

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Dinâmica da maturação e conservação pós-colheita de maçãs cultivadas em pomares sob telas fotoseletivas antigranizo**

**Catherine Amorim**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e Bioquímica de Plantas

**Piracicaba  
2023**

**Catherine Amorim**  
**Bacharel em Agronomia**

**Dinâmica da maturação e conservação pós-colheita de maçãs cultivadas em pomares sob telas fotosselativas antigranizo**

Orientador:  
Prof. Dr. **RICARDO ALFREDO KLUGE**

Coorientador:  
Dra. **LUCIMARA ROGÉRIA ANTONIOLLI**

Tese apresentada para obtenção do título Doutora em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e Bioquímica de Plantas

**Piracicaba**  
**2023**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Amorim, Catherine

Dinâmica da maturação e conservação pós-colheita de maçãs cultivadas em pomares sob telas fotosseletivas antigranizo / Catherine Amorim. - - Piracicaba, 2023.

123 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Malus domestica* 2. Qualidade de frutos 3. Ceras epicuticulares 4. Radiação solar I. Título

*A todas as mulheres,  
amantes da ciência que tiveram e têm a coragem suficiente para nos trazer até aqui.  
Mulheres que me inspiram todos os dias.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos...

Ao meu pai Giordani Augusto Amorim por nunca deixar de acreditar e me apoiar em minhas escolhas, sempre me incentivando, ao seu modo, a ser quem eu sou hoje.

A toda a minha família, em especial à minha avó Shirley da Rosa Amorim e ao meu padrinho Giovani José Amorim que tiveram uma participação tão importante em minha vida.

Ao meu namorado Tuan Henrique Smielewski de Souza por todo amor, compreensão e companheirismo. Obrigada por sempre ter estado ao meu lado e ter sido meu porto seguro nos momentos de dificuldade, independente da distância.

Aos meus sogros Valdelei e Fátima, e cunhados Nicole e Renato por me receberem e acolherem na família, além de todo o apoio.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ricardo Alfredo Kluge pela oportunidade, confiança, orientação e amizade ao longo desses anos.

À minha coorientadora Dra. Lucimara Rogéria Antonioli, que me acompanha desde o princípio da minha jornada na pós-graduação, por todos os ensinamentos, confiança, orientação, amizade e suporte que me trouxeram até aqui. Também pelo apoio e incentivo que me levaram a este curso.

Ao professor Dr. Eduardo Seibert, meu primeiro orientador, por ter sido meu primeiro elo na vida acadêmica e na pós-colheita. Obrigada pelo incentivo em seguir esse caminho.

À Prof<sup>a</sup> Dra. Beatriz Appezzato-da-Glória por conceder o espaço de seu laboratório para a realização de parte das análises anatômicas que compoem esta tese.

Ao Prof<sup>o</sup> Dr. Severino Matias de Alencar por conceder o espaço de seu laboratório para a realização das análises de cromatografia líquida que compoem esta tese. Também à técnica Dra. Adna Prado Massarioli pelo auxílio na realização dessas análises.

Ao pesquisador Dr. Fernando José Hawerth pela oportunidade de participação no projeto “Manejo de pomares de macieira sob tela antigranizo: estratégias para aumento da regularidade produtiva e qualidade da produção” (SEG 20.19.03.066.00.00), no qual é líder, e de onde esta tese é parte integrante.

À Dra. Magda Andréia Tessmer pela essencial contribuição em toda a parte anatômica, pelos ensinamentos, apoio e amizade.

Ao Dr. Elenilson de Godoy Alves Filho pelo auxílio em toda a parte estatística.

A todo pessoal do grupo P-Colheit por toda ajuda e apoio. Agradeço ao pessoal da pós-graduação que passou pelo laboratório ao longo desses anos, que de alguma forma ajudaram, e pela amizade: Ana Paula, Bruna, Bruna Isadora, Cristiane, Marcos, Marina, Ralph, Tainá e Yane. Agradeço a todos os estagiários que tornaram possível a condução de todos os experimentos. À nossa técnica Dra. Eveline Calderan Meneghetti por “colocar o laboratório em ordem” e por toda a amizade. Obrigada por serem essa grande família!

Ao pessoal do laboratório de pós-colheita da Embrapa Uva e Vinho e à técnica Daniela Dal Bosco pelo auxílio na condução dos experimentos e preparo das amostras destinadas às análises anatômicas e bioquímicas.

A todo o pessoal da equipe do Dr. Fernando José Hawerth pela condução dos experimentos a campo.

À Schio<sup>®</sup> pelo apoio e disponibilização dos pomares para implementação das áreas experimentais.

À Silvestrin Frutas pelo auxílio no transporte das frutas até São Paulo.

À Solizete, secretária do PPG Fisiologia e Bioquímica de Plantas, por sempre ter estado disponível e solícita em todos os momentos que precisei.

Aos professores do PPG Fisiologia e Bioquímica de Plantas que de alguma forma contribuíram com a minha formação.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo e ao Programa de Pós-graduação em Fisiologia e Bioquímica de Plantas pela estrutura disponibilizada e oportunidade de realização do doutorado.

À Embrapa Uva e Vinho pela oportunidade e estrutura disponibilizada para condução dos experimentos desta tese, por meio do projeto “Manejo de pomares de macieira sob tela antigranizo: estratégias para aumento da regularidade produtiva e qualidade da produção” (SEG 20.19.03.066.00.00); liderança: Fernando José Hawerth.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa de estudos (88882.378313/2019-01).

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo projeto auxílio 2019/01156-0.

A todos vocês

Meu muito obrigada!

*“Em algum lugar, alguma coisa incrível está  
esperando para ser descoberta”*

*Carl Sagan*

## SUMÁRIO

RESUMO .....	10
ABSTRACT .....	11
LISTA DE FIGURAS .....	12
LISTA DE TABELAS .....	15
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	16
LISTA DE SÍMBOLOS .....	18
1. INTRODUÇÃO.....	19
Referências.....	20
2. REVISÃO BILIOGRÁFICA.....	23
2.1. Aspectos botânicos.....	23
2.2. Panorama comercial.....	24
2.3. Cultivares .....	25
2.4. Pós-colheita.....	26
2.5. Importância da luz às plantas .....	27
2.6. Telas antigranizo .....	29
Referências.....	30
3. MUDANÇAS ESTRUTURAIS E FÍSICO-QUÍMICAS NA QUALIDADE DE MAÇÃS PRODUZIDAS SOB TELAS ANTIGRANIZO FOTOSSELETIVAS .....	33
Resumo.....	33
Abstract .....	33
3.1. Introdução .....	34
3.2. Material e Métodos.....	35
3.2.1. Material e condução experimental .....	35
3.2.2. Deposição de ceras.....	36
3.2.3. Espessura de cutícula e epiderme .....	36
3.2.4. Análises físicas e químicas .....	37
3.2.5. Delineamento experimental e análise dos resultado .....	39
3.2.5.1. Análise estatística multivariada supervisionada .....	39
3.2.5.2. Análise estatística univariada .....	40
3.3. Resultados .....	40
3.3.1. Caracterização da deposição de ceras epicuticulares, espessura de cutícula e epiderme....	40
3.3.2. Análise multivariada supervisionada do conjunto de dados físico-químicos .....	45
3.4. Discussão.....	52
3.4.1. Telas antigranizo fotosseletivas influenciam características anatômicas da cutícula e epiderme de maçãs ‘Galaxy’ .....	52
3.4.2. Telas antigranizo fotosseletivas alteram características de qualidade físicas e químicas de maçãs ‘Fuji Suprema’ e ‘Galaxy’ .....	55
3.4.3. Considerações .....	57
3.5. Conclusão.....	58



Referências.....	58
<b>4. QUALIDADE DE MAÇÃS ‘GALAXY’ PRODUZIDAS SOB TELAS ANTIGRANIZO FOTOSSELETIVAS DURANTE A MATURAÇÃO E PÓS-COLHEITA .....</b>	<b>63</b>
Resumo .....	63
Abstract.....	63
4.1. Introdução .....	64
4.2. Material e Métodos .....	65
4.2.1. Material vegetal e condições de desenvolvimento .....	65
4.2.2. Condução experimental .....	65
4.2.2.1. Coloração da casca .....	66
4.2.2.2. Firmeza de polpa .....	67
4.2.2.3. Sólidos solúveis e acidez titulável.....	67
4.2.2.4. Cor se semente e índice de regressão do amido .....	67
4.2.2.5. Capacidade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais .....	67
4.2.2.6. Clorofilas a, b, totais e carotenoides totais.....	68
4.2.2.7. Teor de antocianinas e flavonoides totais.....	69
4.2.2.8. Quantificação de idaeina por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) .....	69
4.2.3. Análise estatística .....	70
4.2.3.1. Análises quimiométricas .....	70
4.2.3.2. Análises univariadas.....	70
4.3. Resultados .....	71
4.3.1. Qualidade pré-colheita de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob telas fotosseletivas.....	71
4.3.2. Qualidade pós-colheita de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob telas fotosseletivas .....	79
4.4. Discussão .....	88
4.4.1. Telas antigranizo fotosseletivas influenciam a maturação de maçãs ‘Galaxy’ .....	88
4.4.2. Telas antigranizo fotosseletivas alteram a qualidade pós-armazenamento de maçãs ‘Galaxy’ .....	91
4.5. Conclusão.....	93
Referências.....	94
<b>5. QUALIDADE PÓS-ARMAZENAMENTO DE MAÇÃS ‘FUJI SUPREMA’ PRODUZIDAS SOB TELAS ANTIGRANIZO FOTOSSELETIVAS .....</b>	<b>97</b>
Resumo .....	97
Abstract.....	97
5.1. Introdução .....	98
5.2. Material e Métodos .....	98
5.2.1. Material vegetal .....	98
5.2.2. Telas fotosseletivas.....	99
5.2.3. Condução Experimental .....	99
5.2.4. Análises de qualidade .....	99
5.2.4.1. Coloração da casca .....	99
5.2.4.2. Firmeza de polpa .....	100
5.2.4.3. Teor de sólidos solúveis e acidez titulável .....	100
5.2.4.4. Índice de regressão do amido e cor da semente .....	100
5.2.5. Análise estatística .....	101
5.3. Resultados .....	101
5.4. Discussão .....	109

5.5. Conclusão.....	113
Referências.....	113
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	117
APÊNDICES .....	119

## RESUMO

### **Dinâmica da maturação e conservação pós-colheita de maçãs cultivadas em pomares sob telas fotosselativas antigranizo**

Telas antigranizo fotosselativas têm se tornado populares por agregar partículas cromáticas às malhas, alterando a qualidade da radiação transmitida e melhorando características fisiológicas das plantas e dos frutos. Esse trabalho teve como objetivo avaliar, em três estudos, os efeitos da utilização de diferentes telas antigranizo fotosselativas, na qualidade de maturação em campo e conservação pós-colheita de frutos de macieira. Maçãs ‘Fuji Suprema’ e ‘Galaxy’ foram produzidas em pomares comerciais com a utilização das telas antigranizo: amarela, preta, pérola, azul, vermelha, mista (branca com preta) e em pleno sol (controle). O primeiro estudo buscou avaliar a qualidade estrutural da cutícula e epiderme, e metabólica de maçãs ‘Fuji Suprem’ e ‘Galaxy’ na colheita. As telas pérola e vermelha se apresentaram promissoras. A tela pérola influenciou frutos menos maduros, mas com certa presença de oleosidade da casca, que pode vir a ser agravada durante o armazenamento. A tela vermelha levou a frutos mais maduros, melhor recobrimento e espessura da cutícula. O segundo estudo investigou a qualidade pré e pós-colheita em armazenamento a  $0 \pm 1$  °C 90  $\pm$  5% UR em atmosfera comum, das maçãs ‘Galaxy’. As telas pérola, vermelha e a área a pleno sol apresentaram frutos que atingiram a maturação comercial antes dos demais tratamentos. A tela vermelha e a área a pleno sol influenciaram frutos mais maduros, com um menor potencial de armazenamento, ao passo que as maçãs sob tela pérola se apresentaram com qualidade comercial, mas menos maduras, que levaram a um bom potencial pós-colheita. Por fim, o terceiro estudo buscou avaliar maçãs ‘Fuji Suprema’ durante o armazenamento a  $0 \pm 1$  °C 90  $\pm$  5% UR em atmosfera normal. Apesar de as telas não terem apresentado diferenças expressivas, foi possível observar que a área a pleno sol favoreceu frutos melhores comercializáveis ao final do armazenamento, bem como melhor estabilidade. A tela mista apresentou frutos com o comportamento mais próximo ao do em pleno sol, podendo ser utilizada como alternativa em áreas de cultivo de ‘Fuji Suprema’ que haja necessidade de proteção contra o granizo. Esse estudo mostrou que as maçãs apresentam respostas diferentes às cores de telas antigranizo fotosselativas. Também forneceu bons indicativos de que as telas fotosselativas podem ser vantajosas para o cultivo de maçãs em áreas onde haja necessidade de proteção contra o granizo.

Palavras-chave: *Malus domestica*, Qualidade de frutos, Ceras epicuticulares, Radiação solar

## ABSTRACT

### **Maturation dynamics and postharvest conservation of apples cultivated in orchards under photo-selective anti-hail nets**

Photo-selective anti-hail nets have become popular for adding chromatic particles to the nets, changing the quality of the transmitted radiation and improving the physiological characteristics of plants and fruits. The objective of this study was to evaluate, in three parts, the effects of using different photo-selective anti-hail nets on the quality of maturation in the field and on the postharvest conservation of apple fruits. 'Fuji Suprema' and 'Galaxy' apples were grown in commercial orchards using anti-hail nets: yellow, black, pearl, blue, red, mixed (white with black) and full sun (control). The first study aimed to evaluate the structural quality of the cuticle and epidermis and the metabolic quality of 'Fuji Suprema' and 'Galaxy' apples at harvest. The pearl and red nets showed promise. The pearl net influenced less ripe fruits, but with a certain presence of skin greasiness, which can be aggravated during storage. The red net provided more ripe fruits, better coverage and cuticle thickness. The second study investigated pre and postharvest storage quality of 'Galaxy' apples at  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  RH in common atmosphere. The pearl and red nets and the full sun area presented fruits that reached commercial maturity before the other treatments. The red net and the full sun area influenced more ripe fruits, with less storage potential, while the apples under pearl net showed commercial quality, but were less ripe, which led to good postharvest potential. Finally, the third study sought to evaluate 'Fuji Suprema' apples during storage at  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  RH in normal atmosphere. Although the nets did not present significant differences, it was observed that the full sun area favored fruits with better commercialization at the end of storage, as well as better stability. The mixed net presented fruits with a behavior closer to that of full sun area and can be used as an alternative in 'Fuji Suprema' cultivation areas that need protection against hail. This study showed that apples have different responses to the colors of photo-selective anti-hail nets. It also provided good indications that photo-selective nets can be advantageous for growing apples in areas where there is a need for hail protection.

