor (CAROCHO et al., 2018). A principal ação relatada de ES na preservação da luminosidade da polpa das maçãs MP deve-se ao fato de que ele reage com o oxigênio e pode removê-lo de um sistema fechado (LEE et al., 2012). Conforme Silva, Rosa e Vilas Boas (2009), os agentes redutores

atuam na prevenção do escurecimento enzimático reduzindo as quinonas a difenóis ou reagindo irreversivelmente com elas formando produtos estáveis e sem cor.

Figura 19. Luminosidade da polpa de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.



\*\* não significativo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

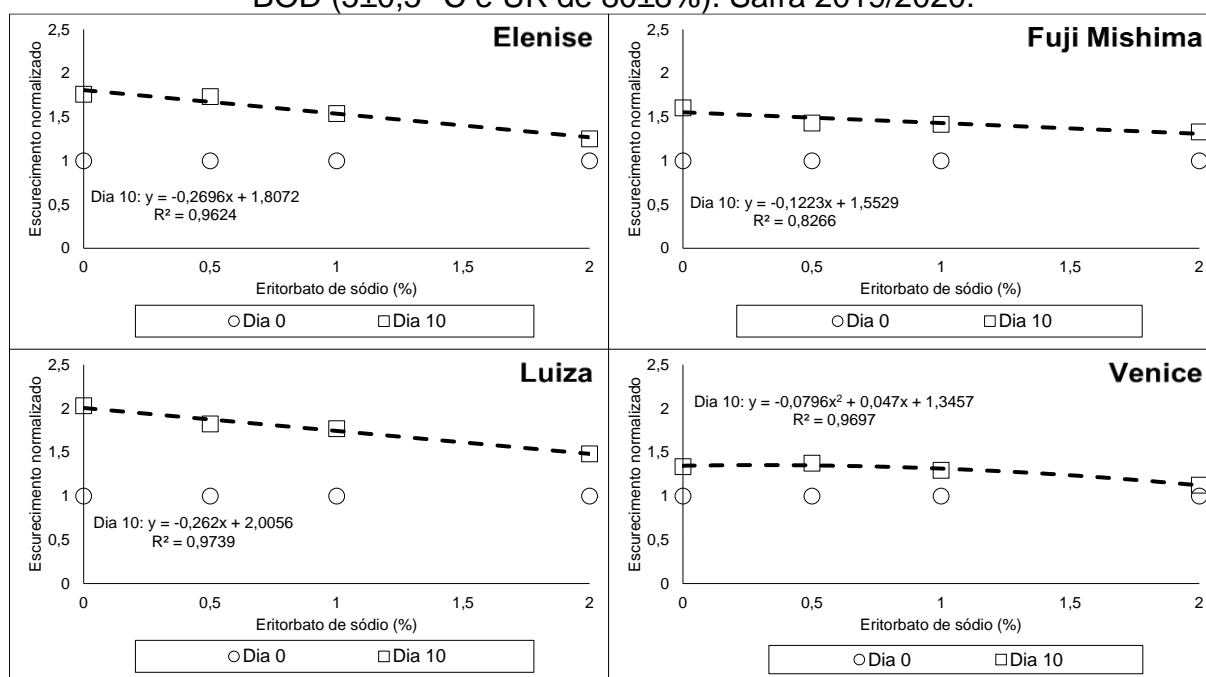
É possível verificar que maçãs MP de algumas cultivares apresentaram redução de luminosidade maior que outras (Figura 19). Após o período de 10 dias, as maçãs da cultivar 'Fuji Mishima' já apresentavam luminosidade da polpa menor que das maçãs 'Elenise' e as maçãs 'Luiza' apresentavam luminosidade da polpa menor que maçãs 'Venice'. Isso indica que, enquanto as maçãs 'Venice' e 'Elenise' mantêm uma redução de luminosidade da polpa mais lenta, as maçãs das cvs. Luiza e Fuji Mishima apresentam uma redução de luminosidade mais acelerada.

Em relação ao IE, as maçãs MP de todas as cultivares, independentemente da concentração de ES, apresentaram escurecimento da polpa após 10 dias de armazenamento (Figura 20). Além disso, o aumento da concentração de ES apresentou um efeito de redução de escurecimento da polpa de maçãs MP, após o período de 10 dias de armazenamento. O escurecimento enzimático é um problema crítico em maçãs, especialmente na indústria de processamento, que, com a proibição dos sulfitos em muitos países, precisa de agentes anti-escurecimento para frutos MP

(SERRA et al., 2021). A oxidação, que causa o escurecimento, também pode resultar em perda de qualidade nutricional e proporcionar modificações de sabor nas maçãs MP (RIBEIRO et al., 2019b). Desta maneira, um agente antioxidante pode preservar outros atributos organolépticos também, além da cor da polpa das maçãs MP.

Em relação às cultivares, observa-se que as maçãs ‘Luiza’ são as que apresentaram maior escurecimento da polpa, enquanto as maçãs ‘Venice’, as que apresentaram o menor escurecimento, independentemente da concentração de ES utilizada (Figura 20). Observa-se também, que as maçãs das cultivares Elenise e Luiza sofrem maior influência do ES em relação ao escurecimento da polpa, sendo que o antioxidante atuou reduzindo consideravelmente este atributo negativo à medida que se elevou sua concentração. Esses resultados apontam para a importância do antioxidante em inibir o escurecimento da polpa (PEREZ-CABRERA et al., 2011).

Figura 20. Escurecimento da polpa de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

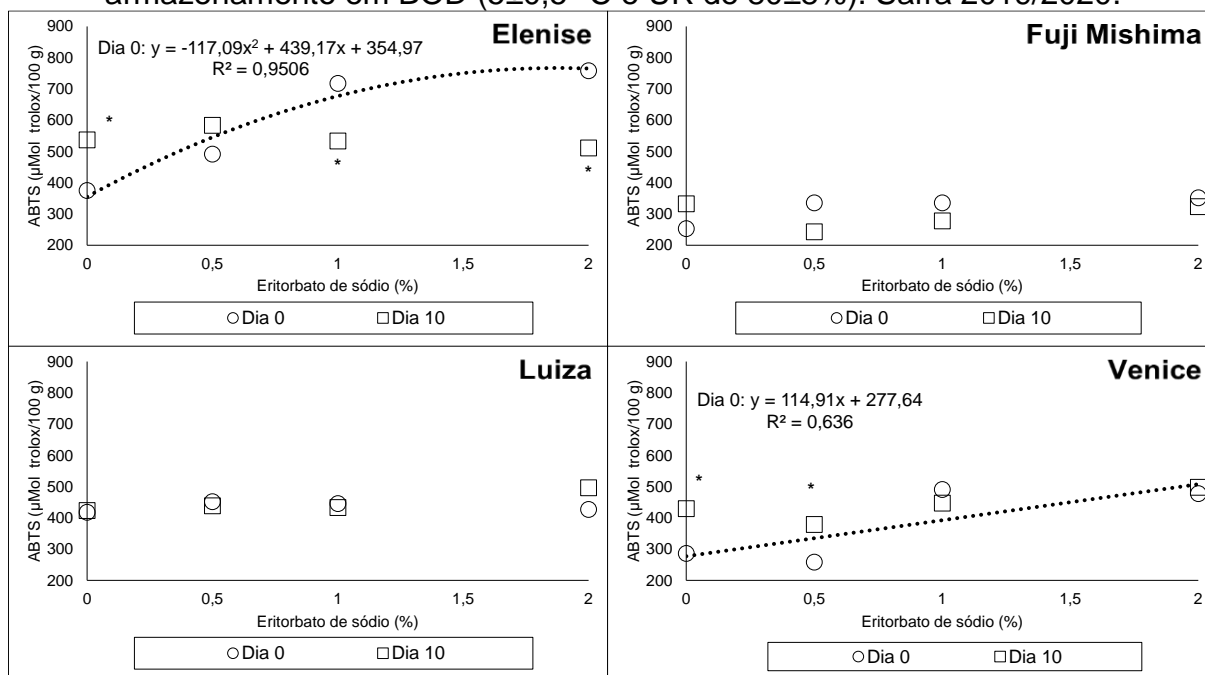
As maçãs da cultivar Luiza, que apresentaram maior escurecimento da polpa, também foram as que apresentaram as maiores taxas respiratórias. Putnik et al. (2016) verificaram uma correlação semelhante entre a produção de CO<sub>2</sub> e a mudança de cor na polpa de maçãs MP. Todavia, esses autores observaram que o

escurecimento da polpa nas maçãs MP e a respiração estão positivamente correlacionados até um determinado nível. Após este nível, que não foi determinado pelos autores, o escurecimento da polpa e a respiração invertem a relação, quando o aumento da respiração impedirá o escurecimento. Observou-se um efeito semelhante neste estudo, onde a taxa respiratória em maçãs MP com menor escurecimento, ou seja, aquelas que receberam concentrações maiores de ES, foi maior após os 10 dias de armazenamento, indicando que essa taxa respiratória elevada poderia estar contribuindo na prevenção do escurecimento (PUTNIK et al., 2016).

A AAT na polpa das maçãs MP, pelo método ABTS, foi influenciada pelo ES somente no dia do processamento dos frutos e nas cvs. Elenise e Venice, onde o aumento na concentração do ES aumentou a AAT das maçãs MP (Figura 21). No dia 10 de armazenamento, as maçãs MP não sofreram influência da concentração de ES. De maneira geral, a AAT na polpa das maçãs 'Elenise' foi maior em relação às demais cultivares, enquanto as maçãs 'Fuji Mishima' apresentaram as menores taxas de AAT. Além da função benéfica na preservação da qualidade dos frutos, os antioxidantes também possuem funções biológicas para humanos e animais, como propriedades imunomoduladoras e anti-inflamatórias (STAMOGIANNOU et al., 2021). Portanto, cultivares com maiores concentrações, bem com melhor preservação dessas propriedades, são importantes para manter a qualidade das maçãs MP e, conseqüentemente, o benefício à saúde dos consumidores (FANG et al., 2022).



Figura 21. Atividade antioxidante pelo método ABTS de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.



\* significativo a 5%

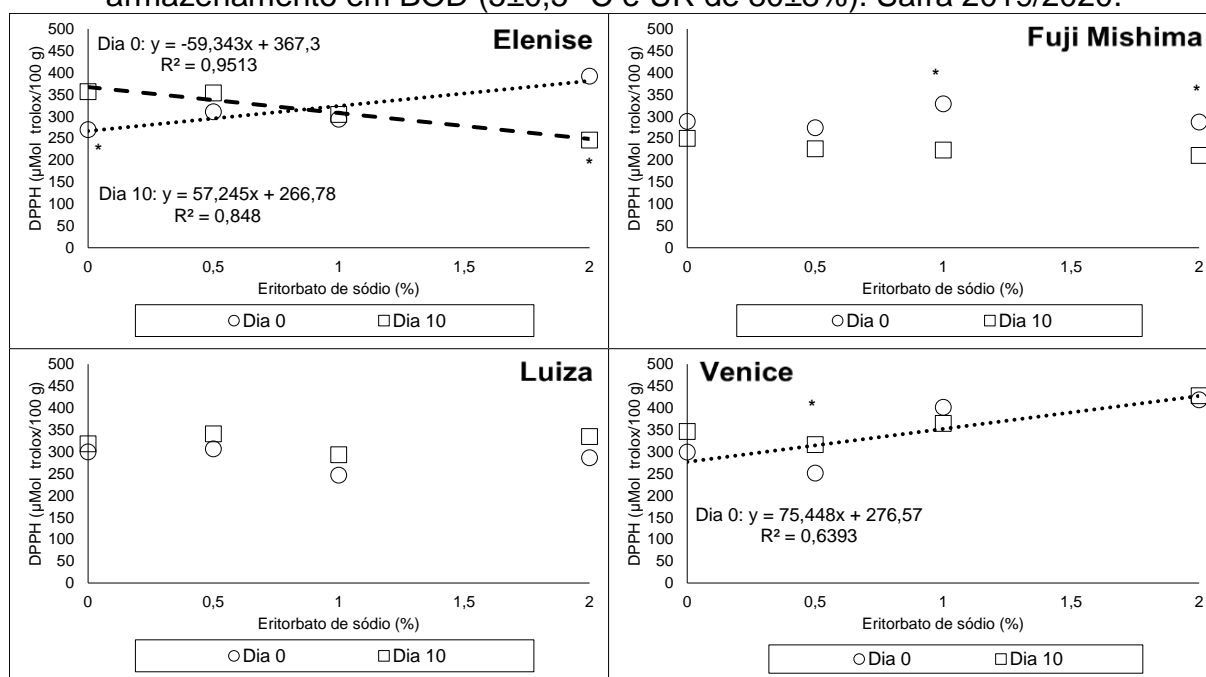
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

De maneira semelhante, a AAT das maçãs MP pelo método DPPH não foi influenciada pelo ES nas cultivares Fuji Mishima e Luiza, independentemente do período de armazenamento (Figura 22). No dia 0 de armazenamento, as maçãs das cvs. Elenise e Venice apresentaram um aumento na AAT com o aumento da concentração de ES, assim como no método ABTS. Todavia, diferente do método ABTS, as maçãs 'Elenise' apresentaram uma redução da AAT com o aumento da concentração de ES no dia 10 de armazenamento. Desta maneira, nesta cultivar, quando não foi aplicado o ES, ocorreu um aumento na AAT das maçãs MP após 10 dias de armazenamento. Por outro lado, quando foi aplicado ES na concentração de 2%, ocorreu uma redução na AAT das maçãs MP após este período de armazenamento. A redução da AAT nas maçãs 'Elenise' tratadas com 2% de ES após 10 dias de armazenamento é comum, pois os valores de AAT tendem a aumentar em amostras imersas em antioxidantes com seguida redução, atingindo níveis semelhantes aos das amostras não tratadas ao final do armazenamento refrigerado (COCCI et al., 2006). Todavia, o aumento da AAT nessas maçãs sem o tratamento de ES após os 10 dias de armazenamento pode estar relacionado a outros compostos formados pela oxidação parcial de polifenóis que possuem maior atividade

sequestrante de radicais e conferem ATT maior (COCCI et al., 2006). Esses compostos poderiam ter sido formados até mesmo pela ação das enzimas PPO e POD.

Assim como no método ABTS, as maçãs ‘Fuji Mishima’ apresentaram, de maneira geral, menor AAT (Figura 22). Entretanto, as maçãs ‘Venice’ foram as que apresentaram maior AAT pelo método DPPH.

Figura 22. Atividade antioxidante pelo método DPPH de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.