**Keywords:** *Malus domestica*, Fruit quality, Epicuticular waxes, Solar radiation

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Produção (toneladas) e área plantada (hectares) de maçã nos últimos cinco anos no Brasil (A) e produção de maçã (toneladas) por estado, no ano de 2021 (B). Fonte: IBGE (2022). ..... 24
- Figura 2.** Espectro eletromagnético percebido pelas plantas e seus respectivos fotorreceptores. Os fitocromos absorvem a luz entre os comprimentos de onda 600 a 750 nm (vermelho e vermelho distante), enquanto os criptocromos e as fototropinas percebem a faixa entre 320 e 500 nm (luz ultravioleta e azul). Abaixo da radiação ultravioleta existem os raios X e gama, acima do vermelho distante existem ainda as micro-ondas e as ondas de rádio, mas esses não são de interesse às plantas. Menores comprimentos de onda possuem maior quantidade de energia, ao passo que maiores comprimentos de onda possuem menor energia..... 28
- Figura 3.** Micrografias eletrônicas de varredura (MEV) da cutícula de maçãs ‘Fuji Suprema’ cultivadas sob telas fotosselativas nas cores amarela (a-b), preta (c-d), pérola (e-f), azul (g-h), vermelha (i-j), mista (k-l) e sob pleno sol (m-n). Asterisco = lenticela, seta preta = microfissura e seta branca = glóbulos. .... 41
- Figura 4.** Micrografias eletrônicas de varredura (MEV) da cutícula de maçãs ‘Galaxy’ cultivadas sob telas fotosselativas nas cores amarela (a-b), preta (c-d), pérola (e-f), azul (g-h), vermelha (i-j), mista (k-l) e sob pleno sol (m-n). Asterisco = lenticela, seta preta = microfissura e seta branca = glóbulos. 42
- Figura 5.** Fotomicrografias das seções transversais da casca de maçãs para caracterização da cutícula e epiderme. Teste de substâncias lipofílicas com Sudan IV positivo. Maçãs ‘Fuji Suprema’ sob tela fotosselativa a) amarela; b) preta; c) pérola; d) azul; e) vermelha; f) mista e g) a pleno sol; e maçãs ‘Galaxy’ sob tela fotosselativa h) amarela; i) preta; j) pérola; k) azul; l) vermelha; m) mista e n) pleno sol. Ct: cutícula, Ep: epiderme, seta: flanges. .... 44
- Figura 6.** a, b) Espessura da cutícula e da epiderme ( $\mu\text{m}$ ) de maçãs ‘Fuji Suprema’; c, d) e de maçãs ‘Galaxy’, cultivadas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey 5% ( $p < 0,05$ ). ns: não significativo pela análise de variância. .... 45
- Figura 7.** O-PLS-DA resultante da avaliação por fusão de dados das variáveis de cor de fundo e de cobertura ( $L^*$ ,  $C^*$ , Hue e IC) da casca, firmeza da polpa (N), teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}\text{Brix}$ ), acidez titulável (% ácido málico), índice de regressão do amido (%) cor da semente, teor de compostos fenólicos totais (g EAG  $\text{Kg}^{-1}$  MF), % de inibição DPPH, teor de clorofila a, b, totais e carotenoides totais (g  $\text{Kg}^{-1}$  FW), antocianinas e flavonoides totais (g  $\text{Kg}^{-1}$  MS) e % de inibição ABTS de maçãs ‘Fuji Suprema’ cultivadas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas. a) *scores* em LV1, b) *loadings* em LV1 e c) *loadings* mais relevantes para a discriminação das amostras obtidos pela análise VIP. SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável, IRA: índice de regressão do amido; Clo: clorofila, Carot: carotenoides, Antoc: antocianinas; Flav: flavonoides. .... 46
- Figura 8.** O-PLS-DA resultante da avaliação por fusão de dados das variáveis de coloração de fundo e cobertura ( $L^*$ ,  $C^*$ , Hue e IC) da casca, firmeza da polpa (N), teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}\text{Brix}$ ), acidez titulável (% ácido málico), índice de retenção do amido (%) cor da semente, teor de compostos fenólicos totais (g EAG  $\text{Kg}^{-1}$  FW), % de inibição DPPH, teor de clorofila a, b, totais e carotenoides totais (g  $\text{Kg}^{-1}$  FW), antocianinas e flavonoides totais (g  $\text{Kg}^{-1}$  MS) e % de inibição ABTS de maçãs ‘Galaxy’ cultivadas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas. a) *scores* em LV1, b) *loadings* em LV1 e c) *loadings* mais relevantes para a discriminação das amostras obtidos pela análise VIP. SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável, IRA: índice de retenção e amido; Clo: clorofila, Carot: carotenoides, Antoc: antocianinas; Flav: flavonoides..... 47
- Figura 9.** Box plot das médias mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a Análise VIP de maçãs ‘Fuji Suprema’ cultivadas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas. a) sólidos solúveis; b) acidez titulável; c) cor da semente; d) % inibição DPPH; e, f, g) teores de clorofilas a, b e totais, respectivamente; h) teor de flavonóides totais; i) % inibição ABTS. Médias

seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey 5% ( $p < 0,05$ ). ns: não significativo pela análise de variância. .... 49

**Figura 10.** Box plot das médias mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a Análise VIP de maçãs ‘Galaxy’ cultivadas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas. a) sólidos solúveis; b) acidez titulável; c) cor da semente; d) % inibição DPPH; e, f, g) teores de clorofilas a, b e totais, respectivamente; h) teor de flavonóides totais; i) % inibição ABTS. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey 5% ( $p < 0,05$ ). .... 51

**Figura 11.** Representação da coloração de fundo e de cobrimento da casca (parâmetros  $L^*$ ,  $C^*$ , Hue) de maçãs ‘Fuji Suprema’ e ‘Galaxy’ cultivadas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas. .... 52

**Figura 12.** Etapas da condução dos experimentos de monitoramento da maturação e do armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum de maçãs ‘Galaxy’ produzidas em Monte Alegre dos Campos - RS, safra 2020/2021, sob diferentes telas antigranizo fotosselativas. PF: plena floração; DAPF: dias após a plena floração; CM: colheita comercial; DA: dias após o início do armazenamento. .... 66

**Figura 13.** PCA resultante da avaliação física e química de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas durante o monitoramento da maturação dos frutos. *Scores* e *loadings*, respectivamente, em PC1 x PC2 das maçãs a, b: em 113 dias após a plena floração; c e d) 121 dias após a plena floração e 128 dias após a plena floração (colheita comercial). Cobr: cor de cobrimento; IC: índice de cor; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido; Cor Sem: cor da semente; Clo: clorofila. .... 73

**Figura 14.** *Loadings* mais relevantes para a discriminação das amostras obtidos pela análise VIP de amostras de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas, durante o monitoramento da maturação dos frutos. IC: índice de cor; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido; Clo: clorofila; carot: carotenoides. \*: significativo pela análise de variância para os atributos mais relevantes. ns: não significativo pela análise de variância. .... 75

**Figura 15.** Resultados da regressão multivariada por PLS resultante da avaliação físico-química de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas durante o armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. *Scores* em LV1 x LV2 e *loadings* em LV1, respectivamente das maçãs produzidas sob a, b: tela amarela; c e d) tela preta; e) e f) tela pérola; g) e h) tela azul; i) e j) tela vermelha; k) e l) tela mista e m) e n) pleno sol (controle). IC: índice de cor; SS: sólidos solúveis; F: coloração de fundo; C: coloração de cobrimento; IC: índice de cor;  $h^\circ$ : ângulo Hue; Firm: firmeza; AT: acidez titulável; SS: sólidos solúveis; IRA: índice de regressão do amido; CS: cor da semente; Fenol: compostos fenólicos totais; Clo: clorofila; T: totais; Carot: carotenoides; Antoc: antocianinas totais; Flav: flavonoides totais; Idaei: Idaeina. Seta indica o progresso do amadurecimento. .... 80

**Figura 16.** *Loadings* mais relevantes para a discriminação das amostras obtidos pela análise VIP de amostras de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas, durante o armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. IC: índice de cor; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; SS: sólidos solúveis; IRA: índice de regressão do amido; Clo: clorofila; carot: carotenoides. \*: significativo pela análise de variância para os atributos mais relevantes. .... 82

**Figura 17.** O-PLS-DA resultante da avaliação dos atributos: coloração de fundo e de cobrimento ( $L^*$ ,  $C^*$ , Hue e IC) da casca, firmeza da polpa (N), teor de sólidos solúveis ( $^\circ$ Brix), acidez titulável (% ácido málico), índice de regressão do amido e cor da semente de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas, no momento da colheita (0 dias) e após 57 e 108 dias de armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. *Scores* e *loadings*, respectivamente, em LV1 das maçãs a, b: na colheita (0 dias); c, d: aos 57 dias; e, f: aos 108 dias de armazenamento refrigerado. IC: índice de cor; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido. .... 102

**Figura 18.** *Loadings* mais relevantes para a discriminação das amostras obtidos pela análise VIP de amostras de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas, no

momento da colheita (0 dias) e após 57 e 108 dias de armazenamento a  $0 \pm 1$  °C 90 ± 5% UR em atmosfera comum. SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de retenção do amido. ... 105

**Figura 19.** Box plot das médias dos atributos mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a análise VIP de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas, no momento da colheita (0 dias). a) L\* da cor de cobrimento; b) teor de sólidos solúveis (°Brix); c) acidez titulável (% ácido málico). Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey 5% ( $p < 0,05$ ). ..... 105

**Figura 20.** Box plot das médias mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a análise VIP de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas, após 57 dias de armazenamento a  $0 \pm 1$  °C 90 ± 5% UR em atmosfera comum. a) L\* da cor de cobrimento; b) C\* da cor de cobrimento; c) firmeza da polpa (N); d) teor de sólidos solúveis (°Brix); e) cor da semente. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey 5% ( $p < 0,05$ ). ns: não significativo pela ANOVA. .... 107

**Figura 21.** Box plot das médias mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a análise VIP de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas, aos 108 dias de armazenamento a  $0 \pm 1$  °C 90 ± 5% UR em atmosfera comum. a) C\* da cor de cobrimento; b) teor de sólidos solúveis (°Brix); c) acidez titulável (% ácido málico). Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey 5% ( $p < 0,05$ ). ..... 108

**Figura 22.** Representação da cor de fundo e de cobrimento da casca (parâmetros L\*, C\* e Hue) de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas, na colheita (0 dias) e após 57 e 108 dias de armazenamento a  $0 \pm 1$  °C 90 ± 5% UR em atmosfera comum. .... 109

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Parâmetros estatísticos obtidos pela modelagem por O-PLS-DA de maçãs ‘Galaxy’ e ‘Fuji Suprema’ cultivadas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas. .... 48
- Tabela 2.** Parâmetros estatísticos obtidos pela modelagem de classificação multivariada PLS-DA de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas em 113, 121 e 128 dias após a plena floração..... 74
- Tabela 3.** Parâmetros de qualidade comercial de maçãs ‘Galaxy’ utilizados para o estado do Rio Grande do Sul, Brasil. .... 74
- Tabela 4.** Médias dos atributos mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a análise VIP de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas, amarela, preta, pérola, azul, vermelha, mista e em pleno sol, em 113, 121 e 128 (colheita comercial) dias após a plena floração. DAPF: dias após a plena floração F: cor de fundo; h°: ângulo Hue; IC: índice de cor; C: cor de cobrimento; Firm: firmeza; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido; CS: cor de semente; Fenol: compostos fenólicos totais; Clo: clorofila; T: totais; Antoc: antocianinas totais; Idaei: idaeina..... 76
- Tabela 5.** Parâmetros estatísticos obtidos pela modelagem de regressão multivariada por regressão PLS para maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas o armazenamento a  $0 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$   $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. .... 79
- Tabela 6.** Médias dos atributos mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a análise VIP de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas, amarela, preta, pérola, azul, vermelha, mista e em pleno sol, na colheita (0 dias) e aos 46, 90, 123 e 151 dias após o armazenamento a  $0 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$   $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. F: cor de fundo; h°: ângulo Hue; IC: índice de cor; C: cor de cobrimento; Firm: firmeza; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido; CS: cor de semente; Fenol: compostos fenólicos totais; Clo: clorofila; T: totais; Carot: carotenoides totais; Antoc: antocianinas totais; Flav: flavonoides totais; Idaei: idaeina. 83
- Tabela 7.** Parâmetros estatísticos obtidos pela modelagem por O-PLS-DA de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas, no momento da colheita (0 dias) e após 57 e 108 dias de armazenamento a  $0 \pm 1 \text{ } ^\circ\text{C}$   $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. .... 103



**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABTS	2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina) 6-ácido sulfônico
AC	Atmosfera Controlada
ANOVA	Análise variância
AT	Acidez Titulável
Antoc	Teor de antocianinas totais
C	Coloração de cobrimento da casca
Cfa	Clima subtropical com verão quente
CLAE	Cromatografia líquida de alta eficiência
CS	Cor da semente
DAD	Detector de arranjo de diodos
DAPF	Dias após a plena floração
DMSO	Dimetilsulfóxido
DPPH	2,2-Difenil-1-picril-hidrazil
EAG	Equivalente de Ácido Gálico
EM	East Mallig
F	Coloração de fundo da casca
Fenol	Teor de compostos fenólicos totais
Firm	firmeza de polpa
FL	Detector por fluorescência
Flav	Teor de flavonoides totais
Fv	Fitocromo Vermelho
Fv	Fitocromo Vermelho Distante
IC	Índice de Cor
Idaein	Teor de idaeina (cianidina 3-galactosídeo)
IRA	Índice de Retenção do Amido
LV	Variável Latente
MI	Merton Imune
MM	Mallig-Merton
NIR	Espectroscopia de Infravermelho Próximo
PG	Poligalactulonase
PME	Pectinametilsterase
PLS-DA	Análise Discriminante por Mínimos Quadrados Parciais

O-PLS-DA Análise Discriminante por Mínimos Quadrados Parciais Ortogonais

R Fitocromo Vermelho

RFA Radiação Fotossinteticamente Ativa

SS Sólidos Solúveis

UR Umidade relativa

UV Ultravioleta

VIP Importância das Variáveis na Projeção

$\beta$ -gal  $\beta$ -galactosidase

**LISTA DE SÍMBOLOS**

a\* coordenada a\* de cor (verde ao vermelho)

b\* coordenada b\* de cor (azul ao amarelo)

C\* cromaticidade da cor

g gramas

Hue ângulo hue da cor (0° a 360°)

Kg quilogramas

kV kilovolts

L\* luminosidade (coordenada de cor do preto ao branco)

mL mililitros

N Newtons

nm nanômetros

μL microlitros

μm micrômetros

## 1. INTRODUÇÃO

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) é uma cultura que pertence à família *Rosaceae*, originária da Ásia e Europa, com exploração comercial iniciada no Brasil somente na década de 1960 no estado de Santa Catarina (Freire et al., 1994). A produção de maçãs representa uma área em torno de 32,433 mil ha em todo o território nacional (IBGE, 2021). A maçã é a segunda frutífera temperada mais produzida pelos brasileiros, ficando atrás somente da uva, e Figura na décima posição no ranking geral de produção de frutas IBGE (2021). Devido ao clima frio, e áreas com altas altitudes, os estados do sul do país concentram a produção nacional dessa fruta.