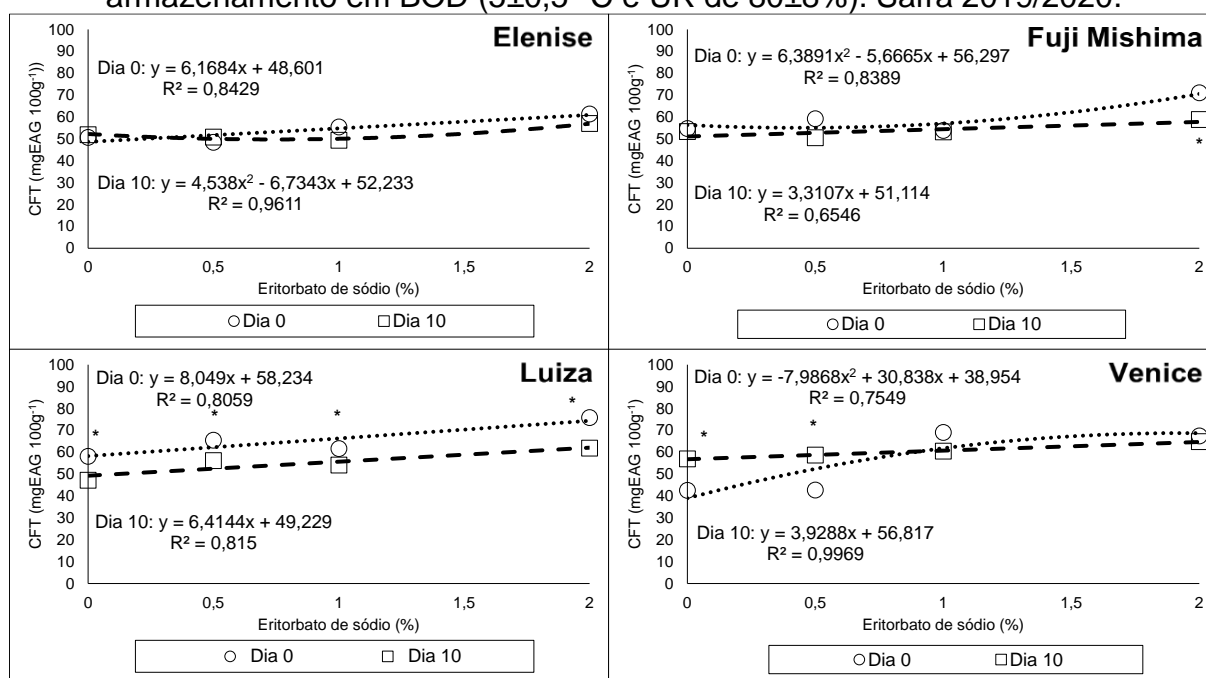
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O aumento da concentração de ES aumentou o teor de CFT das maçãs MP de todas as cultivares em ambos os períodos de armazenamento (Figura 23). A carga antioxidante e o teor de CFT pode ser complementado pela imersão da fruta MP em soluções contendo antioxidantes exógenos e a preservação dos CFT ocorre porque o ES limita a produção de quinonas, eliminando o oxigênio do tecido antes de reagir com os compostos fenólicos (CLARK et al., 2009; AGUAYO et al., 2010; GRANT-PREECE et al., 2013). Todavia, as maçãs de cada cultivar apresentaram uma resposta diferente em relação às concentrações de ES e ao período de armazenamento. Maçãs ‘Elenise’ não sofreram influência do período de armazenamento, ou seja, o teor de CFT dos frutos MP não diferiu entre o dia do

processamento e 10 dias após o armazenamento, independentemente da concentração de ES. Maçãs 'Fuji Mishima' apresentaram redução no teor de CFT após o armazenamento por 10 dias, apenas na concentração de 2% de ES. Já as maçãs 'Luiza' apresentaram uma redução no teor de CFT após o período de 10 dias armazenadas, em todas as concentrações de ES. Por fim, de maneira diferente, as maçãs 'Venice' apresentaram aumento nos teores de CFT, em concentração baixa ou ausência de ES (0 e 0,5%) após o período de 10 dias de armazenamento. As atividades da PPO e as concentrações de substratos polifenólicos variam entre diferentes cultivares de maçã e estão relacionadas ao grau de escurecimento da polpa (HOLDERBAUM et al., 2010; KOLODZIEJCZYK et al., 2010; DEUTCH, 2018). É evidente nas maçãs 'Luiza', a redução de CFT com o aumento do escurecimento da polpa (ROCHA; MORAIS, 2003; HAMDAN et al., 2022). Já nas demais maçãs MP, que apresentaram escurecimento da polpa menor, a redução de CFT ao longo do armazenamento não ocorre.

Em relação às cultivares, observa-se que no dia 0 de armazenamento, os teores de CFT das maçãs 'Elenise' e 'Venice' foram os menores, enquanto os teores de CFT das maçãs 'Luiza' foram os maiores (Figura 23). Este resultado pode estar relacionado ao escurecimento da polpa sofrido pelas maçãs MP, uma vez que maçãs 'Elenise' e 'Venice' foram as que apresentaram menor escurecimento da polpa enquanto as maçãs 'Luiza' as que apresentaram maior escurecimento. Após o período de armazenamento de 10 dias, observa-se que os teores de CFT das maçãs 'Venice' aumentaram, desta maneira, esta cultivar, juntamente com as maçãs da cv. Luiza, apresentaram os maiores teores de CFT neste período de armazenamento. Ainda no período de 10 dias de armazenamento, as maçãs 'Elenise' seguiram, agora juntamente com as maçãs 'Fuji Mishima', com os menores teores de CFT. Embora altos níveis de CFT possam ser sinônimo de maior escurecimento enzimático da polpa de maçãs MP, alguns ácidos fenólicos e subclasses de flavonóides foram relatados como benéficos à saúde humana, tendo a capacidade de inibir a proliferação de células cancerígenas, reduzir a vascularização, proteger os neurônios, estimular a vasodilatação e melhorar a secreção de insulina (CARRASCO-SANDOVAL et al., 2021).

Figura 23. Teor de compostos fenólicos totais de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.



\* significativo a 5%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

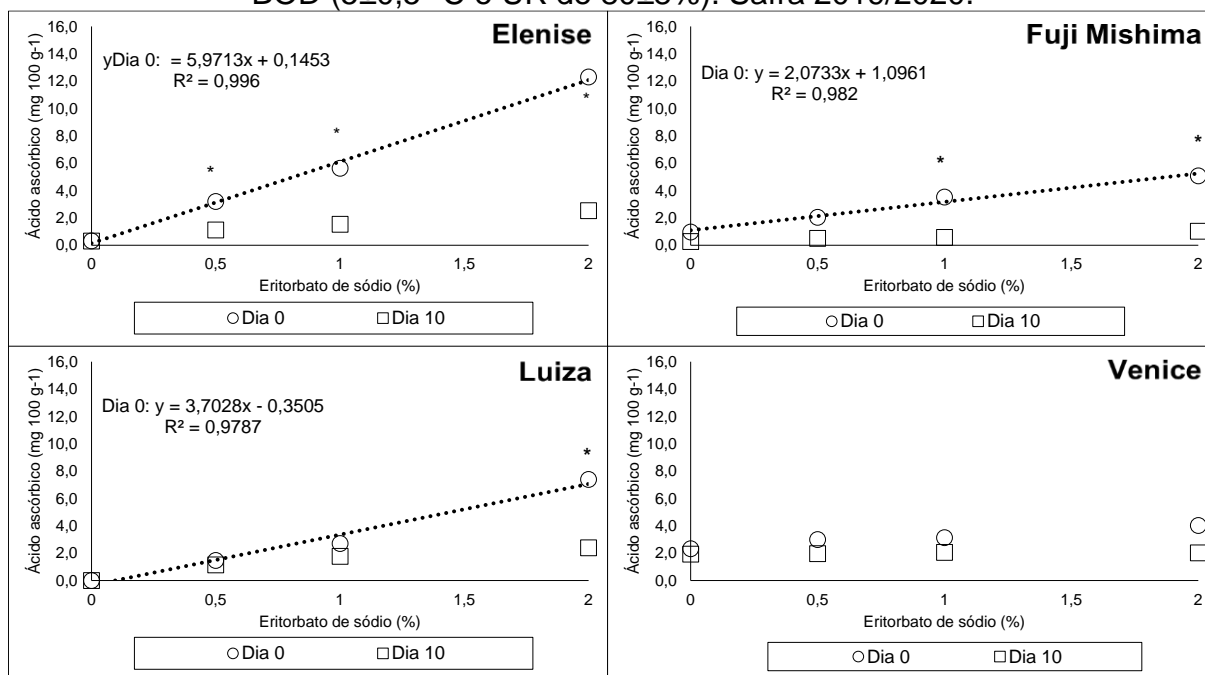
Além de seus benefícios à saúde e sua ação como substratos das enzimas PPO e POD, os CFT estão envolvidos nas vias fisiológicas e bioquímicas que envolvem o amolecimento da polpa, a síntese de pigmentos e a produção de compostos voláteis e aromáticos, sendo responsáveis pelo sabor das maçãs (ZHANG et al., 2017; SERRA et al., 2021). Esses compostos e seus processos metabólicos podem afetar a vida útil, bem como as qualidades sensoriais e organolépticas da fruta MP (DEVIC et al., 2010; TANG et al., 2020). A identificação dos perfis de fenóis é fundamental para entender o processo de escurecimento em cada cultivar de forma particular, pois alguns polifenóis podem apresentar atividade antioxidante, evitando o escurecimento na polpa das maçãs, enquanto outros são o substrato utilizado pelas enzimas PPO e POD nas reações que ocasionam o escurecimento (TAPPI et al., 2019).

O ES ajudou a preservar o teor de AA na polpa das maçãs 'Elenise', Fuji Mishima' e 'Luiza' no dia do processamento, uma vez que o aumento da concentração do antioxidante resultou num crescimento linear de AA nos frutos destas cultivares durante este período (Figura 24). Já no dia 10 de armazenamento, a concentração de ES não apresentou efeito sobre o teor de AA das maçãs MP. Desta maneira, após os

10 dias de armazenamento, as maçãs 'Luiza' apresentaram redução no teor de AA na concentração de 2% de ES, as maçãs 'Fuji Mishima' apresentaram redução nas concentrações de 1 e 2% de ES e as maçãs 'Elenise' em todas as concentrações de ES. O AA possui um efeito bastante efetivo no tratamento anti-escurecimento de maçãs MP, no entanto ele é rapidamente oxidado (COCCI et al., 2006). Ainda segundo esses autores, mesmo o AA aplicado de forma exógena em maçãs MP pode ser oxidado durante o primeiro dia de armazenamento. O AA, além de atribuir valor nutricional aos alimentos, também apresenta ação redutora. Juntamente com seus sais, como o ES, compõe um dos principais grupos de antioxidantes empregados em produtos vegetais com o intuito de prevenir o escurecimento e outras reações oxidativas. O AA pode agir diretamente na estrutura da PPO e POD, inibindo as enzimas. Pode ainda reduzir as quinonas a compostos fenólicos, sendo estes estáveis e incolores (SAPERS; MILLER, 1998). A redução das quinonas aos seus precursores fenólicos leva à oxidação irreversível do AA (que é preferencialmente oxidado em relação aos compostos fenólicos) e à formação de ácido dehidro ascórbico sem atividade inibitória (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2009). Segundo Reis et al. (2004) e Melo e Vilas Boas (2006), a eficiência de AA e outros agentes antioxidantes pode ser potencializada com a combinação de outros compostos como  $\text{CaCl}_2$ , sais de sulfito e cisteína.

Nas maçãs da cultivar Venice, o teor de AA não foi alterado com a concentração de ES e não apresentou diferenças nem mesmo ao longo dos 10 dias de armazenamento (Figura 24). As maçãs da cultivar Venice se mostram com grande potencial para o processamento mínimo, devido principalmente a sua baixa taxa de escurecimento da polpa. Embora essas maçãs MP não tenham sofrido influência do ES no teor de AA, observa-se que seu teor de AA se manteve equilibrado, independentemente da concentração ou mesmo do uso de ES e não apresentaram decréscimo após 10 dias de armazenamento, indicando que maçãs da cultivar Venice tem capacidade maior de preservar o teor desta vitamina ao longo do período de armazenamento. Já em relação às cultivares, observa-se, de maneira geral, que as maçãs da cv. Elenise apresentaram o maior teor de AA na polpa.

Figura 24. Teor de ácido ascórbico de quatro cultivares de maçãs minimamente processadas em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.



\* significativo a 5%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

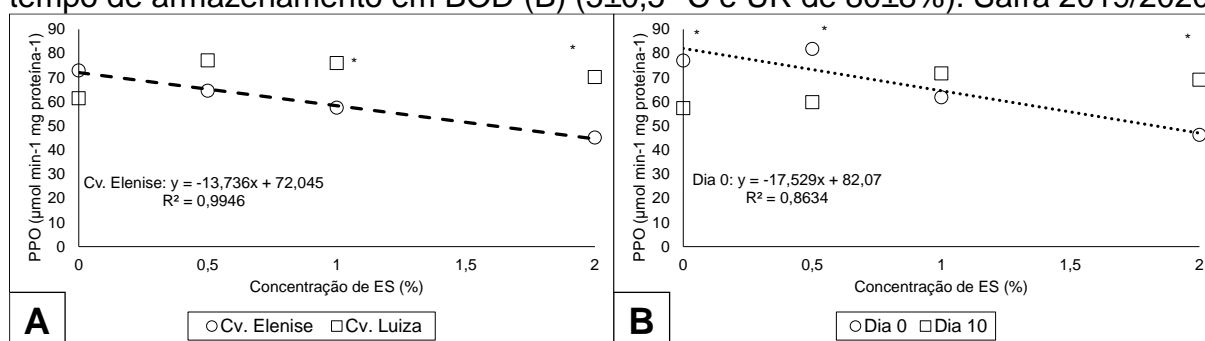
O teor de AA e CFT das maçãs estudadas parecem estar bastante relacionados ao escurecimento da polpa. Conforme observado nos resultados, as cultivares de maçãs com maiores teores de AA apresentaram menor escurecimento da polpa, indicando a ação benéfica desta vitamina e o efeito importante do ES, que além de preservar o AA, também pode exercer funções semelhantes (COCCI et al., 2006; CLARK et al., 2009). O AA é um antioxidante efetivo na inibição do escurecimento enzimático na polpa das maçãs, podendo agir tanto na enzima quanto nos produtos formados pela ação da mesma (WEN et al., 2021). É possível que o AA atue de maneira mais rápida nestas cultivares em que está em maior quantidade, evitando um escurecimento de polpa inicial e mantendo as enzimas inativas por maior tempo. Por outro lado, as cultivares de maçãs com maiores teores de CFT apresentaram maior escurecimento da polpa, indicando que é possível que estas cultivares apresentem elevados teores de polifenóis que são substratos à PPO na reação de escurecimento enzimático ao invés de polifenóis com ação antioxidante, capaz de prevenir o escurecimento da polpa (RODRÍGUEZ-ARZUAGA; RIOS; PIAGENTINI, 2019).

Em relação a atividade enzimática da PPO, observa-se que os frutos MP da cv. Elenise apresentaram uma boa resposta ao ES, pois o aumento da concentração

deste antioxidante resultou em redução da atividade da PPO nas maçãs MP (Figura 25A). As maçãs da cultivar Elenise também apresentaram boa resposta ao ES em relação aos atributos de escurecimento da polpa, AAT, CFT e teor de AA. Já as maçãs 'Luiza' não sofreram influência da concentração de ES na atividade da PPO. Desta forma, devido à ação do ES na redução da atividade desta enzima nas maçãs 'Elenise', nas concentrações maiores de ES (1 e 2 %), as maçãs 'Luiza' apresentaram uma atividade da PPO maior em relação aos frutos MP de 'Elenise'. Segundo Tappi et al., 2019, diferentes cultivares de maçã apresentam atividades variadas das enzimas PPO e POD e geralmente a maior atividade da PPO significa maior escurecimento na polpa de maçãs MP.

O aumento na concentração de ES provocou redução na atividade da enzima PPO das maçãs MP no período de 0 dias de armazenamento, enquanto no dia 10 de armazenamento, a concentração de ES não apresentou influência na atividade da PPO (Figura 25B). Em relação à influência do período de armazenamento na atividade da PPO das maçãs MP, observa-se que esta enzima apresentou redução de sua atividade após 10 dias de armazenamento quando a concentração de ES foi baixa ou ausente (0 e 0,5 %). Todavia, na concentração de 2% de ES a atividade da PPO nos frutos MP aumentou após o período de 10 dias armazenados. Esse aumento da atividade da PPO na polpa das maçãs MP após o período de 10 dias de armazenamento é devido ao efeito redutor de ES na atividade desta enzima no dia do processamento dos frutos, o qual reduziu o escurecimento da polpa e preservou seus substratos, enquanto na ausência ou baixa concentração de ES (0,5%), ocorreu alta atividade desta enzima logo após o processamento dos frutos com consequente redução à medida que ocorreu o escurecimento na polpa das maçãs MP. Segundo Le Bourvellec et al. (2004), os produtos da oxidação do ácido cafeoilquínico e epicatequina também atuam como inibidores da PPO, no entanto, esses produtos já escureceram a polpa das maçãs MP, pois são de coloração marrom. Sob o aspecto nutricional, o problema do escurecimento enzimático deve-se à possibilidade das quinonas interagirem com grupos amina e tiol, reduzindo a disponibilidade da lisina, metionina, tiamina e outros nutrientes essenciais (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2009)

Figura 25. Atividade da enzima PPO na polpa de maçãs ‘Elenise’ e ‘Luiza’ minimamente processadas em função da cultivar (A), da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD (B) ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.