Por ser uma cultura de clima temperado, a macieira tem uma alta exigência de número de horas de frios (abaixo de 7,2° C) ao longo do período de repouso hibernar (Freire et al., 1994), o que explica a maior produção dessa cultura nos estados mais frios do país. Apesar das características climáticas favoráveis, amplitude térmica diária, altas altitudes e disponibilidade hídrica, que a região sul do país apresenta para o desenvolvimento da cultura, frequentemente os pomares são atingidos por granizo. Essas precipitações acarretam em redução na qualidade dos frutos, levando à perda da produção, caso o granizo ocorra na época da florada. Em função de tais adversidades, o uso de telas antigranizo, compostas por malhas trançadas de filamentos de polietileno, tornou-se uma prática cultural cada vez mais comum entre os produtores não somente dessa região do país, bem como em todo o mundo (Kührt et al., 2006; Mupambi et al., 2018; Solomakhin e Blanke, 2007). Apesar de elevar o custo de produção, o emprego de telas tem sido a alternativa mais eficaz a fim de evitar as perdas causadas pelo granizo.

O granizo, durante o desenvolvimento dos frutos, pode acarretar deformação nas frutas, com depreciação e perda de valor do produto, no caso de frutos maiores, as lesões podem propiciar a ocorrência de patógenos (Amarante et al., 2009; Leite et al., 2002). Em alta intensidade, o granizo compromete, não só a produção atual, bem como as próximas safras, por causar danos aos ramos e folhas, e por favorecer a instalação de fungos causadores do cancro em ramos (Leite et al., 2002).

As telas antigranizo são compostas por uma malha fina, que proporciona resistência mecânica à queda das pedras de gelo, possuem proteção contra a radiação ultravioleta (UV), e a durabilidade é estimada entre 15 a 20 anos (Tassara e Battaglia, 1992). Em contrapartida, o uso das telas acaba formando um microclima no interior do pomar, alterando as respostas da planta (Leite et al., 2002; Solomakhin e Blanke, 2007), podendo ocorrer alteração do volume

de produção. Outro fator importante sobre telas antigranizo, é a redução da incidência luminosa sobre as plantas (Mupambi et al., 2018), principalmente da tela preta, que acarreta em aumento de vigor da parte vegetativa da planta, e redução da qualidade dos frutos (Shahak, 2014). A ocorrência de efeitos negativos está relacionada também às características do pomar (cultivar de copa e porta-enxerto, tipo de manejo do pomar, densidade de plantio), e às características das telas utilizadas, como tipo de malha, porcentagem de sombreamento e coloração da malha (Solomakhin e Blanke, 2007).

Em função da demanda crescente por esse tipo de cobertura, em todo o mundo, vários materiais estão disponíveis no mercado, incluindo vários tipos de malha e diferentes colorações. Considerando as alterações no metabolismo das plantas que esses diferentes tipos de tela podem vir a causar, e o impacto econômico pode ter no pomar, há uma demanda de estudos que mensuram os efeitos, para que assim, se possa viabilizar economicamente o uso desse tipo de cobertura. Nesse sentido, esse trabalho propõe avaliar os efeitos da utilização de diferentes colorações de telas antigranizo fotosseletivas, na qualidade de maturação e conservação pós-colheita de frutos de macieira.

## Referências

- Amarante, C.V.T. do, Steffens, C.A., Miqueloto, A., Zanardi, O.Z., Santos, H.P. dos, 2009. Disponibilidade de luz em macieiras “Fuji” cobertas com telas antigranizo e seus efeitos sobre a fotossíntese, o rendimento e a qualidade dos frutos. *Rev. Bras. Frutic.* 31, 664–670. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000300007>
- Freire, C.J.S., Camelatto, D., Cantillano, R.F.F., Kovaleski, A., Fortes, J.F., 1994. A cultura da maçã. EMBRAPA-SPI, Brasília.
- IBGE, 2021. Produção Agrícola Municipal [WWW Document]. URL <https://sidra.ibge.gov.br> (accessed 3.15.21).
- Kührt, U., Samietz, J., Dorn, S., 2006. Effect of plant architecture and hail nets on temperature of codling moth habitats in apple orchards. *Entomol. Exp. Appl.* 118, 245–259. <https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2006.00385.x>
- Leite, G.B., Petri, J.L., Mondardo, M., 2002. Efeito da tela antigranizo em algumas características dos frutos de macieira. *Rev. Bras. Frutic.* 24, 714–716. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000300037>
- Mupambi, G., Anthony, B.M., Layne, D.R., Musacchi, S., Serra, S., Schmidt, T., Kalcsits, L.A., 2018. The influence of protective netting on tree physiology and fruit quality of apple: A review. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 236, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.014>
- Shahak, Y., 2014. Photosensitive netting: an overview of the concept, research and development and practical implementation in agriculture. *Acta Hortic.* 105, 155–162. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1015.17>
- Solomakhin, A., Blanke, M., 2007. Coloured hailnets alter light transmission, spectra and phytochrome, as well as vegetative growth, leaf chlorophyll and photosynthesis and reduce flower induction of apple. *Plant Growth Regul.* 56, 2625–2637.

Tassara, M.A., Battaglia, M., 1992. Ensayo de una red plastica antigranizo en manzanos en el Alto Valle de Rio Negro. *ivista di Agric. Subtrop. e Trop.* 86, 375–384.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Aspectos botânicos

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) é uma cultura pertencente à família Rosaceae, ordem Rosales e subfamília Pomoideae. Sua origem exata não é conhecida, havendo indícios de que seja oriunda da espécie *Malus pumila* Mill. ou da espécie *Malus sieversii* (Ledeb.) M. Roem., que ocorrem naturalmente em regiões da Europa e Ásia (Hoffman e Bernadi, 2004).

Trata-se de uma espécie frutífera perene, de clima temperado, lenhosa e caducifolia (Luchi, 2002). Por ser uma frutífera de clima temperado, a macieira entra em um estado de dormência durante o inverno, onde há a paralisação aparente de suas atividades fisiológicas (Petri e Leite, 2008). A frutífera sai desse estado de dormência, apenas após o acúmulo de certa quantidade de horas de frio abaixo de 7,2° C (Petri e Leite, 2008), dependendo da cultivar. A dormência é um estado fisiológico da planta, a fim de evitar danos, que possam ser causados pelas baixas temperaturas.

A forma do sistema radicular depende da propagação. Atualmente é comum o uso de propagação vegetativa por estaquia ou mergulhia, tornando o sistema radicular fasciculado (Hoffman e Bernadi, 2004). O porta-enxerto utilizado também afeta as características das raízes. A série *East Malling* (M ou EM) foi a primeira a ser obtida para porta-enxerto, com o objetivo de apresentar árvores com a copa vigorosa, e desses, apresentam expressão comercial hoje, o M-7 e o M-9 (Bernardi et al., 2004). Devida à suscetibilidade da série EM ao pulgão-lanífero (*Eriosoma lanigerum*), surgiram outras séries de expressão comercial como, Merton Immune (MI), à qual se destaca hoje o MI-793, *Malling-Merton* (MM), com destaque para MM-106 e MM-111, e Marubakaido (Maruba) (Bernardi et al., 2004). Os tipos de porta-enxertos mais comumente utilizados nos pomares comerciais brasileiros são, o Marubakaido, M-9 e M-7 (Petri e Leite, 2008). O crescimento vegetativo está diretamente relacionado à combinação copa/porta-enxerto, podendo o porta-enxerto vir a ser vigoroso, não vigoroso ou anicante.

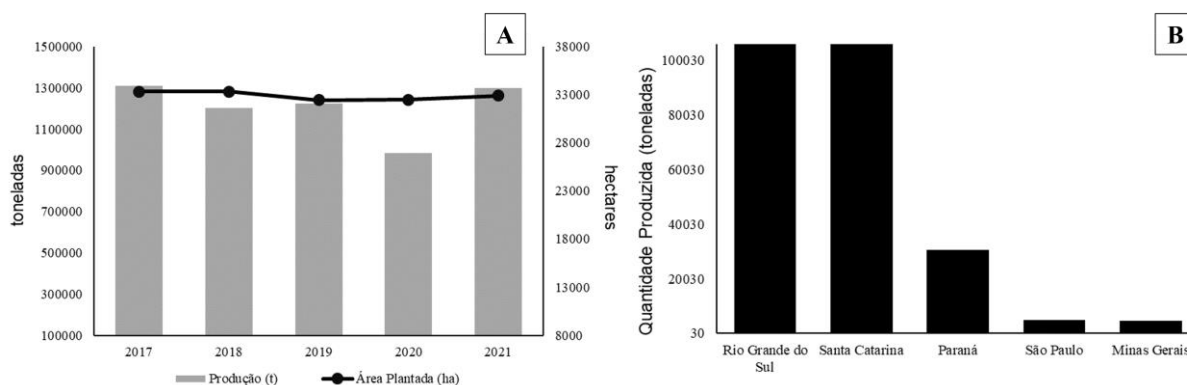
A formação das flores se inicia no verão e outono, vindo, terminando somente na primavera da estação do ano seguinte (Hoffman e Bernadi, 2004), após o período de dormência, onde as gemas florais enfim brotam. O brotamento das gemas florais durante a primavera só ocorre após o acúmulo de horas de frio necessárias a cultivar (Luchi, 2002), caso contrário há a necessidade da aplicação de reguladores vegetais, como a cianamida hidrogenada. Para a frutificação deve ocorrer a polinização cruzada dos botões florais, e uma



vez fixados, os frutos precisam de altas temperaturas, radiação solar elevada e presença de folhas com alta taxa fotossintética para o desenvolvimento (Hoffman e Bernadi, 2004).

## 2.2. Panorama comercial

Dados da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2023) apontam que a China é o maior produtor mundial de maçãs, com uma produção média, em 2021, de 45.983.400 toneladas. A China é seguida pela Turquia (4.493.264 toneladas) e Estados Unidos (4.467.206 toneladas). No Brasil, a produção média de maçã para o ano de 2020 foi de 983.247 toneladas (FAO, 2023), e no ano seguinte 1.297.424 toneladas (Figura 1a), segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021). A área nacional plantada com pomares de macieira, não apresentou grandes oscilações no período entre 2017 e 2021 (Figura 1a), se mantendo entre 33.330 hectares em 2017, e 32.890 hectares em 2021, equiparando-se com a produção média anual, a exceção do ano de 2020.



**Figura 1.** Produção (toneladas) e área plantada (hectares) de maçã nos últimos cinco anos no Brasil (A) e produção de maçã (toneladas) por estado, no ano de 2021 (B). Fonte: IBGE (2022).

Considera-se que a exploração comercial da macieira, no Brasil, teve início somente na década de 1960 em Santa Catarina. No entanto, há algumas menções anteriores à cultura no país, datadas de 1903 em localidades próximas a Indaial e Brusque, ambos em Santa Catarina (Santos, 1994). A partir da implantação de pomares comerciais entre as décadas de 60 e 70, o Brasil se tornou auto-suficiente e exportador da fruta, com seu agronegócio concentrado na região sul (Petri et al., 2011).

Com uma área plantada de 32.890 hectares, no de 2021, a maçã está entre as dez frutíferas mais produzidas no país, segundo os dados mais recentes fornecidos pelo IBGE

(2021). E devido a necessidade de baixas temperaturas, essa está, majoritariamente na região Sul. Segundo o censo do IBGE (2021) feito em 2021, os maiores produtores nacionais (Figura 1b) são Rio Grande do Sul (628.711 toneladas) e Santa Catarina (628.592 toneladas).

### 2.3. Cultivares

A macieira é um exemplo de frutífera temperada de sucesso e tecnológica no Brasil. Um grande fator nesse sucesso são as cultivares, inicialmente utilizadas ‘Golden Delicious’, ‘Starkinson, Blackjon’ e ‘Melrose’ (Petri et al., 2011). Das mais de 100 cultivares existentes no mundo, quatro se destacam com grande importância comercial: ‘Delicious’, ‘Golden Delicious’, ‘Fuji’ e ‘Gala’ (Bernardi et al., 2004). No Brasil, devido às condições climáticas (Bernardi et al., 2004), os pomares foram rapidamente substituídos por pomares de ‘Gala’ e ‘Fuji’, seus clones e mutações (Petri et al., 2011) como:

I. ‘Gala: ‘Maxi Gala’, ‘Galaxy’, ‘Imperial Gala’, ‘Royal Gala’, ‘Lisgala’, ‘Brookfield’, ‘Gala Real’.

II. ‘Fuji’: ‘Fuji Suprema’, ‘Fuji Seleta’, ‘Mishima’, ‘Fuji Standard’, ‘Fuji Brak’.

Os clones de ‘Fuji’ e ‘Gala’, começaram a ser introduzidos no Brasil a partir da década de 1980, devida à melhor coloração, possibilitando o país atender às exigências do mercado externo, tornando-se exportador da fruta (Petri et al., 2011). Alguns dos primeiros clones implantados foram: ‘Maxi Gala’, ‘Brookfield’, ‘Fuji Mishima’ e ‘Fuji Suprema’ (Petri et al., 2011). Ambas cultivares têm necessidade de mais de 600 horas de frio para saírem da dormência.

A cv. Fuji teve origem em 1934, no Japão, através do cruzamento feito por H. Niitsu, entre ‘Ralls Janet’ e ‘Delicious’ (Camilo e Denardi, 2002). As plantas são vigorosas e o hábito de crescimento é verticalizado, tornando necessário o arqueamento dos ramos (Bernardi et al., 2004). A ‘Fuji’ é resistente à mancha foliar de glomerella (*Colletotrichum gloeosporioidese*) oídio (*Podosphaera leucotricha*), mas é suscetível à sarna (*Venturia inaequalis* (Cooke) Winter) e menos suscetível à podridão amarga (*Glomerella cingulata*) (Bernardi et al., 2004). A floração da ‘Fuji’ é intensa, a alternância de produção é maior que a ‘Gala’, e os frutos têm maturação desuniforme (Fioravanço et al., 2010). Seus frutos são médios a grandes, redondo-oblatos ou oblongos, desuniformes e apresentam pouco russeting (Fioravanço et al., 2010). Possuem coloração da epiderme vermelho-estriada sobre fundo verde, crocantes, doces e suculentas (Camilo e Denardi, 2002). A colheita, no Brasil, ocorre entre o final de março até meados de abril (Bernardi et al., 2004).

A cv. Fuji Suprema está entre os três principais clones de ‘Fuji’ cultivados no Brasil (Fioravanço et al., 2010). Essa cultivar trata-se de uma mutação espontânea da ‘Fuji’, mais tardia, podendo a maturação comercial acontecer até final de abril, de porte vigoroso, de coloração vermelho escuro sem presença de estrias no cobrimento e de fundo verde-amarelo (Fioravanço et al., 2010).

A ‘Gala’ foi originada no ano de 1934, na Nova Zelândia, através do cruzamento entre as cultivares Kidd’s Orange Red e Golden Delicious, pelo melhorista J. H. Kidd (Camilo e Denardi, 2002). As plantas dessa cultivar são semi-vigorosas, o hábito de crescimento é semiaberto, o que torna necessário o arqueamento dos ramos a fim de melhorar a coloração das frutas e produção (Bernardi et al., 2004), pela maior entrada de luz na copa. Os frutos são pequenos a médios, com pouco russeting e maturação desuniforme (Fioravanço et al., 2010), apresentam coloração vermelho-rajada com fundo amarelo liso, e a polpa é amarelo-creme e crocante (Camilo e Denardi, 2002). Se adapta bem em altitudes superiores a 1.200 m, sendo necessário tratamento químico para quebra da dormência em localidades com altitudes inferiores (Bernardi et al., 2004). A colheita da ‘Gala’ ocorre, no Brasil, antes da ‘Fuji’, entre janeiro e março (Girardi et al., 2015).

Um dos clones mais comuns da gala é a ‘Galaxy’, uma mutação espontânea da ‘Royal Gala’ procedente da Nova Zelândia (Fioravanço et al., 2010). Essa cultivar se caracteriza pelo médio vigor, epiderme vermelha uniforme, com estria, sobre um fundo de cor amarela, com colheita mais precoce, ocorrendo entre final de janeiro a fevereiro (Fioravanço et al., 2010).

‘Gala’, ‘Fuji’ e seus clones, são hoje, as cultivares mais produzidas e consumidas nacionalmente, devido à suas características de qualidade serem agradáveis ao consumidor brasileiro, e à sua boa adaptabilidade às condições ambientais e climáticas do país. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2022), foram comercializadas cerca de 66.749,941 toneladas de maçãs ‘Fuji’, nas Ceasas nacionais, ao passo que foram comercializadas cerca de 102.851,264 toneladas de maçãs ‘Gala’ em 2022.

#### **2.4. Pós-colheita**

O processo de maturação é definido como uma série de mudanças nas características organolépticas nos frutos (Chitarra e Chitarra, 1990). Enquanto, o amadurecimento consiste na etapa em que o fruto, já maduro, torna-se mais apto ao consumo, adquirindo sabores e odores específicos, à medida que a doçura aumenta. Esse evento é intimamente coordenado geneticamente (Brady, 1987). Grandes problemas de qualidade no mercado da maçã in natura,

em decorrência do amadurecimento, são o amarelecimento e o amolecimento da polpa, polpa farinácea, rachadura nos frutos, ocorrência de podridão, além da alta suscetibilidade a danos mecânicos (Girardi et al., 2015, 2004; Johnston et al., 2002). Por se tratar de uma fruta tão suscetível, o armazenamento refrigerado em atmosfera comum, foi substituído, em escala comercial, pelo armazenamento em atmosfera controlada, mais eficiente no controle do amadurecimento, redução da respiração e da produção de etileno (Both et al., 2014).

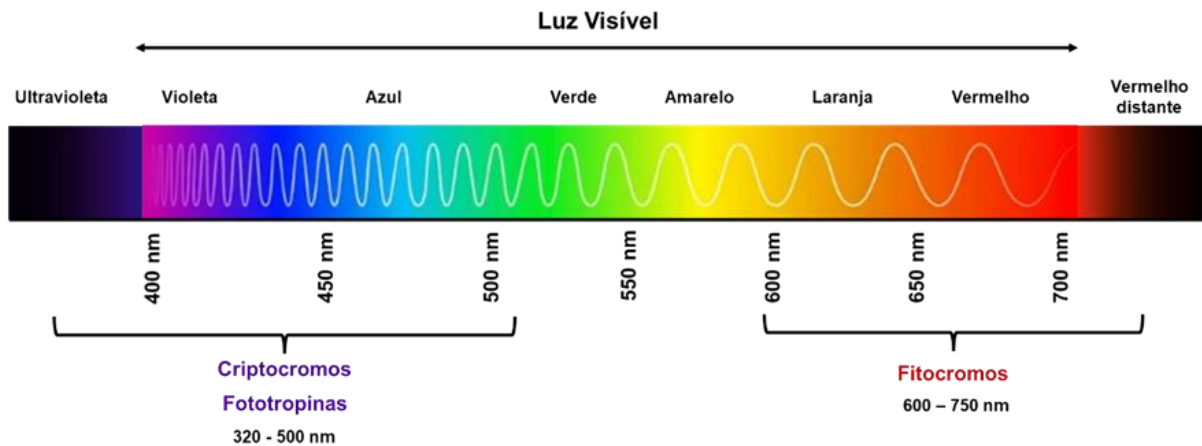
A maçã é um fruto climatérico, grupo de frutos, os quais são responsivos ao etileno (Valero e Serrano, 2010). O amadurecimento acompanha importantes alterações bioquímicas, que acabam por reduzir a qualidade do fruto, como aumento nos teores de açúcar, redução dos ácidos orgânicos, degradação das paredes celulares, degradação de clorofilas, síntese de pigmentos, e produção de compostos voláteis (Woolf, 1975).

A perda de firmeza, é um dos principais fatores que determinam a qualidade pós-colheita da maçã (Johnston et al., 2002), que ocorre através da degradação da parede celular. Dentre as diversas alterações físico-químicas que ocorrem no amadurecimento dos frutos, está a ativação de certas enzimas da degradação de parede celular (Besada et al., 2010; Harima et al., 2003) como a pectinametilesterase (PME), poligalacturonase (PG) e  $\beta$ -galactosidase ( $\beta$ -gal) (Souza et al., 2011).

Com o avanço do amadurecimento, também ocorrem mudanças na coloração dos frutos, devida à degradação das clorofilas e surgimento de alguns carotenóides (Girardi et al., 2015) que dão a cor de fundo amarelada da casca (Zardo et al., 2009). Com o avançar da maturação os cloroplastos que contêm clorofilas são degradados, e alguns são convertidos em cromoplastos, organelas pigmentadas que contêm carotenóides.

## **2.5. Importância da luz às plantas**

A luz é o fator ambiental mais importante na regulação do desenvolvimento das plantas (Sullivan e Deng, 2003). No entanto, tanto a qualidade quanto a intensidade espectral luminosa sofrem grandes variações a nível espacial e temporal (Ruban, 2009). A luz é composta por diversas cores, distribuídas entre os comprimentos de onda de luz visível (400 – 700 nm) e luz não visível (< 400 nm e > 700 nm) (Figura 2). A distribuição da luz pode variar com fatores como a fonte de luz e com o tipo de matéria, que pode afetar a absorção e dispersão da luz.



**Figura 2.** Espectro eletromagnético percebido pelas plantas e seus respectivos fotorreceptores. Os fitocromos absorvem a luz entre os comprimentos de onda 600 a 750 nm (vermelho e vermelho distante), enquanto os criptocromos e as fototropinas percebem a faixa entre 320 e 500 nm (luz ultravioleta e azul). Abaixo da radiação ultravioleta existem os raios X e gama, acima do vermelho distante existem ainda as micro-ondas e as ondas de rádio, mas esses não são de interesse às plantas. Menores comprimentos de onda possuem maior quantidade de energia, ao passo que maiores comprimentos de onda possuem menor energia.

As plantas são expostas às flutuações de luz entre dia e noite (fotoperíodo) e de temperatura (termoperíodo) que definem o seu ciclo circadiano (Velez-Ramirez et al., 2011). A energia luminosa afeta diretamente a fotossíntese. A planta através da energia solar captada pelo complexo antena, oxida uma molécula de água, libera oxigênio e forma vários compostos orgânicos utilizados ao longo do seu metabolismo, como os açúcares (Taiz et al., 2017). No entanto, o comprimento de onda determina a qualidade da luz absorvida, e influencia diretamente na resposta da planta (Yadav et al., 2020).

A forma de percepção e captação da luz pelas plantas é através de fotorreceptores. Esses se apresentam dentro de três classes, dependendo do comprimento de onda absorvido: fitocromos, criptocromos e fototropinas (Figura 2) (Sullivan e Deng, 2003). Os fitocromos percebem a luz compreendida entre as faixas de 600 a 750 nm (vermelho/vermelho distante) (Kendrick e Kronenberg, 1994). Fitocromos são formados por uma apoproteína ligada a um cromóforo tetrapirrólico linear por ligação covalente (Sullivan e Deng, 2003). Os fitocromos na maioria das vezes existem em duas formas, fitocromo vermelho (Fv), degradado quando exposto à luz vermelha ou branca, ou fitocromo vermelho distante (Fvd), estável a luz (Clough e Vierstra, 1997; Salvadori et al., 2022). Durante o dia, Fv absorve a luz vermelha e é convertido a Fvr, responsivo à luz vermelha distante, durante a noite o processo é o inverso (Quail, 1997). Os fitocromos influenciam em quase todos os processos de vida de uma planta, como regulação transcricional e pós-transcricional, interações proteína-proteína, germinação,

termogênese, biossíntese de clorofila, regulação de auxina, indução floral, dentre outros (Cheng et al., 2021).

Os Criptocromos são um grupo de fotorreceptores compostos de flavoproteína (Chaves et al., 2011), que absorvem as luzes ultravioleta-A (UV-A) entre 320 e 390 nm, e azul entre 390 e 500 nm (Figura 2) (Briggs e Christie, 2002). Os Criptocromos estão envolvidos em processos como ativação de transcrições gênicas, alongamento celular e controle de ritmos circadianos (Briggs e Huala, 1999). As fototropinas são fotorreceptores mais recentemente descobertos também responsivos à luz azul e UV-A (Figura 2), e que podem controlar processos como abertura estomática, fototropismo e acúmulo de cloroplastos (Briggs e Christie, 2002). Existem indícios da existência de mais fotorreceptores, como um responsivo à luz ultravioleta-B (UV-B), que capta a luz entre 282 e 320 nm, mas que ainda não foram totalmente identificados (Briggs e Huala, 1999; Yadav et al., 2020). Sabe-se que dependendo da exposição, a radiação UV-B pode ser positiva ou negativa às plantas (Yadav et al., 2020). Podendo atuar como um indutor de estresse ou no desenvolvimento da planta, como na síntese de flavonoides, proteção contra fotoinibição e estresse oxidativo, reparo no DNA e sinalização de auxina (Yin e Ulm, 2017).

## **2.6. Telas antigranizo**

Mudanças climáticas mundiais, têm causado um aumento na ocorrência de granizo, trazendo a necessidade da implantação de telas de proteção em pomares de maçã (Blanke, 2009). Além da proteção contra o granizo, esse tipo de tela pode ter outras finalidades como, proteção contra radiação solar excessiva, que leva o fruto a desenvolver um distúrbio chamado, queimadura solar (Mupambi et al., 2018; Racsco e Schrader, 2012). Essas telas também podem ser usadas para proteção contra os ventos, morcegos, insetos, pássaros (Mupambi et al., 2018). A instalação de telas antigranizo, também pode causar uma alteração no microclima do pomar, modificando o uso de água pelas plantas, crescimento e produtividade (Mupambi et al., 2018). Além do microclima, as telas alteram a qualidade da luz que as atravessa, que modifica a difusão, refletância, transmitância e absorbância da luz (Basile et al., 2008).

Recentemente, as telas antigranizo, têm sido desenvolvidas, incorporando elementos cromáticos (redes fotosseletivas), com o intuito de alterar as características espectrais da radiação solar incidente no pomar (Shahak, 2008). A fotosseletividade das telas é obtida através da coloração diferenciada da malha, adição de elementos dispersivos, absorptivos e

reflexivos da luz que atravessa a tela (Shahak, 2008). Elas alteram a qualidade da luz que as atravessa no comprimento de onda do infravermelho próximo (NIR) 760 a 1500 nm, ultravioleta (UV) 100 a 400 nm e radiação fotossinteticamente ativa (RFA) 400 a 700 nm (Castellano et al., 2006). Telas antigranizo coloridas, tornaram-se disponíveis no mercado em 2007, apontando efeitos positivos para a fisiologia da planta, principalmente da malha vermelha no fitocromo, fotossíntese, rendimento e qualidade do fruto (Retamales et al., 2008).