\* significativo a 5%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

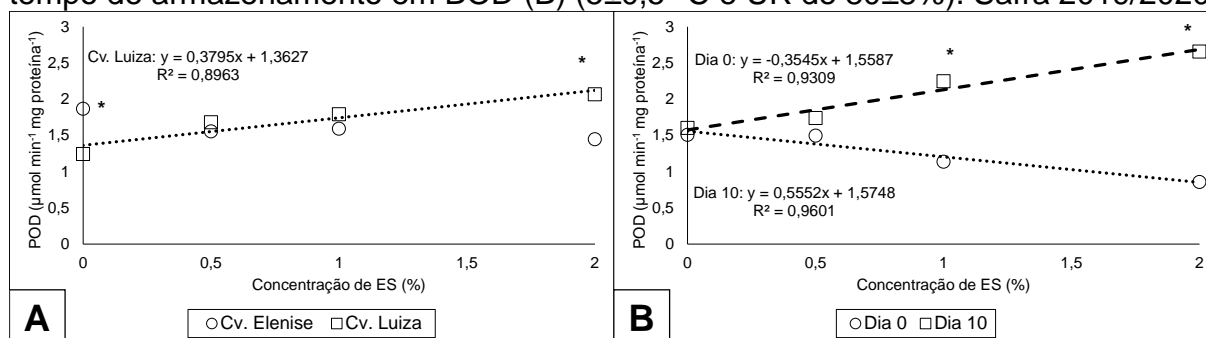
Para a atividade da enzima POD, a concentração de ES apresentou efeito apenas nos frutos MP da cv. Luiza, onde o aumento da concentração do antioxidante resultou em aumento enzimático de POD (Figura 26A). Desta maneira, a atividade enzimática em maçãs MP que não receberam ES foi maior na cultivar ‘Elenise’ enquanto maçãs MP com a concentração de 2% de ES apresentaram maior atividade de POD na cultivar ‘Luiza’. Do mesmo modo que a PPO, a POD tem atividade típica na reação de oxidação de compostos fenólicos em presença de peróxido de hidrogênio e também são obtidas quinonas como produto (SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2009). As enzimas POD apresentam em sua estrutura um grupo não proteico formado por íons de ferro. Durante o processo catalítico, o  $H_2O_2$  oxida o íon  $Fe^{3+}$  em estados de maior valência ( $Fe^{4+}$  ou  $Fe^{5+}$ ). Estes possuem alto potencial oxidante, reduzindo-se instantaneamente quando o substrato orgânico da peroxidase é oxidado, neste caso, um composto fenólico (RICHARDSON; HYSLOP, 2000). Para maçãs, a temperatura ótima de ação destas enzimas é 30 °C (ZHOU et al., 1993). Assim, em temperaturas baixas (5° C), o complexo enzima-substrato é dificultado pela diminuição da energia cinética das ligações químicas (LEE et al., 1995). Neste sentido, a utilização de controles físicos, como uma cadeia de frio bem controlada pode ajudar a evitar o escurecimento enzimático de maçãs MP e reduzir a necessidade e concentração de agentes químicos.

A atividade da POD das maçãs MP foi afetada pela concentração de ES, e de forma diferente, em ambos os períodos de armazenamento (Figura 26B). No dia 0 de armazenamento, o aumento da concentração de ES resultou em decréscimo da atividade da POD na polpa das maçãs MP enquanto no dia 10 de armazenamento, o



aumento da concentração do antioxidante resultou num acréscimo da atividade enzimática. Desta maneira, as concentrações mais altas de ES (1 e 2%) aumentaram a atividade enzimática de POD na polpa das maçãs após os 10 dias de armazenamento. A redução da atividade da POD no dia 0 de armazenamento está de acordo com os resultados relatados por Jang e Moon (2011), onde a presença de AA reduziu efetivamente a atividade da POD em maçãs MP, uma vez que neste período o ES preveniu a oxidação do AA dos frutos MP. A atividade reduzida da POD em frutos MP tratados com ES pode ser o resultado de menor estresse oxidativo na superfície do fruto, devido à natureza antioxidante do AA molecular e seu estereoisômero ES; também poderia ser resultado da formação do complexo doador de POD-hidrogênio (SABA; SOGVAR, 2016). Já o aumento da atividade da POD na polpa das maçãs MP após o período de 10 dias de armazenamento nas concentrações de 1 e 2% de ES pode ser devido ao esgotamento de AA, que neste período já era baixo. Ribeiro et al., (2019a) também observaram um aumento na atividade da POD ao longo do armazenamento de maçãs MP, independentemente da aplicação de antioxidantes.

Figura 26. Atividade da enzima POD na polpa de maçãs 'Elenise' e 'Luiza' minimamente processadas em função da cultivar (A), da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD (B) ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.



\* significativo a 5%

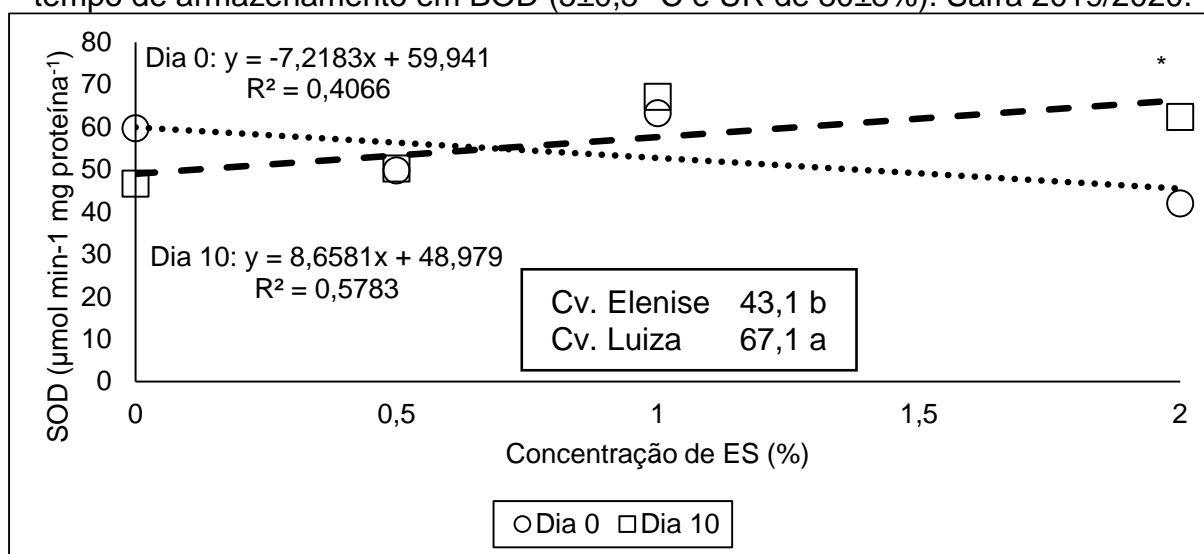
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A atividade da enzima SOD das maçãs MP apresentou um efeito similar à da enzima POD, onde, no dia 0 de armazenamento, o aumento da concentração de ES diminuiu a atividade enzimática e no dia 10 de armazenamento, o aumento da concentração de ES aumentou a atividade da SOD (Figura 27). Assim, na concentração de 2% de ES, as maçãs MP também aumentaram a atividade da SOD após os 10 dias de armazenamento. O ES deve atuar na redução de ERO, reduzindo a atividade das enzimas oxidativas POD e SOD; o ES também deve atuar mantendo

os níveis de antioxidantes naturais dos frutos, devido sua ação redutora. Todavia, após 10 dias, a ação de ES reduz, devido seu esgotamento e a atividade das enzimas POD e SOD aumentam. A produção de ERO ocorre quando parte dos elétrons da cadeia respiratória, no processo de respiração celular, se esquivam do sistema e há uma redução do oxigênio molecular (MITTLER, 2002). No entanto, o escurecimento enzimático causado pelas enzimas PPO e POD também podem contribuir com a formação de ERO (QI et al., 2019).

De maneira geral, a SOD nas maçãs 'Luiza' apresentou uma atividade enzimática mais alta em relação às maçãs 'Elenise' (Figura 27). Observa-se que as cultivares apresentaram valores diferentes de CFT. Para Alonso-Salces et al. (2004), há uma grande variação no perfil fenólico entre cultivares de maçãs, que afetam tanto as características sensoriais quanto enzimáticas de seus produtos.

Figura 27. Atividade da enzima SOD na polpa de maçãs 'Elenise' e 'Luiza' minimamente processadas em função da cultivar, da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.



\* significativo a 5%

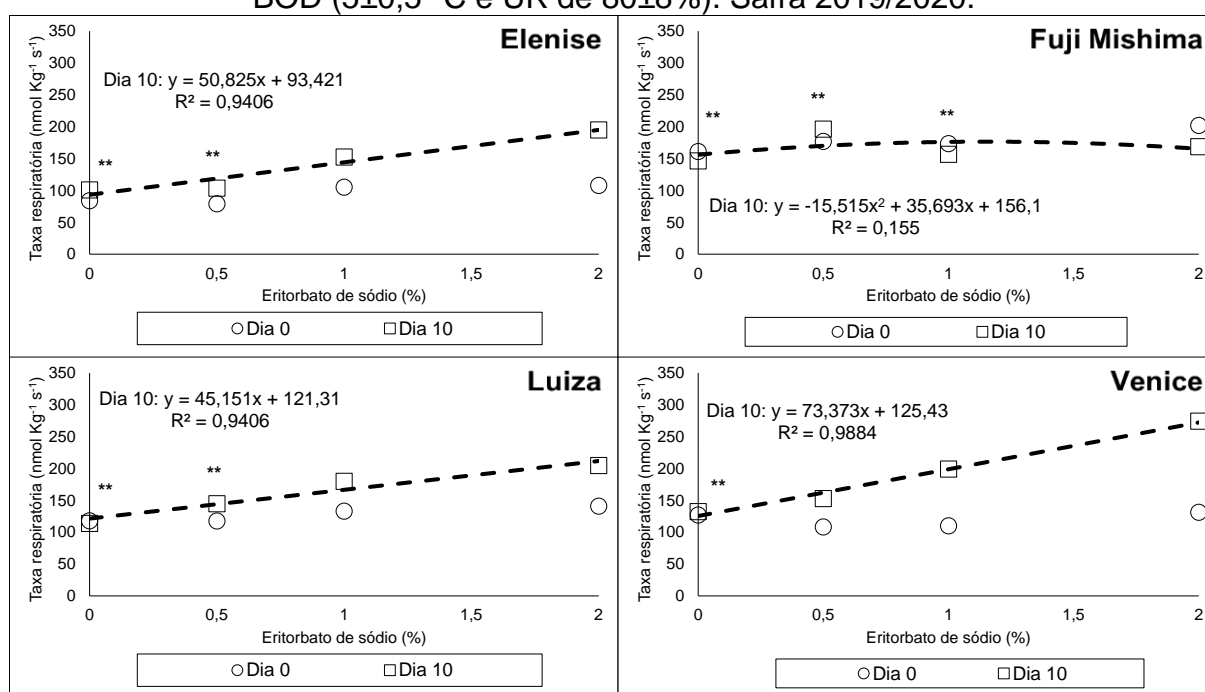
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

#### 4.3.2 Maçãs MP depois do AR de 100 dias

O aumento da concentração de ES aumentou a taxa respiratória das maçãs MP de todas as cultivares apenas no dia 10 de armazenamento (Figura 28). Maçãs da cultivar Venice tratadas com qualquer concentração de ES apresentaram aumento da taxa respiratória após 10 dias de armazenamento. Maçãs 'Elenise' e 'Luiza' apresentaram aumento da taxa respiratória após 10 dias de armazenamento somente

nas concentrações de 1 e 2 % de ES. Já maçãs ‘Fuji Mishima’ apresentaram redução da taxa respiratória após 10 dias de armazenamento na concentração de 2% de ES. Observa-se que no dia 0 de armazenamento, a respiração das maçãs ‘Fuji Mishima’ é bastante elevada, sendo a cultivar com maior taxa respiratória entre todas neste período. Já no dia 10 de armazenamento, as maçãs da cultivar Venice foram as que apresentaram maior taxa respiratória. Maçãs da cultivar Elenise foram as que apresentaram menor taxa respiratória em ambos os períodos de armazenamento.

Figura 28. Taxa respiratória de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ( $0,5 \pm 0,2$  °C e UR de  $85 \pm 5\%$ ) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5 \pm 0,5$  °C e UR de  $80 \pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.



\*\* não significativo

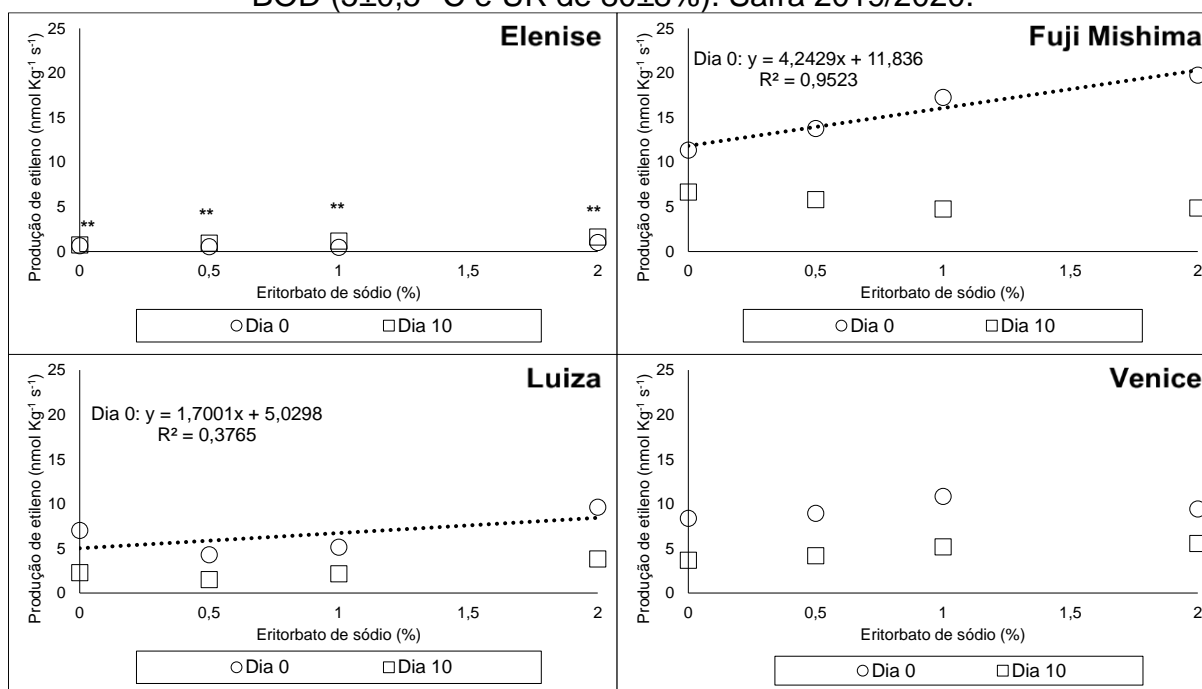
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para produção de etileno, apenas as maçãs MP da cultivar Luiza seguiram a mesma tendência daquelas processadas depois de 5 dias em AR. Nas maçãs desta cultivar, após os 10 dias de armazenamento, a produção de etileno reduziu, independentemente da concentração de ES (Figura 29). O aumento da concentração de ES aumentou a produção de etileno das maçãs ‘Luiza’ no dia 0 de armazenamento, enquanto no dia 10 de armazenamento, a concentração de ES não apresentou significância. Além da cultivar Luiza, as maçãs das cultivares Fuji Mishima e Venice também apresentaram redução da produção de etileno após 10 dias de

armazenamento, independentemente da concentração de ES. Nas maçãs 'Fuji Mishima', o aumento da concentração de ES aumentou a produção de etileno no dia 0 de armazenamento enquanto no dia 10 de armazenamento, a concentração de ES não afetou a produção de etileno. Já nas maçãs 'Venice' e 'Elenise' a concentração de ES não teve efeito sobre a produção de etileno em ambos os períodos de armazenamento. Maçãs 'Elenise' foram, entre todas, as que apresentaram menor produção de etileno em ambos os períodos de armazenamento, sendo que, após os 10 dias de armazenamento, a produção de etileno dos frutos não se alterou em relação ao dia 0 de armazenamento independentemente da concentração de ES. Já as maçãs 'Fuji Mishima' foram as que apresentaram maior produção de etileno, em ambos os períodos de armazenamento.