Solomakhin and Blanke (2007) identificaram que há redução no teor de sólidos solúveis e no ganho de coloração de maçãs sob tela antigranizo. Umanzor et al. (2017), observaram que telas fotosseletivas alteram diferencialmente as condições luminosas. Segundo esses autores, a tela pérola aumenta a quantidade de luz difusa disponível ao pomar, reduzindo a temperatura do ambiente e favorecendo a coloração das plantas. Solomakhin e Blanke (2010) constataram que telas antigranizo vermelha transmitem de 3 a 6 % mais luz vermelha, à medida que as telas verdes transmitem mais luz verde, respectivamente, sem alterar a relação do fitocromo vermelho:vermelho distante (Fv:Fvr, 666 nm:730 nm). Esses, também identificaram que a casca de maçãs cultivadas sob telas coloridas apresentaram mais clorofila, e cerca de 4 a 5 vezes menos antocianinas.

A quantidade de RFA e a absorção líquida de radiação solar influencia o desenvolvimento vegetativo e reprodutivos das plantas, a estrutura anatômica das folhas e a indução de cor na epiderme dos frutos, principalmente síntese de antocianinas (Takos et al., 2006), responsáveis pela coloração vermelha. Desse modo, a redução da incidência de luz nos pomares, pode não só reduzir a síntese de antocianinas nos frutos, como os aumentos dos teores de compostos fenólicos e da atividade antioxidante (Awad et al., 2001).

## Referências

- Awad, M.A., Wagenmakers, P.S., Jager, A., 2001. Effects of light on flavonoid and chlorogenic acid levels in the skin of 'Jonagold' apples. *Sci Hort* 88, 289–298. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(00\)00215-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(00)00215-6)
- Basile, B., Romano, R., Giaccone, M., Barlotti, E., Colonna, V., Cirillo, C., Shahak, Y., Forlani, M., 2008. Use of photo-selective nets for hail protection of kiwifruit vines in Southern Italy. *Acta Hort* 770, 185–192. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.770.21>
- Bernardi, J., Denardi, F., Hoffmann, A., 2004. Cultivares e porta-enxertos, in: Nachtigall, G.R. (Ed.), *Coleção Frutas Do BRASIL: Maçã - Produção*. Embrapa, Brasília, pp. 32–46.
- Besada, C., Jackman, R.C., Olsson, S., Woolf, A.B., 2010. Response of 'Fuyu' persimmons to ethylene exposure before and during storage. *Postharvest Biol Technol* 57, 124–131. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.03.002>
- Blanke, M., 2009. The structure of coloured hail nets affects light transmission, light spectrum, phytochrome and apple fruit colouration. *Acta Hort* 817, 177–184. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.817.17>

- Both, V., Brackmann, A., Thewes, F.R., Ferreira, D. de F., Wagner, R., 2014. Effect of storage under extremely low oxygen on the volatile composition of ‘Royal Gala’ apples. *Food Chem* 156, 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.094>
- Brady, C.J., 1987. Fruit ripening. *Annual Reviews of Plant Fisiology* 38, 155–178.
- Briggs, W.R., Christie, J.M., 2002. Phototropins 1 and 2: versatile plant blue-light receptors, *TRENDS in Plant Science*.
- Briggs, W.R., Huala, E., 1999. Blue-Light Photoreceptors in Higher Plants.
- Camilo, A.P., Denardi, F., 2002. Descrição e comportamento no sul do Brasil, in: *A Cultura Da Macieira*. Epagri, Florianópolis, pp. 113–168.
- Castellano, S., Russo, G., Mugnozza, G.S., 2006. The influence of construction parameters on radiometric performances of agricultural nets. *Acta Hort* 718, 283–290. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.718.32>
- Chaves, I., Pokorny, R., Byrdin, M., Hoang, N., Ritz, T., Brettel, K., Essen, L.O., Van Der Horst, G.T.J., Batschauer, A., Ahmad, M., 2011. The cryptochromes: Blue light photoreceptors in plants and animals. *Annu Rev Plant Biol* 62, 335–364. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042110-103759>
- Cheng, M.-C., Kathare, P.K., Paik, I., Huq, E., 2021. Annual Review of Plant Biology Phytochrome Signaling Networks. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-080620>
- Chitarra, M.I.F., Chitarra, A.B., 1990. Pós-colheita de frutas e hortaliças - fisiologia e manuseio, 1st ed. ESAL/FAEPE, Lavras.
- Clough, R.D., Vierstra, R.D., 1997. Phytochrome degradation. *Plant Cell Environ* 20, 713–721. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-107.x>
- Conab, 2022. Prohort [WWW Document]. URL <http://dw.ceasa.gov.br/>
- FAO, 2023. Crops [WWW Document]. FAOSTAT. URL <http://faostat.fao.org/> (accessed 4.4.23).
- Fioravango, J.C., Girardi, C.L., Czermainski, A.B.C., Silva, G.A. da, Nachtigall, G.R., Oliveira, P.R.D. de, 2010. *Cultura da macieira no Rio Grande do Sul: análise situacional e descrição varietal*, 1st ed. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves.
- Girardi, C.L., Brackmann, A., Parussolo, A., 2004. Colheita e Armazenamento, in: Nachtigall, G.R. (Ed.), *Coleção Frutas Do BRASIL: Maçã - Produção*. Embrapa, Brasília, pp. 148–154.
- Girardi, C.L., Pegoraro, C., Crizel, G., Storch, T.T., Zanus, M.C., 2015. Conservação da Qualidade Pós-colheita de Maçãs. *Embrapa (Circular Técnica)* 114, 1–16.
- Harima, S., Nakano, R., Yamauchi, S., Kitano, Y., Yamamoto, Y., Inaba, A., Kubo, Y., 2003. Extending shelf-life of astringent persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) fruit by 1-MCP. *Postharvest Biol Technol* 29, 319–324. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(03\)00058-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(03)00058-9)
- Hoffman, A., Bernadi, J., 2004. Aspectos Botânicos, in: Nachtigall, G.R. (Ed.), *Coleção Frutas Do BRASIL : Maçã - Produção*. Embrapa, Brasília, pp. 17–24.
- IBGE, 2021. Produção Agrícola Municipal [WWW Document]. URL <https://sidra.ibge.gov.br> (accessed 4.4.23).
- Johnston, J.W., Hewett, E.W., Hertog, M.L.A.T.M., 2002. Postharvest softening of apple (*Malus domestica*) fruit: A review. *N Z J Crop Hortic Sci* 30, 145–160. <https://doi.org/10.1080/01140671.2002.9514210>
- Kendrick, R.E., Kronenberg, G.H.M., 1994. *Photomorphogenesis in Plants*. Academic Publishers, Dordrecht.
- Luchi, V.L., 2002. Botânica e Fisiologia, in: *A Cultura Da Macieira*. Epagri, Florianópolis, pp. 59–102.
- Mupambi, G., Anthony, B.M., Layne, D.R., Musacchi, S., Serra, S., Schmidt, T., Kalcsits, L.A., 2018. The influence of protective netting on tree physiology and fruit quality of apple: A review. *Sci Hortic* 236, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.014>
- Petri, J.L., Leite, G.B., 2008. Macieira. *Rev Bras Frutic* 30, 857–1166. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000400001>
- Petri, J.L., Leite, G.B., Couto, M., Francescato, P., 2011. Avanços na cultura da macieira no Brasil. *Rev Bras Frutic* 33, 48–56. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500007>



- Quail, P.H., 1997. An emerging molecular map of the phytochromes. *Plant Cell Environ* 20, 657–665. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-108.x>
- Racsko, J., Schrader, L.E., 2012. Sunburn of apple fruit: Historical background, recent advances and future perspectives. *CRC Crit Rev Plant Sci* 13, 455–504. <https://doi.org/doi.org/10.1080/07352689.2012.696453>
- Retamales, J., Montecino, J. M., Lobos, G.A., Rojas, L.A., 2008. Coloured shading nets increase yields and profitability of highbush blueberry in Chile. *Acta Horticulture* 770, 193–199.
- Ruban, A. V., 2009. Plants in light. *Commun Integr Biol*. <https://doi.org/10.4161/cib.2.1.7504>
- Salvadori, G., Macaluso, V., Pellicci, G., Cupellini, L., Granucci, G., Mennucci, B., 2022. Protein control of photochemistry and transient intermediates in phytochromes. *Nat Commun* 13. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34640-8>
- Shahak, Y., 2008. Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. *Acta Hort* 770, 161–168. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.770.18>
- Solomakhin, A., Blanke, M., 2010. The microclimate under coloured hailnets affects leaf and fruit temperature, leaf anatomy, vegetative and reproductive growth as well as fruit colouration in apple. *Annals of Applied Biology* 156, 121–136. <https://doi.org/0.1111/j.1744-7348.2009.00372.x>
- Solomakhin, A., Blanke, M., 2007. Coloured hailnets alter light transmission, spectra and phytochrome, as well as vegetative growth, leaf chlorophyll and photosynthesis and reduce flower induction of apple. *Plant Growth Regulators* 56, 2625–2637.
- Souza, E.L. de, Souza, A.L.K. de, Tiecher, A., Girardi, C.L., Nora, L., Silva, J.A. da, Argenta, L.C., Rombaldi, C.V., 2011. Changes in enzymatic activity, accumulation of proteins and softening of persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) flesh as a function of pre-cooling acclimatization. *Sci Hortic* 127, 242–248. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.09.025>
- Sullivan, J.A., Deng, X.W., 2003. From seed to seed: The role of photoreceptors in *Arabidopsis* development. *Dev Biol* 260, 289–297. [https://doi.org/10.1016/S0012-1606\(03\)00212-4](https://doi.org/10.1016/S0012-1606(03)00212-4)
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M., Murphy, A., 2017. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*, 6th ed. Artmed, Porto Alegre.
- Takos, A., Jaffe, F., Jacob, S., Bogs, J., Robinson, S., Walker, A., 2006. Light-induced expression of a MYB gene regulates anthocyanin biosynthesis in red apples. *Plant Physiol* 142, 1216–1232. <https://doi.org/10.1104/pp.106.088104>
- Umanzor, C., Bastias, R.M.B., Wilckens, R., Quezado, C., 2017. Influencia del uso de malla perla y roja en las condiciones micro-climáticas, daño por sol y desarrollo de color de frutos en huertos de manzanas cvs. Gala y Fuji. *Rev Bras Frutic* 39. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017930>
- Valero, D., Serrano, M., 2010. *Postharvest biology and technology for preserving fruit quality*. CRC Press, London.
- Velez-Ramirez, A.I., Van Ieperen, W., Vreugdenhil, D., Millenaar, F.F., 2011. Plants under continuous light. *Trends Plant Sci*. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.02.003>
- Woolf, A.B., 1975. Persimmon (*Diospyros kaki* L.), in: Pantastico, E.B. (Ed.), *Post-Harvest Physiology, Handling and Utilization of Tropical and Subtropical Fruits and Vegetables*. Avi Publishing Company, Inc., Westport, p. 560.
- Yadav, A., Singh, D., Lingwan, M., Yadukrishnan, P., Masakapalli, S.K., Datta, S., 2020. Light signaling and UV-B-mediated plant growth regulation. *J Integr Plant Biol*. <https://doi.org/10.1111/jipb.12932>
- Yin, R., Ulm, R., 2017. How plants cope with UV-B: from perception to response. *Curr Opin Plant Biol*. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.03.013>
- Zardo, D.M., Dantas, A.P., Vanz, R., Wosiacki, G., Nogueira, A., 2009. Intensidade de pigmentação vermelha em maçãs e sua relação com os teores de compostos fenólicos e capacidade antioxidativa. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 29, 148–154. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000100023>

### 3. MUDANÇAS ESTRUTURAIS E FÍSICO-QUÍMICAS NA QUALIDADE DE MAÇÃS PRODUZIDAS SOB TELAS ANTIGRANIZO FOTOSSELETIVAS

#### Resumo

O uso de telas antigranizo fotosseletivas tem sido estudado em pomares de macieira para agregar características cromáticas às malhas e melhorar a qualidade dos frutos. Esse estudo objetivou avaliar os efeitos de diferentes telas antigranizo fotosseletivas na qualidade estrutural da cutícula e epiderme, e metabólicas da maçã. Maçãs 'Fuji Suprema' e 'Galaxy' foram cultivadas sob as telas: amarela, preta, pérola, azul, vermelha, mista (branca com preta) e em pleno sol. A deposição de ceras epicuticulares, espessura da cutícula e epiderme, e as características físico-químicas dos frutos foram avaliadas. Observamos que as telas pérola e vermelha se apresentaram promissoras, mas com efeitos opostos. A tela pérola proporcionou frutos menos maduros, o que pode ser vantajoso na pós-colheita, entretanto a presença de oleosidade na casca é indesejável e pode ser agravada durante o armazenamento. A tela vermelha apresentou frutos mais maduros, com cutícula com melhor recobrimento e mais espessa, semelhantes à área a pleno sol. A tela amarela se mostrou desfavorável à qualidade das maçãs, com presença de oleosidade em muitas regiões da casca. As telas azul, preta e mista apresentaram também presença de oleosidade da casca e cutícula menos espessa. Nosso estudo mostrou bons indicativos de que as telas fotosseletivas podem ser vantajosas em relação às tradicionais.

**Palavras-chave:** *Malus domestica*, qualidade de frutos, cutícula, ceras epicuticulares

#### Abstract

The use of photo-selective anti-hail nets has been studied in apple orchards to add chromatic characteristics to the nets and improve fruit quality. This study aimed to evaluate the effects of different photo-selective anti-hail nets on the structural quality of the cuticle and epidermis, and on apple metabolism. 'Fuji Suprema' and 'Galaxy' apples were grown under anti-hail nets: yellow, black, pearl, blue, red, mixed (white with black) and in full sun. Epicuticular wax deposition, cuticle and epidermis thickness, and physico-chemical characteristics of fruits were evaluated. We observed that the pearl and red screens were promising, but with opposite effects. The pearl screen provided less ripe fruits, which can be advantageous in the post-harvest period, however the presence of skin greasiness is undesirable and can be aggravated during storage. The red net presented more mature fruits, with a better covered and thick cuticle, similar to the full sun area. The yellow net was unfavorable to the quality of the apples, with the presence of greasiness in many regions of the skin. The blue, black and mixed screens also showed the presence of skin greasiness and a less thick cuticle. Our study showed good indications that photo-selective anti-hail nets can be advantageous over traditional ones.