Nas maçãs MP depois de 5 dias em AR das cvs. Fuji Mishima e Venice, a produção de etileno aumentou após 10 dias de armazenamento, enquanto no processamento dessas maçãs depois de 100 dias em AR, a produção de etileno reduziu após os 10 dias de armazenamento (Figura 29). Ainda assim, observa-se que o ES continuou atuando na síntese de etileno dessas maçãs MP, uma vez que o aumento da concentração desse antioxidante fez a produção de etileno aumentar durante o período de 0 dias (SMIRNOFF; WHEELER, 2000). Todavia, é possível que o estágio de amadurecimento mais avançado dos frutos, depois do AR por 100 dias, tenha reduzido a ação do ES como cofator da síntese de etileno nas maçãs MP após o armazenamento. Dessa maneira, a produção de etileno foi baixa após os 10 dias do processamento, independentemente da concentração de ES e da cultivar.

Figura 29. Produção de etileno de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ( $0,5\pm 0,2$  °C e UR de  $85\pm 5\%$ ) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.



\*\* não significativo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Nas maçãs MP que foram armazenadas por 100 dias em câmara fria antes do processamento dos frutos, observou-se uma pequena variação nos resultados de SS, AT e perda de massa após a repetição dos procedimentos de processamento mínimo e tratamentos.

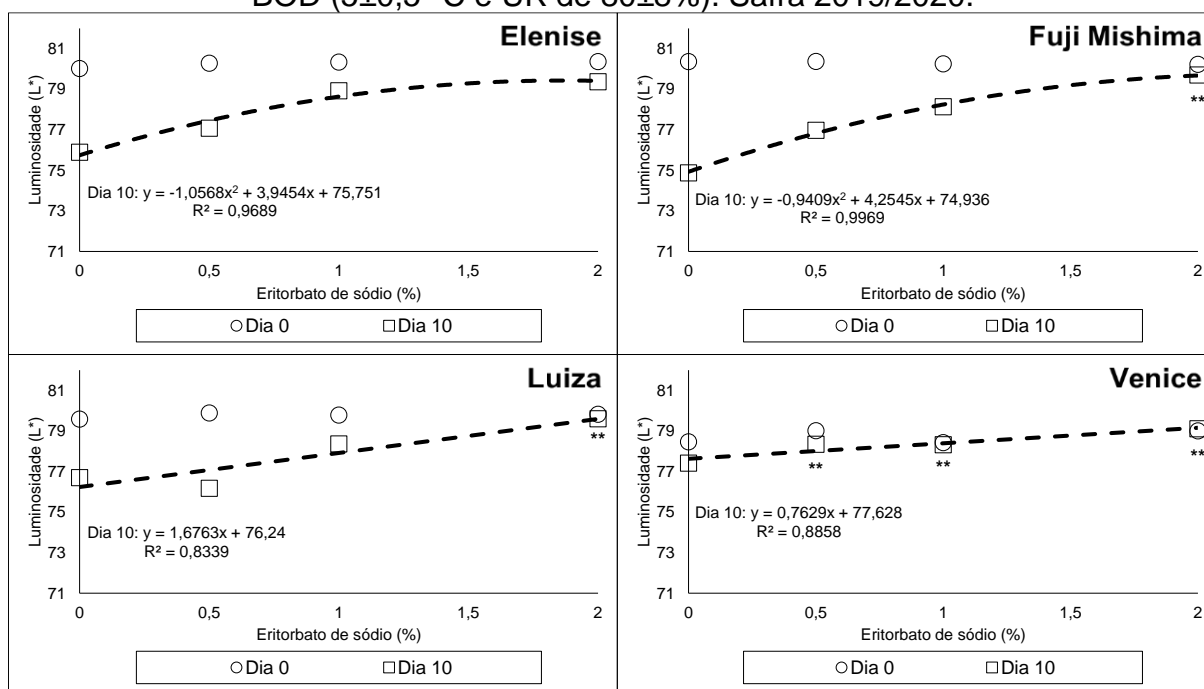
O teor de SS apresentou uma redução linear nas maçãs 'Luiza' e 'Fuji Mishima' no dia 10 de armazenamento, conforme aumentou-se a concentração de ES (dados não apresentados). Reduções no teor de SS também podem ser atribuídas ao aumento da taxa respiratória, uma vez que o ES também agiu aumentando a taxa respiratória das maçãs MP (PIZATO et al., 2013).

Já para a AT e a perda de massa, bem como para a força para penetração da polpa, a concentração de ES não apresentou efeito significativo nas maçãs MP depois dos 10 dias do armazenamento (dados não apresentados). De acordo com Moreno et al. (2016), o prolongamento do tempo de armazenamento das maçãs sob refrigeração a partir de 78 dias promove aumento da suscetibilidade ao amolecimento da polpa e alterações físico-químicas após o processamento. Contudo, de acordo com os mesmos autores, o uso de aditivos no processo contribui para evitar esses problemas.

Alguns autores creditam a manutenção da textura de frutos minimamente processados ao  $\text{CaCl}_2$ . Carvalho e Lima (2002), utilizaram  $\text{CaCl}_2$  1% e observaram que kiwis MP durante 10 dias de armazenamento sob temperatura de 1°C e 85% de umidade relativa mantiveram a qualidade. Luna-Guzmán et al. (1999), observaram maiores valores de firmeza no tratamento de imersão em solução de  $\text{CaCl}_2$  5% quando comparados aos tratados com  $\text{CaCl}_2$  2,5% e 1%, em melões 'Cantaloupe' MP. O  $\text{CaCl}_2$  fortalece a parede celular e a lamela média dos tecidos da maçã MP (VARELA; SALVADOR; FISZMAN, 2007).

Em relação a luminosidade da polpa, o aumento da concentração de ES, assim como nas maçãs MP depois de 5 dias em AR, proporcionou maior luminosidade na polpa das maçãs de todas as cultivares no dia 10 de armazenamento e não apresentou efeito no dia 0 de armazenamento (Figura 30). Já em relação ao período de armazenamento, maçãs MP de cada cultivar apresentaram uma alteração de luminosidade diferente. Nas maçãs 'Elenise', independentemente da concentração de ES, ocorreu redução da luminosidade da polpa após os 10 dias de armazenamento. Maçãs 'Fuji Mishima' e 'Luiza' não apresentaram perda de luminosidade após 10 dias de armazenamento na concentração de 2% de ES. Já as maçãs 'Venice' só apresentaram redução de luminosidade após 10 dias quando não foi aplicado ES, uma vez que qualquer concentração do antioxidante preservou a luminosidade na polpa das maçãs desta cultivar. Desta maneira, avaliando as cultivares, observa-se que no período de 0 dias de armazenamento, independentemente da concentração de ES, as maçãs da cv. Venice foram as que apresentaram menor luminosidade da polpa. Todavia, no dia 10 de armazenamento, as maçãs dessa mesma cultivar passaram a apresentar a maior luminosidade da polpa nas concentrações de 0 e 0,5 % de ES. Esse resultado mostra novamente que naturalmente a manutenção da luminosidade da polpa na cultivar Venice é maior em relação às demais cultivares, mesmo sem a ação do ES. Já nas concentrações maiores de ES (1 e 2%), não houve diferenças na luminosidade da polpa das maçãs MP entre as cultivares, no dia 10 de armazenamento. Segundo Rojas-Grau et al., (2008), o estágio de maturação e o tempo de AR podem influenciar nos valores de luminosidade, tonalidade e textura da polpa de maçãs MP.

Figura 30. Luminosidade da polpa de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ( $0,5\pm 0,2$  °C e UR de  $85\pm 5\%$ ) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.



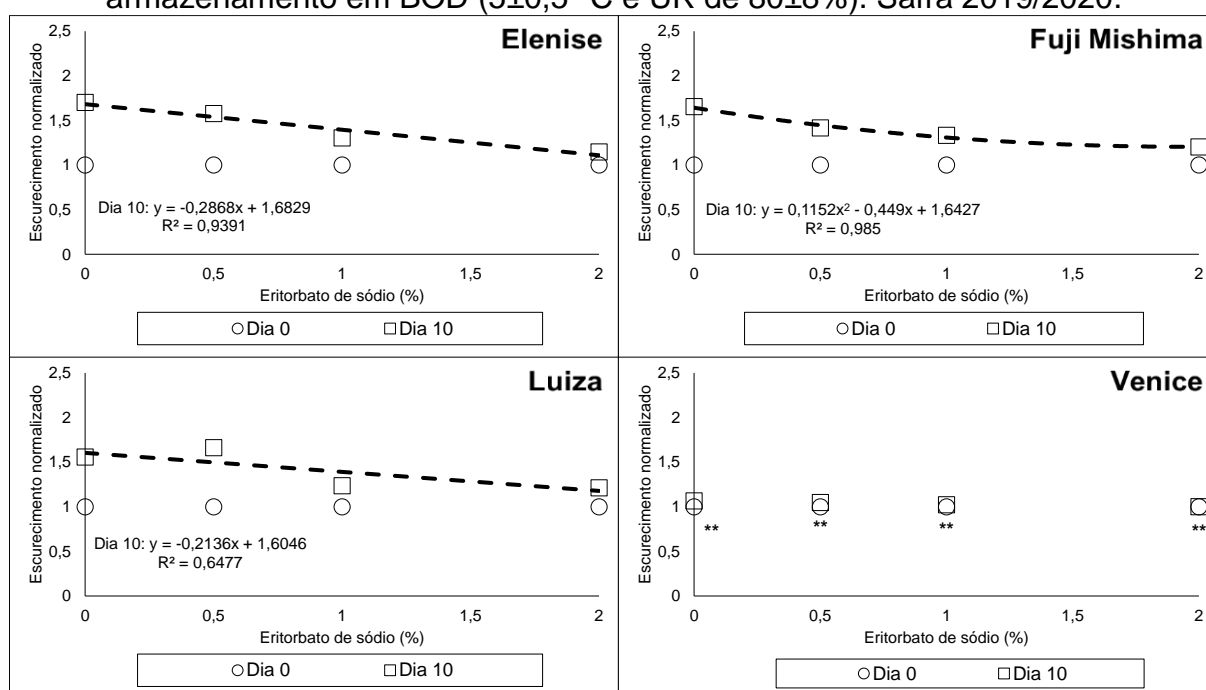
\*\* não significativo

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em relação ao escurecimento da polpa, observa-se que as maçãs MP das cultivares Elenise, Fuji Mishima e Luiza, apresentaram um comportamento semelhante quando processadas depois de 5 dias em AR. As maçãs dessas três cultivares, independentemente da concentração de ES, apresentaram escurecimento da polpa após 10 dias de armazenamento (Figura 31). Além disso, o aumento da concentração de ES apresentou um efeito de redução de escurecimento da polpa das maçãs destas cultivares, após o período de 10 dias de armazenamento. Todavia, as maçãs da cultivar 'Venice' apresentaram um comportamento diferente depois do AR por 100 dias. O escurecimento da polpa das maçãs desta cultivar, não foi influenciado pela concentração de ES em ambos os períodos de armazenamento, bem como, não sofreu influência do período de armazenamento, ou seja, as maçãs 'Venice' não sofreram escurecimento da polpa após 10 dias de armazenamento, mesmo sem a utilização de ES. Para entender o não escurecimento da polpa das maçãs 'Venice' é preciso avaliar outros atributos de cor da polpa das suas maçãs, como a luminosidade. Naturalmente a luminosidade da polpa nas maçãs 'Venice' são menores em relação às demais cultivares. Isso significa que naturalmente suas maçãs já são mais

“escuras” e também apresentam uma tonalidade com tendência maior ao amarelo (Figura 32). Todavia, vale destacar também que as maçãs desta cultivar apresentam altos níveis de AA e AAT, além de teores menores de CFT. Desta maneira, a ação enzimática que causa escurecimento e mudança na tonalidade da polpa das maçãs MP é pouco perceptível na polpa das maçãs ‘Venice’, uma vez que sua tonalidade natural já é mais próxima da tonalidade de uma maçã escurecida e a composição dos seus frutos favorece o menor escurecimento enzimático. Isso pode significar que as maçãs da cv Venice tem grande potencial para o processamento mínimo por conta da manutenção da cor da polpa dos seus frutos. As preferências do consumidor em relação a um tipo de fruta são muitas vezes dependentes da cultivar e definidas pelo estágio de maturação (HOLDERBAUM et al., 2010). A cultivar Venice apresenta frutos com bons níveis de SS e AT, boa firmeza e suculência (DE MARTIN et al., 2018).

Figura 31. Escurecimento da polpa de quatro cultivares de maçãs que permaneceram 100 dias em AR ( $0,5\pm 0,2$  °C e UR de  $85\pm 5\%$ ) e em seguida foram minimamente processadas, em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ). Safra 2019/2020.



\*\* não significativo

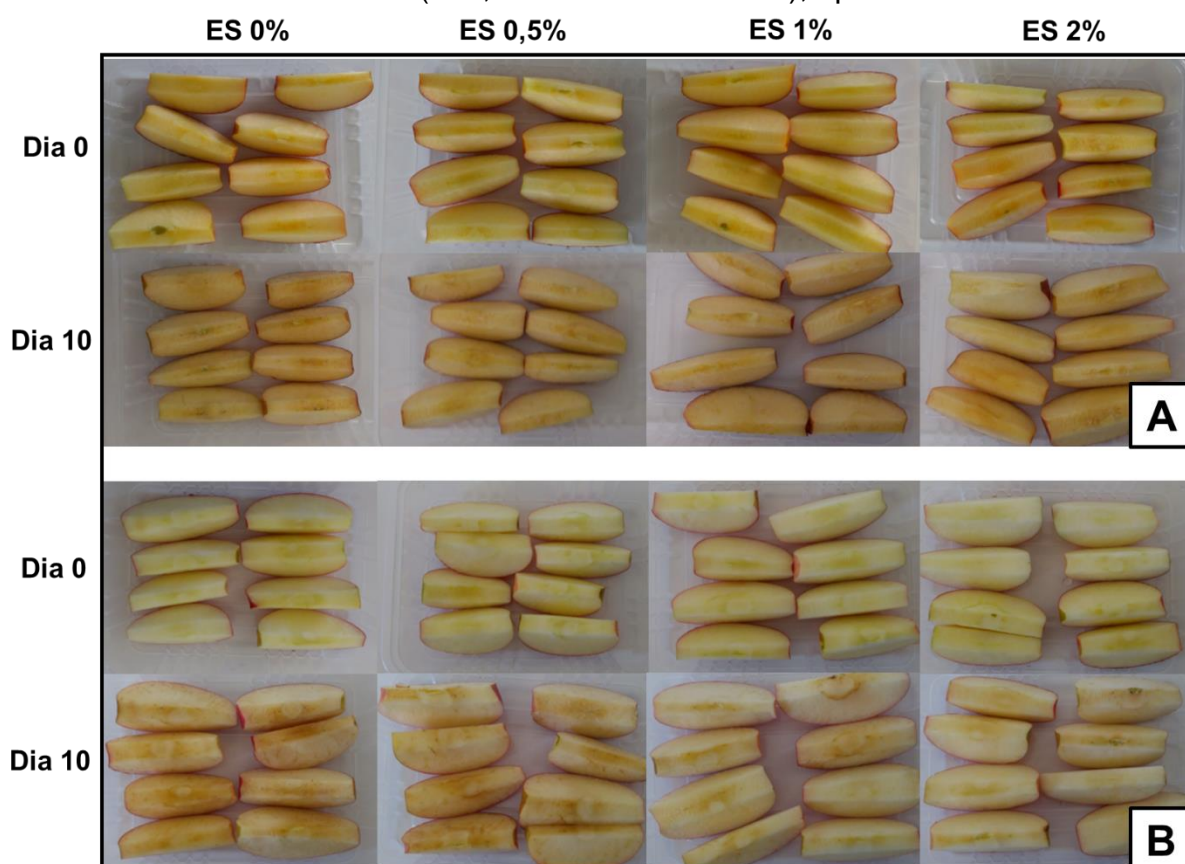
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em relação às cultivares, observa-se que as maçãs ‘Venice’, com um escurecimento quase nulo, são as que apresentaram menor escurecimento da polpa em relação às demais, que por sua vez, não apresentaram diferenças entre si,



independentemente da concentração de ES utilizada (Figuras 31 e 32). Embora o escurecimento pareça ser específico da cultivar, outros fatores de pré-colheita, como maturação do fruto, idade da planta, condições geográficas e variação sazonal, podem afetar a concentração fenólica e o potencial de escurecimento de uma fruta. Isso pode representar uma explicação das diferenças de escurecimento em cultivares individuais se comportando de maneira diferente depois do período de 100 dias em AR (BEAULIEU et al., 2002; SILVA; ROSA; VILAS BOAS, 2009).

Figura 32. Variação da cor na polpa nas maçãs que permaneceram 100 dias em AR ( $0,5\pm 0,2$  °C e UR de  $85\pm 5\%$ ) e em seguida foram minimamente processadas, das cultivares Venice (A) e Elenise (B), em função da concentração de ES e do tempo de armazenamento em BOD ( $5\pm 0,5$  °C e UR de  $80\pm 8\%$ ), após. Safra 2019/2020.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Observando os resultados encontrados, pode-se indicar que as dosagens de ES devem ser utilizadas de acordo com a cultivar trabalhada. A cultivar Venice apresenta maçãs com potencial para processamento mínimo pois possui características, como elevado teor de AA e AAT e baixo conteúdo de substratos para o escurecimento enzimático da polpa. Além disso, a polpa das maçãs 'Venice'

apresenta uma coloração natural que é pouco influenciada pelo processo enzimático que causa alterações visuais e prejuízos aos produtos MP. Desta maneira, é possível que concentrações mais baixas de ES (0,5% a 2%), ou até mesmo de outro agente conservante, sejam necessárias para prevenir o escurecimento enzimático dessas maçãs MP, armazenadas em refrigeração por períodos de 10 dias.

Maçãs 'Elenise' MP também apresentaram resultados importantes, como baixa taxa respiratória e de produção de etileno, o que pode estar diretamente relacionado a um metabolismo mais lento com menor deterioração. A cultivar Elenise também possui maçãs com elevados níveis de AA e AAT e baixo conteúdo fenólico, características que também podem estar associadas ao seu processo de escurecimento da polpa mais lento. Suas maçãs MP responderam muito bem ao ES, sendo que na concentração de 2%, as alterações visuais foram bem pequenas após 10 dias do processamento mínimo.

A cultivar Fuji Mishima possui como grande vantagem a possibilidade de ser utilizada no mercado de minimamente processados de maneira mais imediata, uma vez que já é uma cultivar consolidada no país, com extensivas áreas de plantio. As maçãs desta cultivar também apresentaram potencial ao mercado de MP, apresentando baixo escurecimento da polpa, evento relacionado principalmente a sua baixa composição fenólica. Para até 10 dias de armazenamento refrigerado, a dosagem de 2% de ES reduziu bastante o escurecimento da polpa das maçãs 'Fuji Mishima', no entanto, doses maiores podem mostrar efeitos melhores.

Já as maçãs da cultivar Luiza não são as mais indicadas para o processamento mínimo, pois apresentaram a maior produção de etileno, maior conteúdo de CFT e alta atividade da PPO e POD. Embora as maçãs 'Luiza' MP também apresentem uma boa resposta ao ES, para a conservação desses frutos por períodos em torno de 10 dias, concentrações superiores a 2% de ES seriam necessárias.

#### 4.4 CONCLUSÕES

O ES previne o escurecimento da polpa das maçãs MP. Este antioxidante está associado à preservação dos teores de AA, AAT e CFT nas maçãs MP, o que confere a estas, melhor manutenção de qualidade com menor mudança de cor da polpa.

O ES atua na elevação da taxa respiratória, no aumento da produção de etileno e também exerce influência em outros atributos das maçãs MP, como perda de massa,

textura da polpa, SS, AT e atividade das enzimas PPO, POD e SOD. Desta maneira, a dosagem de ES utilizada para conservação de maçãs MP depende da cultivar, uma vez que os atributos influenciados pelo ES estão associados às cultivares e relacionados à conservação dos frutos.

O ES em concentrações reduzidas (0,5%, 1% e 2%), minimiza a perda de massa, a perda de luminosidade e o escurecimento da polpa das maçãs MP após 10 dias armazenadas a temperatura de 5 °C e UR de 80%, depois de um período de armazenamento refrigerado de 5 ou 100 dias em temperatura de 0,5 °C e UR de 85%.

A dose de 2% de ES pode ser recomendada em maçãs MP das cultivares 'Elenise', 'Venice' e 'Fuji Mishima' para um armazenamento em temperatura de 5 °C e UR de 80% por até 10 dias. Maçãs 'Venice' MP depois de 100 dias em AR podem necessitar de uma dose de ES menor que 2% para um armazenamento em temperatura de 5 °C e UR de 80% por até 10 dias.

O ES altera atributos físico-químicos das maçãs MP, como textura da polpa, SS e AT, dependendo da cultivar e do tempo que os frutos ficam em AR antes do processamento mínimo.

Maçãs MP depois de 100 dias em AR e tratadas com ES possuem o mesmo potencial de maçãs MP depois de 5 dias em AR. As maçãs têm aumento nos teores de SS, redução da AT e mudança de cor pouco significativa depois dos 100 dias em AR. Todavia, essas maçãs MP mantêm o padrão de qualidade visual e físico-químico de maçãs MP depois de 5 dias em AR.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mercado de maçãs minimamente processadas no Brasil se apresenta como um nicho com grandes oportunidades, pois, atualmente, ainda não há nenhuma grande empresa do setor de alimentos atuando nele. Alguns pequenos produtores rurais, de forma isolada, e normalmente dispo de poucas informações, vêm desenvolvendo e abastecendo as cadeias de varejo. Devido à demanda crescente, aumenta a perspectiva para a expansão de produtos minimamente processados. Além disso, o processamento destes frutos nas regiões produtoras poderia contribuir para a diversificação das indústrias regionais, para reduzir as perdas pós-colheita, melhorar o manejo dos resíduos e facilitar o transporte. Ainda, o processamento mínimo da maçã representa uma forma de aproveitar excedentes de produção, agregar valor ao produto, expandir a diversificação de cultivares e propiciar a conveniência durante o consumo.

Estudos demonstram que os consumidores preferem maçãs MP preparadas a partir de cultivares mais novas e mais saborosas, em detrimento daquelas feitas com materiais mais antigos. As cultivares nacionais, Elenise e Venice apresentam potencial para utilização no mercado de minimamente processados de maçã. Estas cultivares apresentam maçãs com menores e mais lentas variações de cor na polpa. As maçãs 'Venice' possuem uma cor da polpa que, embora seja naturalmente mais "amarelada", possuem a vantagem de necessitar de uma menor concentração de agente conservante para não sofrer alterações. As maçãs 'Elenise' apresentam uma cor da polpa mais clara e com lento escurecimento, sendo que responde muito bem à agentes conservantes para manter a qualidade por períodos mais longos de armazenamentos. Já a cultivar Fuji Mishima possui frutos com baixo escurecimento da polpa e, como grande vantagem, maçãs 'Fuji' dispõem da possibilidade de serem utilizadas no mercado de minimamente processados de maneira mais imediata, uma vez que já é uma cultivar consolidada no país, com extensivas áreas de plantio.

As maçãs 'Elenise' e 'Venice', apresentam os maiores níveis ácido ascórbico nos frutos e elevados níveis de antioxidantes, o que pode ser importante tanto na preservação das características organolépticas dos produtos MP, quanto no potencial nutricional, uma vez que níveis mais elevados de ácido ascórbico e antioxidantes representam benefícios à saúde humana. Estas cultivares possuem bom equilíbrio nos teores de SS e AT, sendo adequados para o processamento mínimo. Todavia,

mesmo com a refrigeração das maçãs MP a 5 °C, o emprego de agentes conservantes é necessário para manter a qualidade dos frutos MP por períodos mais longos. Além dos níveis mais elevados de AA e AAT nas maçãs 'Elenise' e 'Venice', as taxas respiratórias, de produção de etileno, as atividades da PPO, da POD e os teores de CFT mais reduzidos foram os atributos mais associados ao menor escurecimento da polpa destas maçãs. De maneira geral, os teores de CFT foram maiores em maçãs que escureceram mais, bem como foram reduzindo ao longo do tempo, na medida em que a polpa das maçãs foram escurecendo. Certamente a composição fenólica das maçãs estudadas apresentam maiores quantidades de compostos fenólicos que atuam como substratos das enzimas PPO e POD do que compostos fenólicos que podem atuar como antioxidantes, ajudando a controlar o escurecimento da polpa dos frutos. Ademais, estudos futuros que avaliem o perfil destes fenóis em cada cultivar estudada podem contribuir para elucidar alguns resultados obtidos no presente trabalho, levando a um melhor entendimento do processo de escurecimento destas cultivares.

Como verificado com o ES, as maçãs com o escurecimento enzimático menor podem requerer uma redução considerável de agentes conservantes. Para a indústria de maçãs minimamente processadas e também de processamentos de sucos integrais e fermentados, isso pode ser muito interessante, pois cada vez mais cresce a preocupação com os aditivos utilizados na indústria de alimentos. Aliado a isso, o estudo de outros agentes conservantes também pode ser uma indicação de estudos futuros. Atualmente há uma busca e descoberta de novos aditivos alimentares com propriedades anti-escurecimento, incluindo alguns provenientes de fontes naturais, considerados mais saudáveis para a alimentação.

Embora tenha se utilizado o desinfetante hipoclorito de sódio (200 ppm) durante o preparo das amostras, não foram avaliadas questões de segurança dos alimentos, incluindo análises de contaminação microbiológicas. Sabe-se que os alimentos minimamente processados constituem um ótimo meio de crescimento para os microrganismos devido as lesões nos tecidos, o alto teor de umidade e por serem muito manipulados. Outros estudos que utilizaram o mesmo desinfetante e realizaram o mesmo procedimento de processamento, não verificaram alteração microbiológica significativa. Contudo, é necessário verificar possíveis crescimentos microbiológicos nas maçãs MP, principalmente em relação ao tempo de armazenamento. Períodos de até 10 dias parecem não apresentar problemas dessa ordem, porém, para períodos

mais prolongados de armazenamentos, é necessária uma avaliação biológica mais ampla. Não existe uma legislação que estabeleça padrões microbiológicos sanitários para alimentos minimamente processados no Brasil. Porém, além da segurança dos alimentos, frutos MP sem a presença de microrganismos garantem também menor deterioração e maior qualidade dos alimentos.

Também foi possível verificar que as maçãs processadas depois de 100 dias de AR mantiveram um padrão de qualidade, principalmente relacionado a alterações de cor da polpa. Este resultado é muito importante do ponto de vista prático. Atualmente, um dos grandes gargalos na cadeia produtiva da maçã é a mão de obra, principalmente na colheita dos frutos. Devido à baixa diversidade de cultivares e as extensas áreas de cultivo da macieira, a colheita dos frutos é concentrada em curtos períodos. Além disso, um grande volume de maçãs é levado à *packing houses*, cujas estruturas se limitam a classificar os frutos para o armazenamento mais rápido possível, garantindo assim a melhor manutenção da qualidade das maçãs durante o ano. Desta maneira, seria difícil construir e manter uma grande estrutura para processamento de maçãs logo após a colheita dos frutos. Outro ponto importante é a vida de prateleira destas maçãs MP. Não se observa um período muito longo de armazenamento dos frutos MP (superior a 15 dias). Assim, o processamento mínimo de maçãs, em quantidades suficientes para atender ao mercado ao longo do ano, de forma escalonada e mantendo a qualidade do produto são considerações importantes.

Embora a qualidade, principalmente visual, tenha sido mantida nas maçãs MP depois do AR de 100 dias, é possível verificar pequenas modificações nos teores de SS e AT. Além disso, também se notou alterações destes atributos em maçãs tratadas com ES, dependendo da cultivar e da concentração. Desta maneira, é muito importante que trabalhos futuros também envolvam análises sensoriais, a fim de verificar se essas alterações são perceptíveis pelo consumidor.

## REFERÊNCIAS

- ABBOTT, J.A., SAFTNER, R.A., KENNETH, G.C., VINYARD, B.T., JANICK, J. Consumer evaluation and quality measurement of fresh-cut slices of 'Fuji', 'Golden Delicious', 'GoldRush', and 'Granny Smith' apples. *Postharvest Biology and Technology*, v. 33, p. 127–140, 2004.
- AGUAYO, E., REQUEJO-JACKMAN, C., STANLEY, R., WOOLF, A. Effects of calcium ascorbate treatments and storage atmosphere on antioxidant activity and quality of fresh-cut apple slices. *Postharvest Biology and Technology*. v. 57, n. 1, p. 52-60, 2010.
- AHVENAINEN, R. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetable. *Trends in Food Science & Technology*, v.7, p.179-187, jun. 1996.
- ALONSO-SALCES, R.M.; BARRANCO, A.; ABAD, B.; BERRUETA, L.A.; GALLO, B. VICENTE, F. Polyphenolic profiles of Basque cider apple cultivars and their technological properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 52, p. 2938-2952, 2004.
- ALZAMORA, S. M. ; TAPIA, M. S.; WELTI CHANES, J. New strategies for minimally processed foods. the role of multitarget preservation. *Food Science and Technology International*. Aspen Publishers v.4, n. 5. ed. p: 353-361. 1998.
- AMIOT, M. J., TACCHINI, M., AUBERT, S., NICOLAS, J. Phenolic compounds and browning susceptibility of various apple cultivars at maturity. *Journal Food Science*. v. 57, p. 958–962, 1992.
- BEAUDRY, R. M. Response of horticultural commodities to low oxygen: limits to the expanded use of MAP. *Hort-Technology*, v. 10, p. 491–500, 2000.
- BEAULIEU, M.; D'APRANO, G.; LACROIX, M. Effect of dose rate of gamma irradiation on biochemical quality and browning of mushrooms *Agaricus bisporus*. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 63, n. 3-6, p. 311-315, 2002.
- BENSID, A.; ABED, N.E.; HOUICHER, A.; REGENSTEIN, J.M.; OZOGUL, F. Antioxidant and antimicrobial preservatives: Properties, mechanism of action and applications in food – a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. P 1-17, 2020.
- BENSID, A.; ABED, N.E.; HOUICHER, A.; REGENSTEIN, J.M.; ÖZOGUL, F: Antioxidant and antimicrobial preservatives: Properties, mechanism of action and applications in food – a review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, p. 1-17, 2020.
- BERTRAND, C.; RAPOSO, M. F.D.J.; MORAIS, R.M.S.C.D.; & MORAIS, A.M.M.B.D. Effects of different edible coatings on polyphenol oxidase activity and colour of fresh-cut apple during cold storage. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, v.5, n.2, p.91-104, 2015.
- BONETI, J. I. S.; PEREIRA, A. J.; DENARDI, F.; NUNES, E. C.; BRIGHENTI, E.; KATSURAYAMA, Y. Kinkas: nova cultivar de macieira resistente a sarna e a mancha da gala. *Jornal da Fruta*, Lages, SC, v. 17, n. 217, p. 2-2, 2009.