**Keywords:** *Malus domestica*, fruit quality, cuticle, epicuticular waxes

### 3.1. Introdução

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) trata-se de uma importante frutífera de clima temperado, e apresentam alta exigência em frio. No Brasil, a maçã é produzida majoritariamente em regiões de altitude do sul do país devido às baixas temperaturas durante o inverno. No entanto, essas regiões são frequentemente atingidas por granizo. O granizo pode causar ferimentos e deformações nos frutos, que acarretam perda do valor comercial, abortamento floral na primavera, perda da produção e danos estruturais às plantas. Para contornar essas adversidades, são utilizadas telas protetoras antigranizo (Mupambi et al., 2018; Solomakhin e Blanke, 2007a), uma vez que essa tecnologia proporciona ganhos de produtividade e qualidade dos frutos, apesar do custo elevado de implantação (Amarante et al., 2011).

As telas antigranizo são produzidas a partir de malhas finas de polietileno com resistência mecânica ao impacto do granizo e proteção ultravioleta (Tassara e Battaglia, 1992). Por alterar a radiação que incide sobre o pomar, as telas antigranizo modificam também o microclima no seu interior, o que influencia as respostas fisiológicas das plantas (Green et al., 2003; Solomakhin e Blanke, 2007a). Além da função protetora, as telas também impedem que a radiação solar excessiva cause danos à cultura, atuam contra ventos, pragas e, em alguns casos, contra doenças, e podem ainda causar efeitos fisiológicos positivos que levem ao aumento do rendimento do pomar (Aoun e Manja, 2020).

As telas de proteção amplamente estudadas e tradicionalmente utilizadas são a preta e a branca. A incorporação de elementos cromáticos às malhas têm sido recentemente estudada com o intuito de alterar o comprimento de onda e da luz irrsdiada, e assim modificar o espectro de radiação de luz que atravessa a tela e incide sobre as plantas (Aoun e Manja, 2020; Basile et al., 2008; Shahak, 2008). Telas fotosseletivas modificam a composição da luz nos espectros do vermelho (600 a 700 nm), vermelho distante (700 a 800 nm) e azul (400 a 500 nm) de forma a modular diferentes respostas na planta relacionadas à quantidade e qualidade da luz (Baraldi et al., 1994), tais como tamanho da planta e do fruto, taxa fotossintética, biossíntese de fotoassimilados, partição de carboidratos e condutância estomática (Bastías et al., 2012; Iglesias e Alegre, 2006).

Apesar de muitos estudos ainda em progresso, já foi demonstrado que o uso de diversas telas fotosseletivas altera o desenvolvimento da macieira e até mesmo a sua anatomia foliar (Bastías et al., 2011; Lee et al., 2000; Solomakhin e Blanke, 2010; Stroka et al., 2021). Muitas dessas telas se encontram disponíveis no mercado, entretanto sua utilização é mais

comum como cobertura de casas de vegetação (Brant et al., 2011; Kong et al., 2012; Oren-Shamir et al., 2001; Selahle et al., 2015), uma vez que seu uso como tela antigranizo ainda é incipiente no mercado brasileiro. Alguns autores observaram os efeitos das telas em espécies frutíferas, sobretudo na coloração da casca dos frutos (Fruk et al., 2016; Jakopic et al., 2007; Tinyane et al., 2013; Vuković et al., 2020), entretanto, ainda há poucos resultados relacionados aos efeitos das telas fotosselativas sobre a fisiologia dos frutos, e recobrimento da cutícula, que sofrem influência da radiação solar. Neste estudo, objetivamos avaliar os efeitos de diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas nas características estruturais e fisiológicas de maçãs ‘Fuji Suprema’ e ‘Galaxy’.

## **3.2. Material e Métodos**

### **3.2.1. Material e condução experimental**

Neste estudo foram utilizadas maçãs ‘Fuji Suprema’ e ‘Galaxy’ cultivadas em pomar comercial localizado no município de Monte Alegre dos Campos, RS (28° 40' 33" S, 50° 47' 42" O, 945 m de altitude e topografia plana). Maçãs ‘Fuji Suprema’ foram colhidas 236 dias após a plena floração, em estádio de maturação comercial durante a safra 2021/2022, ao passo que as maçãs ‘Galaxy’ foram colhidas 131 dias após a plena floração, também no estádio de maturação comercial e durante a safra 2020/2021.

As plantas de ambas as cultivares foram enxertadas sobre o porta enxerto ‘M9’, conduzidas em sistema de líder central e manejadas de acordo com as recomendações para o sistema de produção da macieira no Sul do Brasil. O pomar foi implantado em 2013 com espaçamento de 3,70 m entre linhas e 0,80 m entre as plantas de ‘Fuji Suprema’ e 3,70 m x 0,60 m entre as plantas de ‘Galaxy’. As telas foram implantadas em 2016. Os tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a região.

Os tratamentos consistiram em seis telas antigranizo com colorações distintas, ChromatiNet® Leno amarela; Leno preta, ChromatiNet® Leno pérola; ChromatiNet® Leno azul, ChromatiNet® Leno vermelha e tela mista (50% com filamentos de polietileno branco e 50% na coloração preta) e um tratamento controle sem tela antigranizo (pleno sol) (Apêndice A). Todas as telas são de monofilamento de polietileno, com 18% de sombreamento e malha de 5,30 mm x 2,10 mm. As telas foram instaladas no sentido norte-sul, em fileiras de 30 m, com dois conjuntos de tela com largura para cobertura total das linhas ( $\geq 37,5$  m). As plantas permaneceram cobertas durante todo o desenvolvimento. Um total de 315 frutos foi colhido

de cada cultivar. Os frutos foram avaliados no momento da colheita quanto à deposição de ceras, espessura de cutícula e de epiderme, e quanto às características físicas e químicas de qualidade.

### **3.2.2. Deposição de ceras**

A deposição das ceras foi observada através de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Para isso, foram retiradas finas porções da região equatorial da epiderme dos frutos, fixadas em lâminas histológicas com fita adesiva nas extremidades, e colocadas em um dessecador com sílica gel até a desidratação total. Após a desidratação das porções de epiderme, foram retirados fragmentos (0,2 x 0,2 mm) para fixação em suportes de alumínio e cobertura com ouro (Castro et al., 2002), utilizando metalizador (MED 010, Balzers, Balzers, Liechtenstein). As análises e as eletromicrografias foram realizadas em microscópio eletrônico de varredura (JSM-IT300LV, JEOL, Akishima, Japão) operado a 20 kV com escalas das eletromicrografias diretamente impressas nas mesmas.

### **3.2.3. Espessura de cutícula e epiderme**

Para a análise da espessura de cutícula e epiderme, foram coletadas amostras na região equatorial das maçãs e fixadas em solução de Karnovsky (Karnovsky, 1965) modificado com tampão fosfato pH 7,2. Para melhor fixação, as amostras foram colocadas em bomba de vácuo para a retirada do ar dos espaços intercelulares e então desidratadas em série etílica (10, 30, 50, 60, 70, 80, 90 e 100%) e incorporadas em resina Leica historesin® (Heraeus Kulzer GmbH e Co. KG, Hanau, Wehrheim, Alemanha). Seções seriais (5-7 µm de espessura) foram cortadas em um micrótomo rotativo (RM 2045, Leica Biosystems, Heidelberg, Alemanha) e coradas com o Sudan IV para detectar as substâncias lipofílicas (Jensen, 1962). As imagens foram capturadas digitalmente através de um microscópio (DM LB, Leica Biosystems, Wetzlar, Alemanha) com uma câmera Leica DC 300 conectada a um computador, usando o software de análise de imagem LAS 4.0 (Leica Biosystems, Wetzlar, Alemanha). Para quantificação da espessura da cutícula e epiderme, foram realizadas cinco imagens por amostra, com cinco medições em cada imagem, totalizando 300 medições por tratamento. As imagens capturadas das áreas cuticulares foram medidas usando o Software Image J®

(Wayne Rasband do National Institutes of Health, Bethesda, EUA) e os resultados expressos em  $\mu\text{m}$ .

#### 3.2.4. Análises físicas e químicas

A coloração de fundo e cobrimento da casca dos frutos foi realizada com um colorímetro digital (Konica Minolta Inc., Chiyoda, Tóquio, Japão) modelo CR-400 (espaço de cor CIELAB). Os resultados foram expressos utilizando os parâmetros  $L^*$  (luminosidade, preto ao branco, com variação entre 0 e +100),  $C^*$  (cromaticidade, saturação da cor), ângulo Hue ( $0^\circ$  a  $360^\circ$ ) e índice de cor (IC). O IC foi calculado conforme Tessmer et al. (2016) e Tezotto-Uliana et al. (2013) para frutos vermelhos:

$$IC = ((1000 \times a^*) / (L^* \times b^*))$$

A firmeza dos frutos foi determinada em dois lados opostos da região equatorial dos frutos, após retirada da casca, com auxílio de penetrômetro digital (Fruit Texture Analyser, Güss Manufacturing Ltd., Strand, África do Sul) equipado com ponteira de 11 mm, e os resultados expressos em Newtons (N). O teor de sólidos solúveis (SS) foi quantificado em refratômetro digital (HI 96801, Hanna Instruments, Woonsocket, EUA), com os resultados expressos em  $^\circ\text{Brix}$ . A acidez titulável (AT) foi realizada através de titulometria de neutralização em pHmetro (FTP 905, Marconi Equipamentos para Laboratório Ltda., Piracicaba, Brasil), e os resultados expressos em % ácido málico.

O índice de regressão do amido (IRA) foi determinado segundo o método proposto por Werner (1989). Os frutos foram cortados transversalmente, na região equatorial, e a parte peduncular imersa em solução de iodo metálico e iodeto de potássio. Após 10 minutos a coloração do amido foi registrada e pontuada em uma escala de 1 a 5: 1 = frutos totalmente verdes (baixa degradação do amido) e 5 = frutos com alto grau de maturação (alta degradação do amido). A cor da semente foi definida segundo escala de 1 a 4: 1 = sementes imaturas (creme) e 4 = sementes maduras (marrom).

A quantificação de clorofilas a, b, totais e carotenoides totais foi realizada conforme metodologia adaptada de Hiscox e Israelstam (1979). Uma amostra de 500 mg de casca fresca foi adicionada a 5 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) e incubada em temperatura ambiente ( $25 \pm 5^\circ\text{C}$ ) durante 48 horas ao abrigo da luz. Após, os tubos foram centrifugados por 2 minutos a 600 rpm e o sobrenadante foi coletado para realização das medições por meio de espectrofotômetro (V-M5, BEL Engineering®, Monza, Itália) nos comprimentos de onda de 665, 649 e 455 nm para determinação das clorofilas a, b e carotenoides, respectivamente. A

quantificação foi realizada pelas equações propostas por Wellburn (1994) e os resultados expressos em gramas por quilogramas de massa fresca ( $\text{g Kg}^{-1}$  MF):

$$\text{Clorofila a} = \{[(12.9 * A665 - 3.45 * A649) * \text{fator de diluição}] / 1.1\} / 1000\}$$

$$\text{Clorofila b} = \{[(21.99 * A649 - 5.32 * A655) * \text{fator de diluição}] / 1.1\} / 1000\}$$

$$\text{Clorofilas totais} = \text{clorofila a} + \text{clorofila b}$$

$$\text{Carotenoides totais} = \{[(1000 * A455 - 2.14 * \text{clorofila a} - 70.16 * \text{clorofila b}) / 220] * \text{fator de diluição}\} / 1.1\} / 1000$$

Os teores de antocianinas e flavonoides totais foram mensurados segundo metodologia adaptada de Lees e Francis (1972) e Siegelman e Hendricks (1958). Para tal, 50 mg de casca liofilizada foram homogeneizadas em 10 mL de solução 1% HCl + Metanol 80% e incubados a 4°C durante 12 horas. Após, as amostras foram centrifugadas durante 10 minutos a 10000 rpm e 4 °C. Uma alíquota do sobrenadante foi retirada para a leitura da absorbância em espectrofotômetro (V-M5, BEL Engineering®, Monza, Itália) a 530 e 350 nm para antocianinas e flavonoides, respectivamente. Os resultados foram expressos em gramas antocianinas totais ou flavonoides totais por quilograma de massa seca ( $\text{g Kg}^{-1}$  MS) através das equações:

$$\text{Antocianinas totais} = (A530 * \text{fator de diluição}) / 98,2$$

$$\text{Flavonoides totais} = (A350 * \text{fator de diluição}) / 76,5$$

O teor de compostos fenólicos totais foi determinado usando o reativo de Folin-Ciocalteu, conforme metodologia de Singleton e Rossi (1965), com modificações. Os extratos foram obtidos a partir de 500 mg de amostra de polpa fresca, com adição de 10 mL de metanol 80 %, e armazenados em temperatura ambiente ( $25 \pm 5$  °C), protegidas de luz, durante 1 hora. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas (BR4i, Jouan, Paris, França), sob refrigeração (4 °C) a 10.000 rpm durante 20 minutos, e o sobrenadante coletado constituiu o extrato fenólico. Em tubos de ensaio, foram adicionados 0,2 mL de extrato, 1,5 mL de água destilada e 0,1 mL de reagente Follin-Ciocalteu e, após 5 minutos, 0,2 mL de carbonato de cálcio de 20%. A reação foi então incubada ao abrigo da luz durante 1 hora e, em seguida, foram realizadas as leituras espectrofotométricas a 765 nm (V-M5, BEL Engineering®, Monza, Itália). Os resultados foram expressos em gramas de equivalente de ácido gálico (padrão) por quilograma de massa fresca ( $\text{g EAG Kg}^{-1}$  MF).