BOYER, J.; LIU, R. H. Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition journal*, Springer, v. 3, n. 1, p. 1–15, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Resolução - RDC nº 8, de 6 de março de 2013. Dispõe sobre a aprovação de uso de aditivos alimentares para produtos de frutas e de vegetais e geleia de mocotó. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*. Brasília, DF, 06 mar. 2013.

BUTA J.G., MOLINE H.E., SPAULDING D.W., WANG C.Y. Extending storage life of fresh-cut apples using natural products and their derivatives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. v. 47, n. 1, 1, 1999.

CANTILLANO, R.F.F.; RIBEIRO, J.A.; SEIFERT, M. Efeito de Antioxidantes na Qualidade Pós-colheita de Maçãs “Royal Gala” Minimamente Processadas. *Pelotas: Embrapa Clima Temperado*, p.29, 2017.

CAROCHO M., MORALES P., FERREIRA I.C.F.R. Antioxidants: Reviewing the chemistry, food applications, legislation and role as preservatives. *Trends Food Science and Technology*. v. 71, n.107, 2018.

CARRASCO-SANDOVAL, J., ARANDA-BUSTOS, M., HENRIQUEZ-AEDO, K., LOPEZ-RUBIO, A. FABRA, M.J. Bioaccessibility of diferente types of phenolic compounds co-encapsulated in alginate/chitosancoated zein nanoparticles. *LWT-Food Science and Technology*, v. 149, n. 112024, 2021.

CARVALHO, A. V.; LIMA, L. C. O. Qualidade de kiwis minimamente processados e submetidos a tratamento com ácido ascórbico, ácido cítrico e cloreto de cálcio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 37, n. 5, p. 679-685, 2002.

CARVALHO, J.R. F; SILVA, K.M.; SIMÕES, D.R.S.; WOSIACKI, G.; NOGUEIRA, A. Elaboração de fermentado frisante de maçã com características semelhantes à sidra francesa. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, v. 28, n. 1, p. 97-144, 2010.

CASTREJON, A. D. R.; EICHHOLZ, I.; ROHN, S.; KROH, L. W. HUYSKENS-KEIL, S. Phenolic profile and antioxidant activity of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) during fruit maturation and ripening. *Food Chemistry*, Washington, v. 109, p. 564–572, 2008.

CEYMANN, M., ARRIGONI, E., SCHÄRER, H., BOZZI NISING, A., HURRELL, R. F. Identification of apples rich in health-promoting flavan- 3-ols and phenolic acids by measuring the polyphenol profile. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 26, p. 128–135, 2012.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. atual. eampl. v. 1, 783 p.UFLA, Lavras. 2005.

CHUMYAM, A., FAIYUE, B., SAENGNIL, K. Reduction of enzymatic browning of freshcut guava fruit by exogenous hydrogen peroxide-activated peroxiredoxin/thioredoxin system. *Scientia Horticulturae*. v. 255, p. 260–268, 2019.

CIRKOVIC, T.D.V; STANIC-VUCINIC, D.J. The Role of Dietary Phenolic Compounds in Protein Digestion and Processing Technologies to Improve Their Antinutritive Properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. v. 17, p. 82–103, 2018.



CLARK, A. C., VESTNER, J., BARRIL, C., MAURY, C., PRENZLER, P. D., SCOLLARY, G. R. The Influence of Stereochemistry of Antioxidants and Flavanols on Oxidation Processes in a Model Wine System: Ascorbic Acid, Erythorbic Acid, (+)-Catechin and (-)-Epicatechin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. v. 58, n. 2, p. 1004-1011, 2009.

COCCI, E; ROCCULI, P; ROMANI, S; ROSA, M.D. Changes in nutritional properties of minimally processed apples during storage. *Postharvest Biology and Technology*, v.39, p. 265-271, 2006.

CORTELLINO, G., GOBBI, S., BIANCHI, G., RIZZOLO, A. Modified atmosphere packaging for shelf life extension of fresh-cut apples. *Trends in Food Science & Technology* v. 46, n.2, Part B, p. 320-330, 2015.

COSETENG, M.; LEE, C. Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to degree of browning. *Journal of Food Science*, Wiley Online Library, v. 52, p. 985–989, 1987.

CRUZ, M. R.; CAMARGO, M. E.; BRAZ, P. H. C.; FREY, E. H.; FREY, M. V. Estratégias para inovação na cadeia produtiva da maçã brasileira. *Revista Raunp*, v.8, n.1, p. 64-73, 2015.

DE MARTIN, M.S.; BETINELLI, K.S.; ARGENTA, L.C.; STEFFENS, C.A.; AMARANTE, C.V.T.; KVITSCHAL, M.V. Storage potential of 'SCS426 Venice' apples under different storage technologies. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 40, n. 2, p. 1-10, 2018.

DENARDI, F.; CAMILO, A.P. Daiane: Nova cultivar de macieira para colheita em março. *Revista Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v.11, n.3, p.6-8, 1998.

DENARDI, F.; CAMILO, A.P.; KVITSCHAL, M.V. SCS417 Monalisa: cultivar de macieira com boa adaptação climática no Sul do Brasil e resistência múltipla a doenças e pragas. *Revista Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v.26, n.1, p.56-62, 2013.

DENARDI, F.; KVITSCHAL, M. V.; HAWERROTH, M. C.; ARGENTA, L. C. SCS427 Elenise: late-ripening apple variety of good storability and resistance to Glomerella Leaf Spot. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v.33, n.2, p.32-36, 2020.

DENARDI, F.; KVITSCHAL, M.V.; HAWERROTH, M.C. A brief history of the forty-five years of the Epagri apple breeding program in Brazil. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. v.19, n.3, p.347-355, 2019.

DENARDI, F.; KVITSCHAL, M.V.; HAWERROTH, M.C. SCS425 Luiza: Novo cultivar de macieira com sabor de polpa de alto padrão. Florianópolis, Epagri, 2015b, 6p.

DENARDI, F.; KVITSCHAL, M.V.; HAWERROTH, M.C. SCS426 Venice: Novo cultivar de macieira com médio requerimento de frio hibernal. Florianópolis, Epagri, 2015c, 6p.

DENARDI, F.; KVITSCHAL, M.V.; HAWERROTH, M.C. SCS427 Elenise: Novo cultivar de macieira de maturação tardia. Florianópolis, Epagri, 2015a, 6p.

DEUTCH, C.E. Browning in apples: Exploring the biochemical basis of an easily-observable phenotype. *Biochemistry & Molecular Biology*. Ed. v.46, p. 76–82, 2018.

DEVIC, E.; GUYOT, S.; DAUDIN, J.-D.; BONAZZI, C. Kinetics of Polyphenol Losses During Soaking and Drying of Cider Apples. *Food Bioprocess Technology*. v. 3, p. 867–877, 2010.

DROGOUDI, P. D., MICHALIDIS Z., & PANTELIDIS G. Peel and flesh antioxidant content and harvest quality characteristics of seven apple cultivars. *Scientia Horticulturae*, v. 115. n. 2, p.149-153, 2008.

DUANGMAL, K.; WORAPOTPISUT, C.; ROMPOSA, N.; KATEMAKE, P. Uneven enzymatic browning on fresh-cut apple and its measurement. *Acta Horticulturae*. n.1179, p. 69-76, 2017.

ects of CaCl<sub>2</sub> dips and heat treatments on firmness and metabolic activity. *Postharvest Biology and Technology*. v. 17, p. 201–213, 1999.

EFSA. Scientific Opinion on the re-evaluation of erythorbic acid (E 315) and sodium erythorbate (E 316) as food additives. *EFSA Journal*. v. 14, n. 4360, 2016.

ENDO, E.; SOARES, N. de F. S.; SANTOS, D. A. A. dos.; BORGES, S. V.; FONTES., E. A. F.; GONÇALVES, M. P. J. C. Alterações físicas e físico-químicas de batatas (*Solanum tuberosum* L.) minimamente processadas intercaladas com diferentes filmes ativos. *Alimentos e Nutrição*. Araraquara. v. 17, n. 3. p: 239-249, 2006.

ERCOLI, L., BARIZÃO, E.O.; BOEING, J.S.; KVITSCHAL, M.V.; VISENTAINER, J.V.; ALMEIDA, V. C. Evaluation of chemical characteristics and correlation analysis with pulp browning of advanced selections of apples grown in Brazil. *Acta Scientiarum. Technology*, v. 39, n. 1, 2017.

ERTEKIN FILIZ, B.; SEYDIM, A. C. Kinetic changes of antioxidant parameters, ascorbic acid loss, and hydroxymethyl furfural formation during apple chips production. *Journal of Food Biochemistry*, p.e12676, 2018.

ESCALONA, V., LUCHSINGER, L. Una Revisión sobre frutas y hortalizas mínimamente procesadas en fresco. *Aconex*, v. 99, p. 23–28, 2008.

ESPLEY, R.V., LEIF, D., PLUNKETT, B. et al. Red to brown: an elevated anthocyanic response in apple drives ethylene to advance maturity and fruit flesh browning. *Frontiers in Plant Science*, v.10, n.1248, 2019.

FAGUNDES, C.; CARCIOFI, B. A. M.; MONTEIRO, A. R. Estimate of respiration rate and physicochemical changes of fresh-cut apples stored under different temperatures. *Food Science and Technology*, SciELO Brasil, v. 33, n. 1, p. 60–67, 2013.

FAGUNDES, C.; CARCIOFI, B. A. M.; MONTEIRO, A. R. Estimate of respiration rate and physicochemical changes of fresh-cut apples stored under different temperatures. *Food Science and Technology*, SciELO Brasil, v. 33, n. 1, p. 60–67, 2013.

FAN, X. Chemical inhibition of polyphenol oxidase and cut surface browning of fresh-cut apples. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. v. 13, p.1-15, 2022.

FANG, T.; ZHEN, Q.; LIAO, L.; OWITI, A.; ZHAO, L.; KORBAN, S. S.; HAN, Y. Variation of ascorbic acid concentration in fruits of cultivated and wild apples. *Food Chemistry*, v.225, p. 132–137, 2017.

FANG, T.; CHEN, J.; LIN, Q.; ZHONG, Y.; DUAN, Y. BI, J. Phenolic profiling reveals the metabolite basis of flesh colour and fresh-cut browning in apple fruit. *International Journal of Food Science and Technology*. v. 57, p. 2257–2266, 2022.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statical Databases. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 25 mai. 2022.

FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P.; NOCK, J.F.; KUPFERMAN, E.M.; BROWN, S.K.; WATKINS, C.B. Peroxidase activity and superficial acaid development in apple fruit. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 51, n. 24, p. 7182-7186, 2003.

FERREIRA, D. F. Sisvar – programa estatístico. Versão 5.6 (Build 86). Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010.

FIGUEIREDO B.C., TRAD I.J., MARIUTTI L.R.B. AND BRAGAGNOLO N.. Effect of annatto powder and sodium erythorbate on lipid oxidation in pork loin during frozen storage. *Food Research International*. v. 65. n. 137, 2014.

FINGER, F. L; VIEIRA G. Controle da perda pós-colheita de água em produtos minimamente processados. Viçosa: UFV. 29p. 1997.

FINNEGAN, E., MAHAJAN, P. V., O'CONNELL, M., FRANCIS, G. A., O'BEIRNE, D. Modelling respiration in fresh-cut pineapple and prediction of gas permeability needs for optimal modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, v. 79, p. 47–53, 2013.

FONSECA, S.C.; OLIVEIRA, F.A.R.; BRECHT, J.K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering*, v.52, p. 99-119, 2002.

FURLAN, C.R.C.; DANTAS, A.C.M.; DERNARDI, F.; BECKER, W.F.; MONTOVANI, A.D.E.L.A.R. Resistência genética dos acessos do banco de germoplasma de macieira da EPAGRI à mancha foliar de glomerella (*Colletotrichum gloeosporioides*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 32, n. 2, p. 507-514, 2010.

GANG C.C., LI J.L., CHEN Y.Z., WANG Y.J., LI H., PAN B., ODEH I. Synergistic effect of chemical treatments on storage quality and chilling injury of honey peaches. *Journal of Food Processing and Preservation*. v. 39, n. 6, 1108, 2015.

GIANNOPOLITIS, C.N., RIES, S.K.; Superóxido dismutases. I. occurrence in higher plants. *Plant Physiology*., v. 59, p. 309-314, 1977.

GÓMEZ-JUARISTI, M., SARRIA, B., GOYA, L., BRAVO-CLEMENTE, L., MATEOS, R. Experimental confounding factors affecting stability, transport and metabolism of flavanols and hydroxycinnamic acids in Caco-2 cells. *Food Research International*, v. 129, n. 108797, 2020.

GONÇALVES, M.W.; ARGENTA, L.C.; DE MARTIN, M.S. Maturity and quality of apple fruit during the harvest period at apple industry. *Revista Brasileira de Fruticultura*. v. 39, n. 5, 2017.

GONG, Y., TOIVONEN, P.M.A., LAU, O.L., WIERSMA, P.A. Antioxidant system level in “Braeburn” apple is related to its browning disorder. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. V. 42, p. 259–264, 2001.

GRANT-PREECE, P., FANG, H., SCHMIDTKE, L. M., CLARK, A. C. Sensorially important aldehyde production from amino acids in model wine systems: Impact of ascorbic acid, erythorbic acid, glutathione and sulphur dioxide. *Food Chemistry* v. 141, n.1, p. 304-312, 2013.

GROSS K.C., WANG C.Y., SALTVEIT M.E. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. *Agriculture handbook 66*. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture, 2016.

HAGEN, S.F.; BERGE, G.I.A.; BENGTSSON, G.B.; BILGER, W.; BERGE, A.; HAFFNER, K.; SOLHAUG. K.A. Phenolic contents and other health and sensory related properties of apple fruit (*Malus domestica* Borkh., cv. Aroma): Effect of postharvest UV-B irradiation. *Postharvest Biology and Technology*. v. 45, p. 1–10, 2007.

HAMDAN, N.; LEE, C.H.; WONG, S.L.; FAUZI, C.E.N.C.A.; ZAMRI, N.M.A.; LEE, T.H. Prevention of Enzymatic Browning by Natural Extracts and Genome-Editing: A Review on Recent Progress. *Molecules*, v. 27, n. 1101, p. 1-37, 2022.

HAMMERSCHMIDT, R.; NUCKLES, E. M.; KUĆ, J. Association of enhanced peroxidase activity with induced systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum lagenarium*. *Physiological Plant Pathology*, v. 20, n. 1, p. 73-82, 1982.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. *Plant physiology, Oxford*, v. 57, n. 2, p. 315-319, 1976.

HARICH, M.; MAHERANI, B.; SALMIERI, E.; LACROIX, M. Antibacterial activity of cranberry juice concentrate on freshness and sensory quality of ready to eat (RTE) foods. *Food Control*, v 75, p 134e144, 2017.

HARKER, F.R.; GUNSON, F.A.; JAEGER, S.R. The case of fruit quality: an interpretative review of consumer attitudes and preferences for apples. *Postharvest Biology and Technology*, v.28, n.3, p.333-347, 2003.

HAUAGGE, R.; BRUCKNER, C. H. Macieira. In: BRUCKNER, C. H. *Melhoramento de fruteiras de clima temperado*. Vicosa: Ed. UFV, 2002. cap. 2, p.28-88.

HIRAGA, S.; SASAKI, K.; HIROYUKI, I.; OHASHI, Y.; MATSUI, H. A large family of class III plant peroxidase. *Plant Cell Physiology*, v. 42, p. 462-468, 2001.