A atividade antioxidante foi determinada pelos métodos de redução do radical ABTS (2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina) 6-ácido sulfônico) e DPPH (2,2-Difenil-1-picril-hidrazil), a partir dos extratos obtidos para análise do teor de compostos fenólicos totais. A atividade antioxidante pela redução do radical ABTS foi realizada segundo Re et al. (1999),

onde 3 mL do radical ABTS foram adicionados em 30 µL de extrato, homogeneizados e mantidos ao abrigo de luz durante 6 minutos. Após, a absorbância foi medida em espectrofotômetro (V-M5, BEL Engineering®, Monza, Itália) a 734 nm. Os resultados foram expressos em porcentagem (%) de sequestro do radical ABTS (% inibição ABTS), de acordo com a fórmula:

$$\% \text{ Inibição ABTS} = \left( \frac{A_{\text{branco}} - A_{734}}{A_{\text{branco}}} \right) \times 100$$

A atividade antioxidante baseada na redução do radical DPPH foi determinada de acordo com Mensor et al. (2001). Em tubo de ensaio, foram pipetados 0,5 mL de extrato, 3,0 mL de etanol PA. e 0,3 mL de solução DPPH 0,5 mM em etanol. A reação foi homogeneizada e deixada em repouso por 45 min, ao abrigo da luz. Em seguida, a absorbância foi medida em espectrofotômetro (V-M5, BEL Engineering®, Monza, Itália) a 517 nm. Para o cálculo da porcentagem da atividade antioxidante foram realizadas leituras do branco (0,5 mL de extrato, 3,0 mL de etanol e 0,3 mL de metanol 80%) e do controle negativo – CN (0,5 mL de metanol 80%, 3,0 mL de etanol e 0,3 mL da solução DPPH 0,5 mM). Os resultados foram expressos em porcentagem (%) de sequestro do radical DPPH (% inibição DPH), de acordo com a seguinte fórmula:

$$\% \text{ Inibição DPPH} = 100 - \left[ \left( \frac{A_{517} - A_{\text{branco}}}{A_{\text{CN}}} \right) \times 100 \right]$$

### 3.2.5. Delineamento experimental e análise dos resultado

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC), com 3 blocos compostos por 15 frutos cada para o conjunto das avaliações físicas e químicas. Para as análises anatômicas, foram utilizados 4 frutos de cada bloco, totalizando 12 frutos por tratamento.

#### 3.2.5.1. Análise estatística multivariada supervisionada

Com o objetivo de discriminar as amostras de acordo com as diferentes telas antigranizo fotosselativas (para cada uma das cultivares) foi desenvolvida a modelagem multivariada supervisionada por Análise Discriminante por Mínimos Quadrados Parciais (*Partial Least Squares Discriminant Analysis* - PLS-DA) considerando suas características físicas e químicas. A modelagem por fusão de dados foi aplicada para evidenciar as correlações entre os diferentes conjuntos de dados (físicos e químicos). Adicionalmente, a ortogonalização dos dados (*Orthogonal Projections to Latent Structures Discriminant*



*Analysis - O-PLS-DA*) foi usada como um filtro matemático para remover a variância que não estivesse correlacionada aos grupos amostrais; e a análise por Importância das Variáveis na Projeção (*Variables Importance for Projection - VIP*) foi desenvolvida para evidenciar as variáveis mais relevantes para discriminar os grupos amostrais. O número de variáveis latentes (*Latent Variables - LV*) para cada modelagem foi selecionado conforme os parâmetros descritos na Tabela 1. O software utilizado foi o PLS-Toolbox (versão 8.6.2, Eigenvector Research Incorporated, Manson, USA, 2018).

#### 3.2.5.2. Análise estatística univariada

A análise estatística univariada para os resultados de espessura de cutícula e epiderme foi realizada utilizando o programa RStudio (versão 3.5.0, Posit, Boston, MA, EUA). Os resultados de espessura de cutícula e epiderme foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguida pelo teste de comparação de médias Scott-Knott a 5% de probabilidade ( $p \geq 0,05$ ).

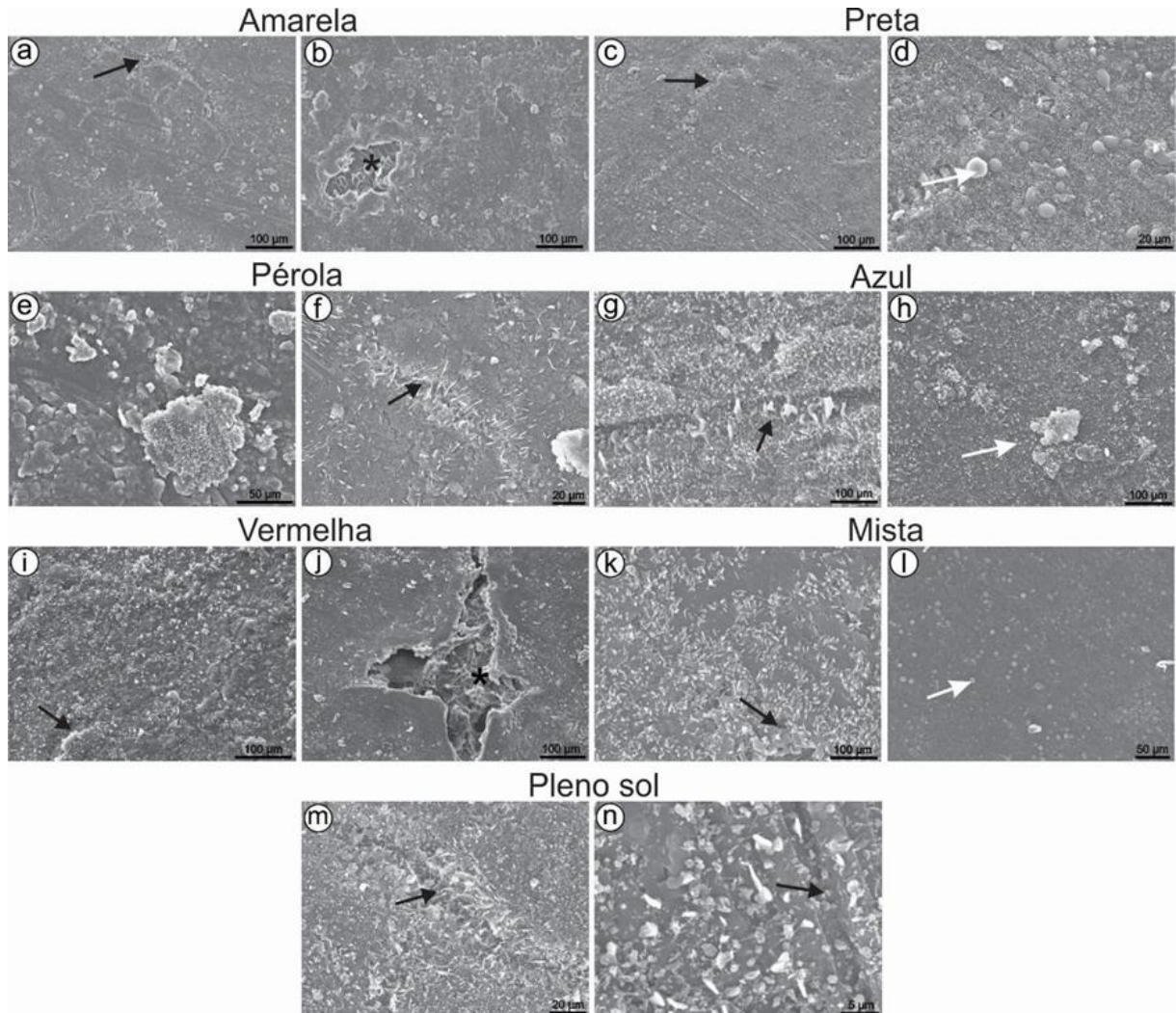
Para o conjunto de dados físicos e químicos, a ANOVA foi realizada para certificar a significância da variação apenas das variáveis destacadas pela análise por VIP de cada cultivar ( $L^*$  e  $C^*$  da cor de fundo da casca, hue da cor de cobrimento da casca, capacidade antioxidante por DPPH e ABTS e teor de antocianinas totais para as maçãs ‘Fuji Suprema’ conforme mostra a Figura 6c, e SS, AT, cor da semente, capacidade antioxidante por DPPH e ABTS, teor de clorofila a, b e totais e teor de flavonoides totais para as maçãs ‘Galaxy’ conforme demonstrado na Figura 7c. Os dados foram submetidos ao Teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ) para comparação das médias entre os diferentes tratamentos. Todos os gráficos foram desenvolvidos utilizando o software Origin™ 9.3 (OriginLab, Northampton, MA, EUA).

### 3.3. Resultados

#### 3.3.1. Caracterização da deposição de ceras epicuticulares, espessura de cutícula e epiderme

Um padrão de surgimento de fissuras ao longo de toda a casca pôde ser observado tanto nas maçãs ‘Fuji Suprema’ (Figura 3 a-n), quanto nas ‘Galaxy’ (Figura 4 a-n), sob

cultivo em todas as cores de telas e sem tela. Também ocorreu um processo de reparo em grande parte dessas fissuras (Figura 3 f-m; Figura 2h).

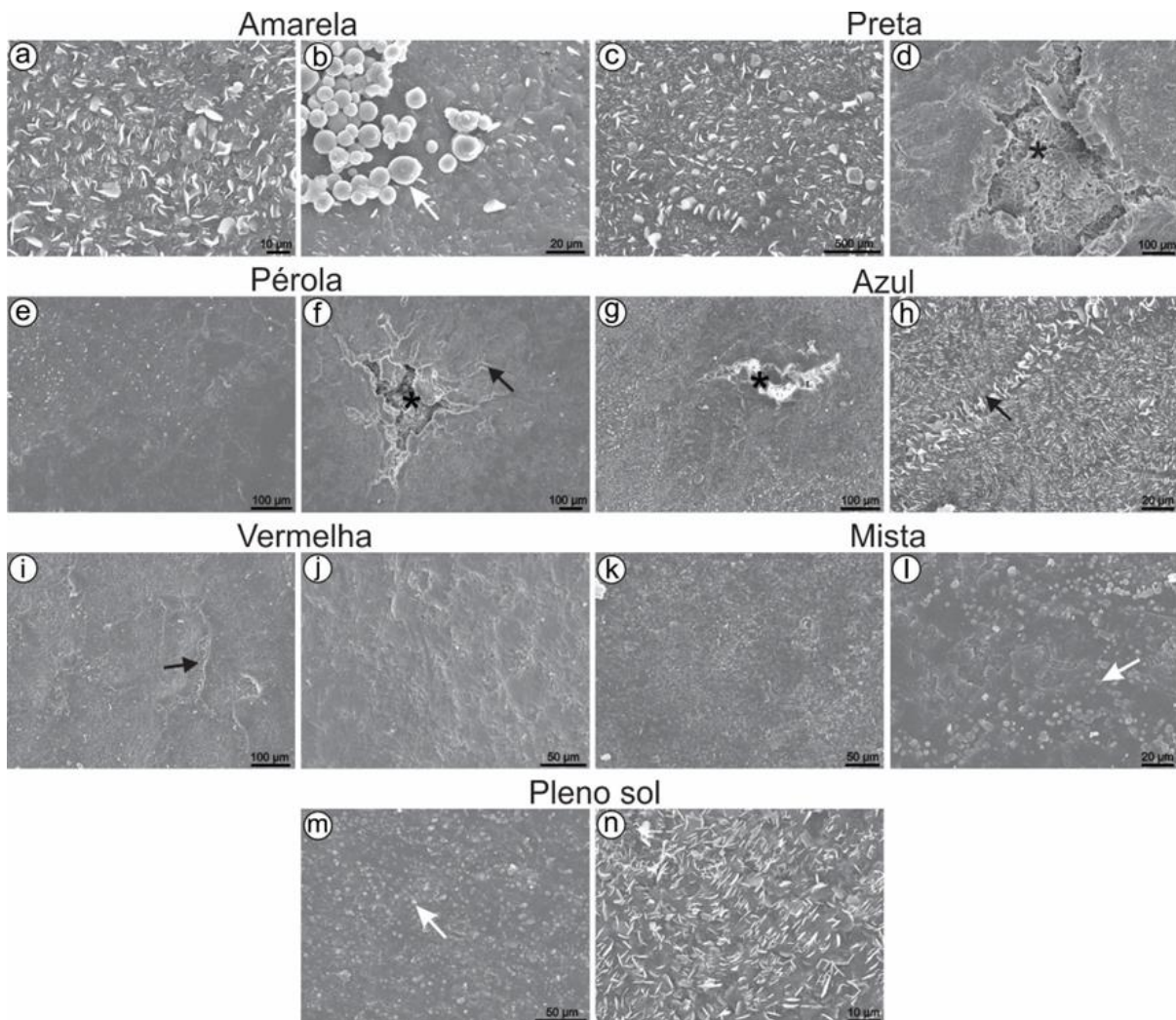


**Figura 3.** Micrografias eletrônicas de varredura (MEV) da cutícula de maçãs ‘Fuji Suprema’ cultivadas sob telas fotosselativas nas cores amarela (a-b), preta (c-d), pérola (e-f), azul (g-h), vermelha (i-j), mista (k-l) e sob pleno sol (m-n). Asterisco = lenticela, seta preta = microfissura e seta branca = glóbulos.

Padrões diferentes de cera foram observados entre os tratamentos para ambas as cultivares. Em maçãs ‘Fuji Suprema’ cultivadas sob tela de malha amarela (Figura 3 a-b), foram observadas regiões com oleosidade, alternadas com alguns grânulos, conforme a classificação de Barthlott et al. (1998), e presença de fissuras abertas. Já nas maçãs sob tela de malha preta (Figura 3 c-d) observou-se a presença, em sua maioria, de glóbulos e plaquetas de cera com arranjo em rosetas segundo a classificação de Barthlott et al. (1998), com algumas fissuras em processo de reparo. As malhas pérola (Figura 3 e-f) e azul (Figura 3 g-h)

evidenciaram vários grânulos de cera cobertos por rosetas e finas plaquetas inteiras (classificação de Barthlott et al. (1998), além da presença de fissuras reparadas por plaquetas. O emprego da malha vermelha (Figura 3 i-j) resultou em maçãs com presença de rosetas, alternadas com alguns poucos grânulos. Nas maçãs sob tela mista (Figura 3 k-l) foram observadas regiões com glóbulos de cera alternadas com outras cobertas por rosetas e plaquetas irregulares e fissuras. A área de pleno sol (Figura 3 m-n) evidenciou frutos com plaquetas irregulares e alguns grânulos, além da presença de fissuras já reparadas.

Nas maçãs ‘Galaxy’ (Figura 4) foram observados alguns padrões distintos e outros semelhantes ao observado nas maçãs ‘Fuji Suprema’. Ao contrário do observado em ‘Fuji Suprema’, maçãs ‘Galaxy’ não apresentaram plaquetas de cera epicuticulares arranjadas em rosetas.