HOLDERBAUM, D. F.; KON, T.; KUDO, T.; GUERRA, M. P. Enzymatic Browning, Polyphenol Oxidase Activity, and Polyphenols in Four Apple Cultivars: Dynamics during Fruit Development. *Hortscience* v. 45, n. 8. p. 1150–1154, 2010.

HUNTERLAB. Applications note: CIE L\* a\* b\* color scale. Virginia, 1996. v. 8, n. 7.

INANLI, A. G., E. T. A. T€UMERKAN, N. EL ABED, J. M. REGENSTEIN, AND F. OZOGUL. The impact of chitosan on seafood quality and human health: A review. *Trends in Food Science & Technology*. v. 97, p. 404–16, 2020.

IQBAL, T; RODRIGUES, F.A.S; MAHAJAN P. V; KERRY J.P. Mathematical modeling of the influence of temperature and gas composition on the respiration rate of shredded carrots. *Journal of Food Engineering* v. 91, p. 325–332, 2009.

JACOMINO A.P. ARRUDA M.C, MOREIRA R.C, KLUGER R.A. Processamento mínimo de frutas no Brasil. *Horticultura Brasileira*. v.22, p. 79-86, 2004.

JAKOBEK, L. et al. Polyphenolic characterisation of old local apple varieties from Southeastern European region. *Journal of Food Composition and Analysis*, Amsterdam, v.31, n.2, p.199-211, 2013.

JANG, J.H.; MOON, K.D. Inhibition of polyphenol oxidase and peroxidase activities on fresh-cut apple by simultaneous treatment of ultrasound and ascorbic acid. *Food Chemistry*, Washington, v. 124, p. 444 – 449, 2011.

JEONG, H. L., JIN W.J., KWANG D.M., KEE J.P., 2008, Effects of anti-browning agents on polyphenoloxidase activity and total phenolics as related to browning of fresh-cut 'Fuji' apple, *ASEAN food journal*. v.15, p. 79-87, 2008.

JIANG, Y.; DUAN, X.; QU, H.; ZHENG, S. Browning: Enzymatic Browning. *Encyclopedia of Food and Health*, p. 508-514, 2016.

JOHNSTON, J. W.; HEWETT, E. W.; HERTOOG, M. L.; HARKER, F. R. Temperature induces differential softening responses in apple cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, Elsevier, v. 23, n. 3, p. 185–196, 2001.

KADER, A. A. Future of modified atmosphere research. *Acta Horticulturae*, n.857, p.213–217, 2010.

KADER, A. A., SALTVEIT, M. E. Respiration and gas exchange. *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables*, v. 2, p. 7–29, 2003.

KALT, W., FORNEY, C.F., MARTIN, A., PRIOR, R.L. Antioxidant capacity, Vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. v. 47, p. 4638–4644, 1999.

KIM, A. N., KIM, H. J., KERR, W. L., CHOI, S. G. The effect of grinding at various vacuum levels on the color, phenolics, and antioxidant properties of apple. *Food chemistry*, v. 216, p. 234-242, 2017.

KOHATSU, D.S., EVANGELISTA, R.M., SEABRA, J.R, S. Jr. S., VIEITES, R.L., GOYO, R. Características físicas, físico-químicas, químicas e sensoriais de cenoura minimamente processada. *Cultivando o Saber*, v.2, n.4, 2009.

KOŁODZIEJCZYK, K., MILALA, J., S OJKA, M., KOSMALA, M., MARKOWSKI, J. Polyphenol oxidase in selected apple cultivars. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. v. 18, p. 51–61, 2010.

KSCHONSEK, J., WOLFRAM, T., STÖCKL, A., BÖHM, V. Polyphenolic compounds analysis of old and new apple cultivars and contribution of polyphenolic profile to the in vitro antioxidant capacity. *Antioxidants*, v.7, n. 20, 2018.

KUMAR, P.; SETHI, S.; SHARMA, R.; SINGH, S.; VARGHESE, E. Improving the shelf life of fresh-cut 'royal delicious' apple with edible coatings and anti-browning agents. *Journal of food science and technology*, v. 55, n. 9, p. 3767–3778, 2018b.

KUMAR, P.; SETHI, S.; SHARMA, R.R.; SINGH, S.; SABA, S.; SHARMA, V.K.; VERMA, M.K.; SHARMA, S.K. Nutritional characterization of apple as a function of genotype. *Journal of Food Science and Technology*. v. 55, p. 2729–2738, 2018a.

KUMAR, S.; MISHRA, B.; SAXENA, S.; BANDYOPADHYAY, N.; MORE, V.; WADHAWAN, S.; HAJARE, S.; GAUTAM, S.; SHARMA, A. Inhibition of pericarp

browning and shelf life extension of litchi by combination dip treatment and radiation processing. *Food Chemistry*, 131, 1223–1232, 2012.

KVITSCHAL, M.V.; DENARDI, F. Necessidade de diversificação de cultivares de macieira no Brasil. *Revista Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v.25, n.2, p.78-84, 2010.

LAURENS, F. Review of the current apple breeding programmes in the world: Objectives for scion cultivar improvement. In: Tobutt, K.R. and F.H. Alston (eds.). *Proc. Eucarpia Symp. Fruit Breed. Genet. Acta Horticulturae*. v. 484, p.163–170, 1999.

LE BOURVELLEC, C.; LE QUÉRÉ, J.M.; SANONER, P.; DRILLEAU, J.F.; GUYOT, S. Inhibition of apple polyphenol oxidase activity by procyanidins and polyphenol oxidation products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. v. 52, p.122–130, 2004.

LEE, D. E., PARK, K. M., CHOI, S. J., CHANG, P. S. Optimal production and structural characterization of erythorbyl laurate obtained through lipase-catalyzed esterification. *Food Science and Biotechnology* v. 21, n.4, p. 1209-1215, 2012.

LEE, J.; PARK, H. J.; LEE, C.; CHOI, W. Extending shelf-life of minimally processed apples with edible coatings and antibrowning agents. *LWT-Food Science and Technology*, Elsevier, v. 36, p. 323–329, 2003.

LI, Y.; SCHELLHORN, H. E. New developments and novel therapeutic perspectives for vitamin C. *The Journal of nutrition*, v. 137, n.10, p. 2171-2184, 2007.

LIN, W.Z.; NAVARATNAM, S.; YAO, S.D.; LIN, N.Y., Antioxidative properties of hydroxycinnamic acid derivatives and a phenylpropanoid glycoside. A pulse radiolysis study. *Radiation Physics and Chemistry*, v. 53, p. 425–430, 1998.

LIN, Y.Y., LIN, H., ZHANG, S., CHEN, Y., CHEN, M., LIN, Y.Y. The role of active oxygen metabolism in hydrogen peroxide-induced pericarp browning of harvested longan fruit. *Postharvest Biology and Technology*. v. 96, p. 42–48, 2014.

LIU, L.; CAO, S.; XU, Y.; ZHANG, M.; XIAO, G.; DENG, Q.; XIE, B. Oxidation of ( - ) epicatechin is a precursor of litchi pericarp enzymatic browning. *Food Chemistry*, v.118, n.3, p.508-511, 2010.

LUNA-GUZMÁN, I.; CANTWELL, M.; BARRETT, D.M. Fresh-cut cantaloupe: E

MAGRIN, F. P.; ARGENTA, L.C.; AMARANTE, C. V. T.; MIQUELOTO, A.; HAWERROTH, M. C.; MACEDO, C. K. B.; DENARDI, F.; KVITSCHAL, M. V. Índices de maturação para o ponto ideal de colheita de maçãs ‘SCS425 Luiza’. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v.30, n.3, p.55-60, 2017.

MAHAJAN, P. V.; CALEB, O. J.; SINGH, Z.; WATKINS, C. B.; GEYER, M. Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, The Royal Society Publishing, v. 372, n. 2017, p. 20130309, 2014.

MANOLOPOULOU, E., VARZAKAS, T. Effect of storage conditions on the sensory quality, colour and texture of fresh-cut minimally processed cabbage with the addition of ascorbic acid, citric acid and calcium chloride. *Food and Nutrition Sciences*, v. 2, n.1, 2011.

- MANOLOPOULOU, E., VARZAKAS, T. Effect of storage conditions on the sensory quality, colour and texture of fresh-cut minimally processed cabbage with the addition of ascorbic acid, citric acid and calcium chloride. *Food and Nutrition Sciences*, v. 2, n. 1, p. 956–963, 2011.
- MANURAKCHINAKORN S., CHAMNAN U. AND MAHAKARNCHANAKUL W. Appearance and texture changes of modified atmosphere-packed fresh-cut mangosteen after preservative dips. *Journal of Food Processing and Preservation*. v. 36. n.6, p.504, 2012.
- MANZOCCO, L.; MASTROCOLA, D.; NICOLI, M.C.; MARANGONI, V. Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science and Technology*. v. 11, p. 340–346, 2001.
- MARTIN-BELLOSO O., SOLIVA-FORTUNY R. *Advances in fresh-cut fruits and vegetables processing*. Boca Raton, CRC Press, 2011. 386p.
- MATA, M. C. S.; HURTADO, M. C.; MARQUÉS, C. D.; ISASA, M. E. T. Comparison of high-performance liquid chromatography and spectrofluorimetry for vitamin C analysis of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Food Research and Technology*, v. 210, p. 220–225, 2000.
- MAXMEN, A. Genetically modified apple reaches US stores, but will consumers bite? *Nature*, v.551, n.7679, p.149–150. 2017.
- MCGUIRE, R. G.; Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*, v. 27, n. 12), p. 1254-1255, 1992.
- MELO, A. A. M.; VILAS BOAS, E. V. B. Inibição do escurecimento enzimático de banana maçã minimamente processada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 26, n. 1, p. 110-115, 2006.
- MISHRA, B. B., GAUTAM, S., SHARMA, A. Free phenolics and polyphenol oxidase (PPO): The factors affecting post-cut browning in eggplant (*Solanum melongena*). *Food Chemistry*, v. 139, p. 105–114, 2013.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, v. 7, p. 405-410, 2002.
- MORENO, M, B.; CANTILLANO, R. F. F.; ROMBALDI, C. V.; MANICA-BERTO, R. Quality of minimally processed 'Fuji' apple under refrigerated storage and treatment with additives. *Revista Brasileira de Fruticultura [online]*. v.38, n.4, e-532, 2016.
- MURATA, M.; TSURUTANI, M.; TOMITA, M.; HOMMA, S.; KANEKO, K. Relationship between apple ripening and browning: changes in polyphenol content and polyphenol oxidase. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 43, n. 5, p. 1115 -1121, 1995.
- MURPHY, L.J.; ROBERTSON, K.N.; HARROUN, S.G.; BROSSEAU, C.L.; WERNER-ZWANZIGER, U.; MOILANEN, J.; TUONONEN, H.M.; CLYBURN, J.A.C. A simple complex on the verge of breakdown: Isolation of the elusive cyanofolate ion. *Science*, v. 344, n. 6179, p. 75–78, 2014.
- NASCIMENTO, K.O.; AUGUSTA, I.M.; RODRIGUES, N.R.; PIRES, T.; BATISTA, E.; JÚNIOR, J.L.B.; BARBOSA, M.I.M.J. Alimentos minimamente processados: uma tendência de mercado. *Acta tecnológica*. v. 9. n. 1. p. 48-61, 2014.

- NIAMNUY, C. et al. Kinetics of astaxanthin degradation and color changes of dried shrimp during storage. *Journal of Food Engineering*, v. 87, n.4, p. 591–600, 2008.
- NOKTHAI, P.; LEE, V.S.; SHANK, L. Molecular Modeling of Peroxidase and Polyphenol Oxidase: Substrate Specificity and Active Site Comparison. *International Journal of Molecular Sciences*. v. 11, p. 3266–3276, 2010.
- OLIVAS, G.I.; D.S. MATTINSON; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Alginate coatings for preservation of minimally processed Gala apples. *Postharvest Biology & Technology* v., 45, p. 89-96. 2007.
- OMS-LIU, G.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Edible coatings with antibrowning agents to maintain sensory quality and antioxidant properties of freshcut pears. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, v. 50, p. 87 – 94, 2008.
- OYARZÚN, A., et al. Cutting and temperature of preservation effect on the physiological activity and quality of fresh cut ‘Packham’s Triumph’ and ‘Shinco’ pears. *Acta Horticulturae*. n. 1209 p. 281-290, 2018.
- ÖZDEMİR, K. S.; GÖKMEN, V. Effect of Chitosan-Ascorbic Acid Coatings on the Refrigerated Storage Stability of Fresh-Cut Apples. *Coatings*, v. 9, n. 503, p. 1-12, 2019.
- PATHARE, P. B.; OPARA, U. L.; AL-SAID, F. A. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food Bioprocess Technol.* v. 6, p. 36–60, 2013.
- PAJAK, P., SOCHA, R., ŁAKOMA, P., FORTUNA, T. Antioxidant properties of apple slices stored in starch-based films. *International Journal of Food Properties*, v. 20, n. 5, p. 1117-1128, 2017.
- PEREZ-CABRERA L., CHAFER M., CHIRALT A., GONZALEZ-MARTINEZ C. Effectiveness of antibrowning agents applied by vacuum impregnation on minimally processed pear. *LWT - Journal of Food Science and Technology*. v. 44, n. 10, 2273, 2011.
- PERSIC, M.; MIKULIC-PETKOVSEK, M.; SLATNAR, A.; VEBERIC, R. Chemical composition of apple fruit, juice and pomace and the correlation between phenolic content, enzymatic activity and browning. *LWT-Food Science and Technology*, Elsevier, v. 82, p. 23–31, 2017.
- PETKOVŠEK, M.M., ŠTAMPAR, F., VEBERIČ, R. Parameters of inner quality of the apple scab resistant and susceptible apple cultivars (*Malus domestica* Borkh.). *Scientia Horticulturae*, p. 114:37-44, 2007.
- PETRI, J.L.; LEITE, G.B.; COUTO, M.; FRANCESCOTTO, P. Avanços na cultura da macieira no Brasil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 33, n. 1, p. 48-56, 2011.
- PIAGENTINI, A.M.; PIROVANI, M.E. Total phenolics content, antioxidant capacity, physicochemical attributes, and browning susceptibility of different apple cultivars for minimal processing. *International Journal of Fruit Science*. v. 17, p. 102–116, 2017.
- PIZATO, S. et al. Efeito da aplicação de diferentes revestimentos comestíveis na conservação de maçãs ‘Royal Gala’ minimamente processadas. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 1, p. 253-264, 2013.



PODSEDEK, A., J.; WILSKA-JESZKA, B.; ANDERS, J.; MARKOWSKI. Compositional characterization of some apple varieties. *European Food Research and Technology*. v. 210, p. 268–272, 2000.

PUTNIK, P., BURSAC KOVAČEVIĆ, D., HERCEG, K., LEVAJ, B. Influence of cultivar, anti-browning solutions, packaging gasses, and advanced technology on browning in fresh-cut apples during storage. *Journal of Food Process Engineering*, v. 40, n. 2, p. 1-11, 2016.

QI, H., HU, W., JIANG, A., TIAN, M., LI, Y. Extending shelf-life of Fresh-cut 'Fuji' apples with chitosan-coatings. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* v. 12, n. 1, p. 62-66, 2011.

QI, Z.; CHEN, C.; HUI, Z.F.; ZHONG, H.W.; LEI, Z.; YUAN, X.Y. Correlation between enzymatic browning inhibition by UV-C treatment and reactive oxygen species metabolism of fresh-cut apples. *China Food Publishing Co.* v.40, n.5, p. 102-109, 2019.

RAMALHO V.C.; JORGE N. Antioxidants used in oils, fats and fatty foods. *Quim. Nova* v. 29, n. 4, 2006.

RAUDONE, L., RAUDONIS, R., LIAUDANSKAS, M., JANULIS, V. Phenolic antioxidant profiles in the whole fruit, flesh and peel of apple cultivars grown in Lithuania. *Scientia Horticulturae*. v. 216, p. 186–192, 2017.

RAYBAUDI-MASSILIA, R. M.; MOSQUEDA-MELGAR, J.; SOBRINO-LÓPEZ, A.; SOLIVAFORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Shelf-life extension of fresh-cut "Fuji" apples at different ripeness stages using natural substances. *Postharvest Biology and Technology*, v.45, n.2, p.265-275, 2007.

REIS, C. M. F.; VILAS BOAS, E. V. B.; BOARI, C. A.; PÍCCOLI, R. H. Qualidade e vida de prateleira de banana prata minimamente processada. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 28, n. 3, p. 702-708, 2004.

RIBEIRO, J. A. et al. Erythorbic acid and sodium erythorbate effectively prevent pulp browning of minimally processed 'Royal Gala' apples. *Ital. Journal of Food Science.*, v. 31, p. 573-590, 2019a.

RIBEIRO, J. A. et al. Evaluation of pulp browning in minimally processed 'Royal Gala' apple treated with erythorbic acid. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*. v. 11, n. 1, p. 5-18, 2019b.

RIBEIRO, J.A. Agentes coadjuvantes na preservação de maçã (*Malus domestica* Borkh.) minimamente processada. 112 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal De Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Pelotas – RS. 2016.

RICHARDSON, T.; HYSLOP, D. B. Enzimas. *Química de los alimentos*, p. 501-503, 2000.

ROCHA, A.M.C.N.; MORAIS, A.M.M.B. Shelf life of minimally processed apple (cv. Jonagored) determined by color changes. *Food Control, Guildford*, v. 14, n. 1, p. 13–20, 2003.

RODRÍGUEZ-ARZUAGA, M.; RIOS, G.; PIAGENTINI, A.M. Mild heat treatments before minimal processing reduce browning susceptibility and increase total phenolic

content of low-chill apple cultivars. *Journal of Food Processing and Preservation*. V. 43, n.11, p. 1-10, 2019.

ROESLER, R. et al. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.27, n.1, p.53-60, 2007.

ROJAS-GRAU, M. A., SOLIVA-FORTUNY, R., MARTIN-BELLOSO, O. Effect of natural antibrowning agents on color and related enzymes in fresh-cut Fuji apples as an alternative to the use of ascorbic acid. *Journal of Food Science* v. 73. n. 6, p. S267-S272, 2008.

ROJAS-GRAÜ, M.A.; SOBRINO-LÓPEZ, A.; TAPIA, M.S.; MARTÍN-BELLOSO, O. Browning inhibition in fresh-cut "Fuji" apple slices by natural antibrowning agents. *Journal of Food Science*; v.31; n.71(1), p. S59–S65. 2006.

RUFINO, M.S.M. et al. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. *Fortaleza: Embrapa, Comunicado Técnico*, n.127, 4 p., 2007a.

RUFINO, M.S.M. et al. Metodologia Científica: Determinação da atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS. *Fortaleza: Embrapa, Comunicado Técnico*, n.128, 4 p., 2007b.

RUX, G.; CALEB, O.J.; FRÖHLING, A.; HERPPICH, W.B.; MAHAJAN, P.V. Respiration and storage quality of fresh-cut apple slices immersed in sugar syrup and orange juice. *Food Bioprocess Technology*. v.10, p.2081–2091, 2017.

SABA, M.K.; SOGVAR, O.B. Combination of carboxymethyl cellulose-based coatings with calcium and ascorbic acid impacts in browning and quality of fresh-cut apples. *Food Science and Technology*, Amsterdam, v.66, p.165-171, 2016.

SACHINI, R.; FENILI, C. L.; SCAPIN, V. L. V.; SCHVEITZER, B.; DE MARTIN, M. S.; STEFFENS, C. A. Composição nutricional de maçãs das cultivares Kinkas e Baronesa. *Congrega Urcamp*, v. 15, n. 15, p. 601-614, 2018.

SACHINI, R.; STEFFENS, C.A.; DE MARTIN, M.S.; SCHVEITZER, B.; FENILI, C.L.; PETRI, J.L. Mineral contents in the skin and flesh of fruits of apple cultivars. *Revista Brasileira de Fruticultura*. v. 42, n. 2, 2020.

SALATA, A. C., CARDOSO, A. I., EVANGELISTA, R. M., MAGRO, F. O. Uso de ácido ascórbico e cloreto de cálcio na qualidade de repolho minimamente processado. *Horticultura Brasileira* v.32, p. 391-397, 2014.

SANCHIS E., MATEOS M., PEREZ-GAGO M.B. Physicochemical, sensory, and nutritional quality of fresh-cut "rojo brillante" persimmon affected by maturity stage and antibrowning agents. *Food Science and Technology International*. v. 22, n. 7, 574, 2016.

SAPERS, G. M.; MILLER, R. L. Browning inhibition in fresh-cut pears. *Journal of Food Science*, v. 63, n. 2, p. 342-346, 1998.

SEIFERT, M. Efeito do tempo de armazenamento refrigerado de maçã cv. 'Gala', in natura: na qualidade sensorial, físico-química e bioquímica de produto minimamente processado em fatia, com epiderme, tratado com eritorbato de sódio e três diferentes coberturas comestíveis. 152 p. Tese (Doutorado), Universidade Federal De Pelotas,

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Pelotas – RS. 2017.

SERRA, S.; ANTHONY, B.; SESILLO, F.B.; MASIA, A.; MUSACCHI, S. Determination of Post-Harvest Biochemical Composition, Enzymatic Activities, and Oxidative Browning in 14 Apple Cultivars. *Foods*. v. 10, n. 186. p. 1-16, 2021.

SEZERINO, A.A. Sistema de produção para a cultura da macieira em Santa Catarina. Epa-gri. 2018. 136p.

SHRESTHA, L., KULIG, B., MOSCETTI, R., MASSANTINI, R., PAWELZIK, E., HENSEL, O., STURM, B. Optimisation of physical and chemical treatments to control browning development and enzymatic activity on fresh-cut apple slices. *Foods*, v. 9, n. 76, p. 1-21, 2020.

SILVA, M.V.; ROSA, C.I.L.F.; VILAS BOAS, E.V.B. conceitos e métodos de controle do escurecimento enzimático no processamento mínimo de frutas e hortaliças. *Boletim Do Centro De Pesquisa De Processamento De Alimentos*, v. 27, n. 1, p. 83-96, 2009.

SMIRNOFF, N. WHEELER, G.L. Ascorbic Acid in Plants: Biosynthesis and Function. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, v. 35, n. 4, p. 291-314, 2000.

SON, S. M., MOON, K. D., LEE, C. Y. Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. *Food Chemistry*. v. 73, n. 1, p. 23-30, 2001.

SON, S. M., MOON, K. D., LEE, C. Y. Inhibitory effects of various antibrowning agents on apple slices. *Food Chemistry*. v. 73, n. 1, p. 23-30, 2001.

SOUZA, B, S.; DURIGAN, J. F.; DONADON, J. R, LIMA, M. A. Qualidade e comportamento do mamão 'formosa' minimamente processado. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 8, n. 3, p. 243-247, 2005.

STAMOGIANNOU, I., VAN CAMP, J., SMAGGHE, G., VAN DE WALLE, D., DEWETTINCK, K., RAES, K. Impact of phenolic compound as activators or inhibitors on the enzymatic hydrolysis of cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 186, p. 174–180, 2021.

STANGER, M.C.; ARGENTA, L.C.; STEFFENS, C.A.; AMARANTE, C.V.T. estágio de maturação para o período Ideal de colheita de maçãs 'Daiane' destinadas à armazenagem. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 35, n.4, p.977-989, 2013.

STANGER, M.C.; STEFFENS, C.A.; SOETHE, C.; MOREIRA, M.A.; DO AMARANTE, C.V.T. Phenolic content and antioxidant activity during the development of 'Brookfield' and 'Mishima' apples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 65, n. 17, p. 3453-3459, 2017.

STANGER, M.C.; STEFFENS, C.A.; SOETHE, C.; MOREIRA, M.A.; DO AMARANTE, C.V.T.; BOTH, V.; BRACKMANN, A. Phenolic compounds content and antioxidant activity of 'Galaxy' apples stored in dynamic controlled atmosphere and ultralow oxygen conditions. *Postharvest Biology and Technology*, Amsterdam, v. 144, p. 70-76, 2018.

SUBHASHREE, S. N.; SUNOJ, S.; XUE, J.; BORA, J. C. Quantification of browning in apples using colour and textural features by image analysis. *Food Quality and Safety*, v. 1, n. 3, p. 221–226, 2017.

SUN, W.-J., ZHAO, H.-X., CUI, F.-J., LI, Y.-H., YU, S.-L., ZHOU, Q., QIAN, J.-Y., DONG, Y. D-isoascorbyl palmitate: lipase-catalyzed synthesis, structural characterization and process optimization using response surface methodology. *Chemistry Central Journal*. v. 7. n.1, p. 114, 2013.

SUN, Y., XU, W., ZHANG, W., HU, Q., & ZENG, X. Optimizing the extraction of phenolic antioxidants from kudingcha made from *Ilex kudingcha* C. J. Tseng by using response surface methodology. *Separation and Purification Technology*, v. 78, n.3, p. 311-320, 2011.

SUZUKI, A.H.; OLIVEIRA, L.S.; FRANCA, A.S. The Effect of Variations in Fresh-Cut Apple Composition on the Performance of Polyvinyl Chloride Active Films. *Food and Bioprocess Technology*. v. 14, p. 352–361, 2021.

TANG, T.; XIE, X.; REN, X.; WANG, W.; TANG, X.; ZHANG, J.; WANG, Z. A difference of enzymatic browning unrelated to PPO from physiology, targeted metabolomics and gene expression analysis in Fuji apples. *Postharvest Biology and Technology*, v.170 n. 111323, 2020.

TAPPI, S. et al. Browning response of fresh-cut apples of different cultivars to cold gas plasma treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 53, p. 56-62, 2019.

TAZAWA, J., OSHINO, H., KON, T., KASAI, S., KUDO, T., HATSUYAMA, Y., FUKASAWA-AKADA, T., YAMAMOTO, T., KUNIHISA, M. Genetic characterization of flesh browning trait in apple using the non-browning cultivar 'Aori 27'. *Tree Genet. Genomes*. v. 15, n. 49, 2019.

TECHAKANON C., BARRETT D.M. The effect of calcium chloride and calcium lactate pretreatment concentration on peach cell integrity after high-pressure processing. *Int. Food Science and Technology*. v. 52, n. 3, 635, 2017.

TOMÁS-BARBERÁN, F.A.; ESPÍN, J. C. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.81, n.09, p.853-876, 2001.

VALDERRAMA, P.; MARANGONI, F.; CLEMENTE, E. Efeito do tratamento térmico sobre a atividade de peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) em maçã (*Mallus* comunis). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 21, n. 3, p. 321-325, 2001.

VALENTINES, M.C.; VILAPLANA, R.; TORRES, R.; USALL, J.; LARRIGAUDIÈRE, C. Specific roles of enzymatic browning and lignification in apple disease resistance. *Postharvest Biology and Technology*. v. 36, p. 227–234, 2005.

VARELA, P; SALVADOR, A; FISZMAN, S.M. The use of calcium chloride in minimally processed apples: A sensory approach. *European Food Research and Technology*. n. 224, p. 461–467, 2007.

VARMIG, C.; PETERSEN, M. A.; TOLDAM-ANDERSEN, T. B. Ascorbic acid contents in Danish apple cultivars and commercial apple juices. *LWT - Food Science and Technology*, v.54, n.2, p.597–599, 2013.

VELASCO, R.; ZHARKIKH, A.; AFFOURTIT, J.; DHINGRA, A.; CESTARO, A.; KALYANARAMAN, A.; FONTANA, P.; BHATNAGAR, S.K.; TROGGIO, M.; PRUSS,

D.; et al. The genome of the domesticated apple (*Malus domestica* Borkh.). *Nature Genetics*. v. 42, p. 833–839, 2010.

VENTURA-AGUILAR R.I., COLINAS-LEON M.T. AND BAUTISTA-BANOS S. Combination of sodium erythorbate and citric acid with map, extended storage life of sliced oyster mushrooms. *LWT - Journal of Food Science and Technology*. v. 79, n. 437, 2017.

VERVERIDIS, P.; JOHN, P. Complete recovery in vitro of ethylene-forming enzyme activity. *Phytochemistry*, v. 30, n. 3, p. 725–727, 1991.

VOLZ, R., ORAGUZIE, N., WHITWORTH, C., HOW, N., CHAGNÉ, D., CARLISLE, C., et al. Red flesh breeding in apple progress and challenges. *Acta Horticulturae*. v. 814, p. 337–342, 2009.

VRHOVSEK, U.; RIGO, A.; TONON, D.; MATTIVI, F. Quantitation of polyphenols in different apple varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. v. 52, p. 6532–6538, 2004.

WANG, L., ZHANG, H., JIN, P., GUO, X., LI, Y., FAN, C., WANG, J., ZHENG, Y. Enhancement of storage quality and antioxidant capacity of harvested sweet cherry fruit by immersion with  $\beta$ -aminobutyric acid. *Postharvest Biology and Technology*. v. 118, p. 71–78, 2016.

WATANABE, Y., FUKUDA, T., TAKAHASHI, N., ADACHI, S. Optimal Conditions for Lipase-catalyzed Condensation of Erythorbic Acid with Fatty Acids in Organic Solvents. *Japan Journal of Food Engineering*, v. 15, n. 3, p. 143-148, 2014.

WEAVER, C.M.; DWYER, J.; FULGONI, V.L.; KING, J.C.; LEVEILLE, G.A.; MACDONALD, R.S.; ORDOVAS, J.; SCHNAKENBERG, D. Processed foods: Contributions to nutrition. *The American Journal of Clinical Nutrition*. v. 99, p. 1525–1542, 2014.

WEN, Y.T.; LIANG, Y.U.Q.; CHAI, W.M.; WEI, Q.M.; YU, Z.Y.; WANG, L.J. Effect of ascorbic acid on tyrosinase and its anti-browning activity in fresh-cut Fuji apple. *Journal of Food Biochemistry*. v. 45, n. 12, 2021.

WU, J.; GAO, H.; ZHAO, L.; LIAO, X.; CHEN, F.; WANG, Z.; E HU, X. Chemical compositional characterization of some apple cultivars. *Food Chemistry*, v. 103, n.1, p. 88-93. 2007.

XU, K. The next generation biotechnology for apple improvement and beyond: The CRISP/cas9 story. *N. Y. Fruit Q.* v. 21, p.19–22, 2013.

ZHANG J., ZHAO P., LIU B. AND MENG X. Use of oligochitosan as an inhibiting agent of apple juice enzymatic browning. *Journal of Food Processing and Preservation*. V. 41 n. 4, 2017.

ZHANG, X.; MENG, W.; CHEN, Y.; PENG, Y. Browning inhibition of plant extracts on fresh-cut fruits and vegetables A review. *Journal of Food Processing and Preservation*. v. 46, n. 5, 2022.

ZHANG, Z., HUBER, D.J., QU, H., YUN, Z., WANG, H., HUANG, Z., HUANG, H., JIANG, Y. Enzymatic browning and antioxidant activities in harvested litchi fruit as influenced by apple polyphenols. *Food Chemistry*. v. 171, p. 191–199, 2015.

ZHOU, L.; LIAO, T.; LIU, W.; ZOU, L.; LIU, C.; TEREFE, N. S. Inhibitory effects of organic acids on polyphenol oxidase: From model systems to food systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Taylor & Francis, v. 60, n. 21, p. 3594–3621, 2020.

ZHOU, P.; SMITH, N.L; LEE, C.Y. Potential purification and some properties of Monroe apple peel polyphenol oxidase. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, v. 41, p. 532-536, 1993.