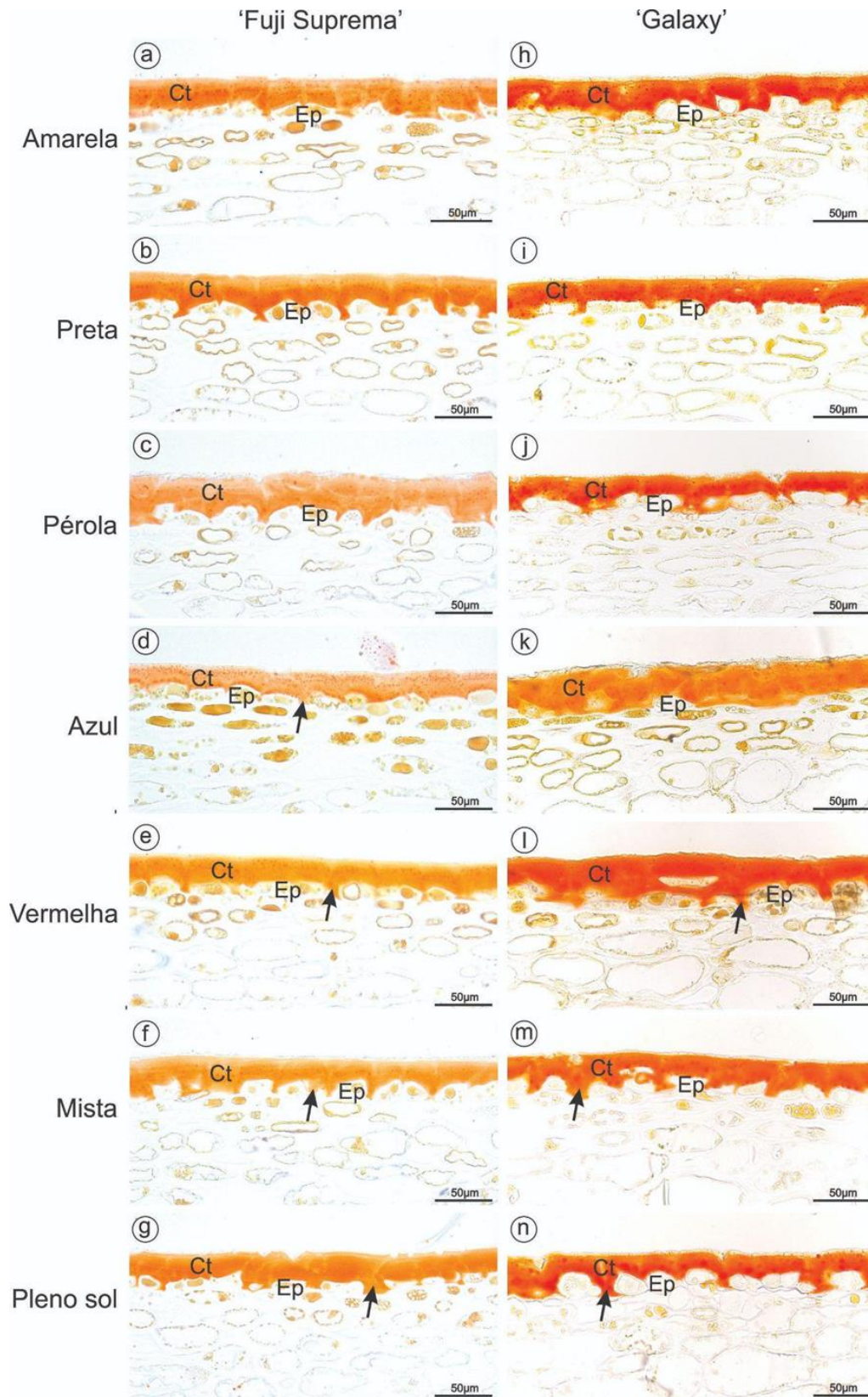
**Figura 4.** Micrografias eletrônicas de varredura (MEV) da cutícula de maçãs ‘Galaxy’ cultivadas sob telas fotosselativas nas cores amarela (a-b), preta (c-d), pérola (e-f), azul (g-h), vermelha (i-j), mista (k-l) e sob pleno sol (m-n). Asterisco = lenticela, seta preta = microfissura e seta branca = glóbulos.

Foi observado nas maçãs ‘Galaxy’ cultivadas sob malha amarela a presença de placas, conforme indicado pela classificação de Barthlott et al. (1998). Assim como observado em maçãs ‘Fuji Suprema’, essas placas se encontravam em um processo de transformação, conferindo um aspecto oleoso à casca. Também observamos a presença de glóbulos acompanhados de regiões com oleosidade e muitas fissuras. As maçãs sob tela preta (Figura 4 c-d) apresentaram cutícula recoberta por muitas plaquetas e fissuras em processo de reparo. A malha pérola (Figura 4 e-f) evidenciou frutos com superfície de cutícula mais lisa, em grande parte recoberta por oleosidade e algumas poucas plaquetas presentes. As maçãs ‘Galaxy’ sob tela azul (Figura 4 g-h) exibiram alta densidade de plaquetas e fissuras reparadas. Em tela vermelha (Figura 4 i-j), a cutícula das maçãs apresentou muitas fissuras e grânulos dispersos, com áreas oleosas próximas às fissuras. Sob a tela mista, as maçãs (Figura 4 k-l) apresentaram presença de fissuras e regiões com oleosidade, alternadas com plaquetas e glóbulos. Por fim, a área sob pleno sol mostrou frutos com a cutícula recoberta por alta densidade de glóbulos e placas, além de fissuras reparadas (Figura 4 m-n).

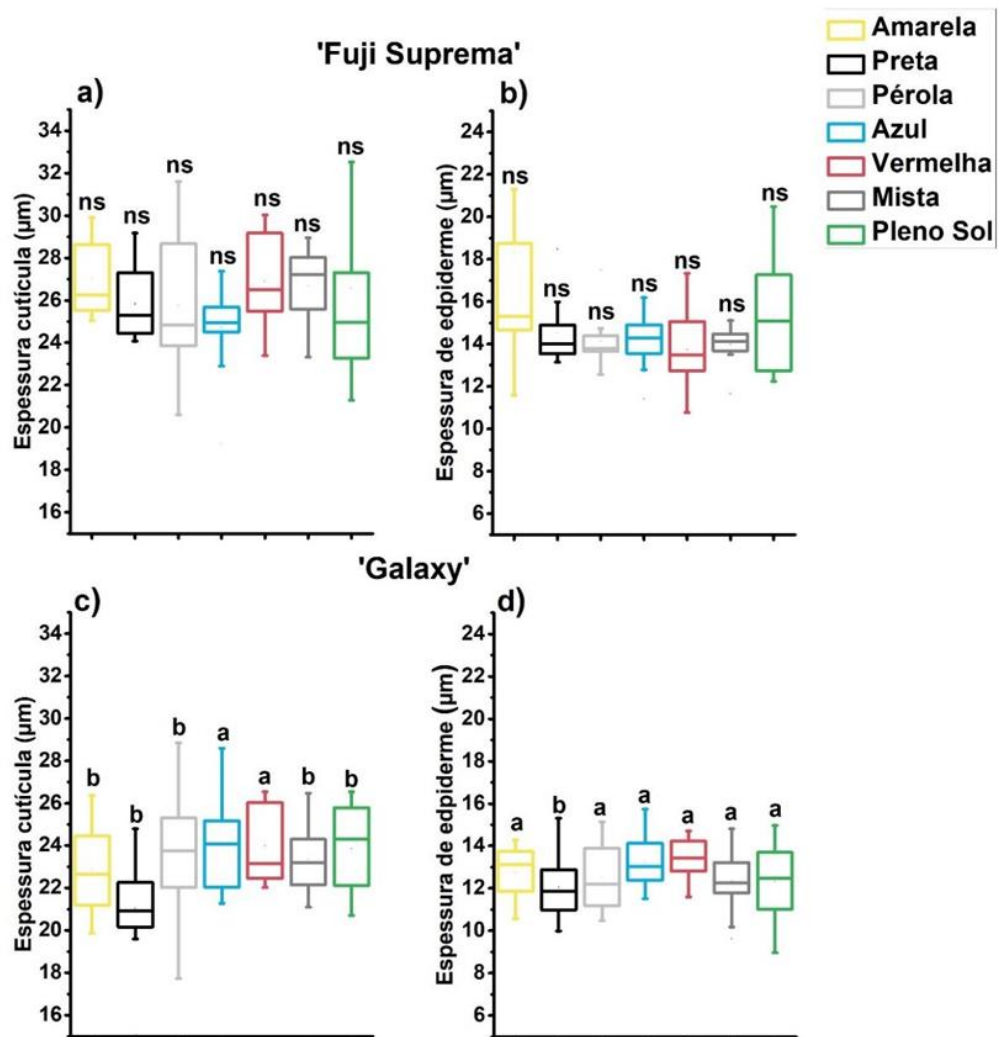
As seções transversais observadas por microscopia de luz em maçãs ‘Fuji Suprema’ e ‘Galaxy’ (Figura 5) mostraram epiderme unisseriada. As células são retangulares, maiores radialmente do que tangencialmente, além de cutícula espessa com formação de flanges cuticulares ao longo de sua extensão.

As maçãs ‘Fuji Suprema’ apresentaram espessura média de cutícula entre 26 e 27  $\mu\text{m}$  (Figura 6 a) e de epiderme entre 15 e 19  $\mu\text{m}$  (Figura 6 b). Não foi observado efeito das telas sobre a espessura tanto da cutícula, quanto da epiderme, apesar da alta variabilidade dos dados na maioria dos tratamentos.

Já nas maçãs ‘Galaxy’, a espessura média da cutícula ficou entre 22 e 24  $\mu\text{m}$  (Figura 6 c) e de epiderme entre 12 e 14  $\mu\text{m}$  (Figura 6 d), havendo diferença estatística entre as telas. A cutícula das maçãs sob tela azul e vermelha foi mais espessa em relação às demais, com médias em 24,07  $\mu\text{m}$  e 23,98  $\mu\text{m}$ , respectivamente, ao passo que a epiderme dos frutos produzidos sob a tela preta foi menos espessa.



**Figura 5.** Fotomicrografias das seções transversais da casca de maçãs para caracterização da cutícula e epiderme. Teste de substâncias lipofílicas com Sudan IV positivo. Maçãs ‘Fuji Suprema’ sob tela fotoseletiva a) amarela; b) preta; c) pérola; d) azul; e) vermelha; f) mista e g) a pleno sol; e maçãs ‘Galaxy’ sob tela fotoseletiva h) amarela; i) preta; j) pérola; k) azul; l) vermelha; m) mista e n) pleno sol. Ct: cutícula, Ep: epiderme, seta: flanges.

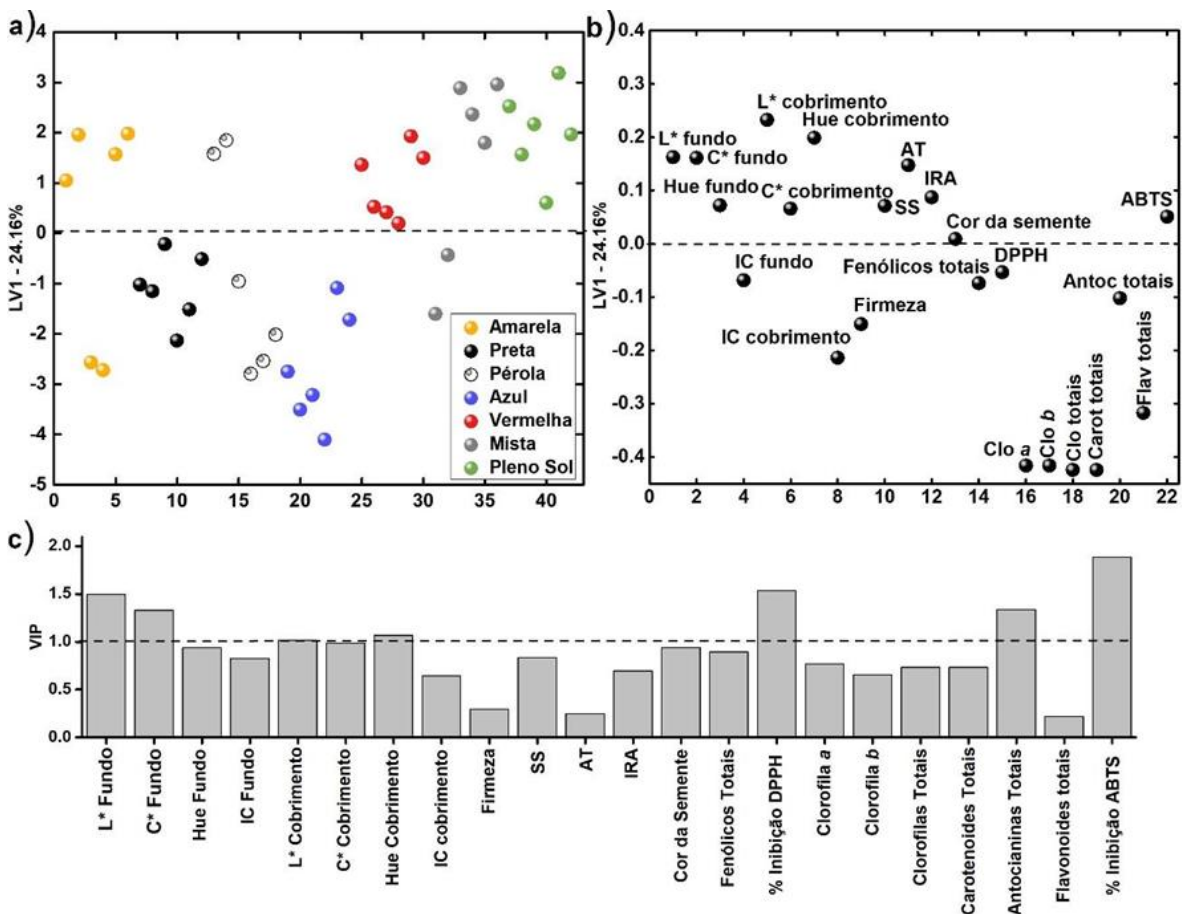


**Figura 6.** a, b) Espessura da cutícula e da epiderme ( $\mu\text{m}$ ) de maçãs 'Fuji Suprema'; c, d) e de maçãs 'Galaxy', cultivadas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey 5% ( $p < 0,05$ ). ns: não significativo pela análise de variância.

### 3.3.2. Análise multivariada supervisionada do conjunto de dados físico-químicos

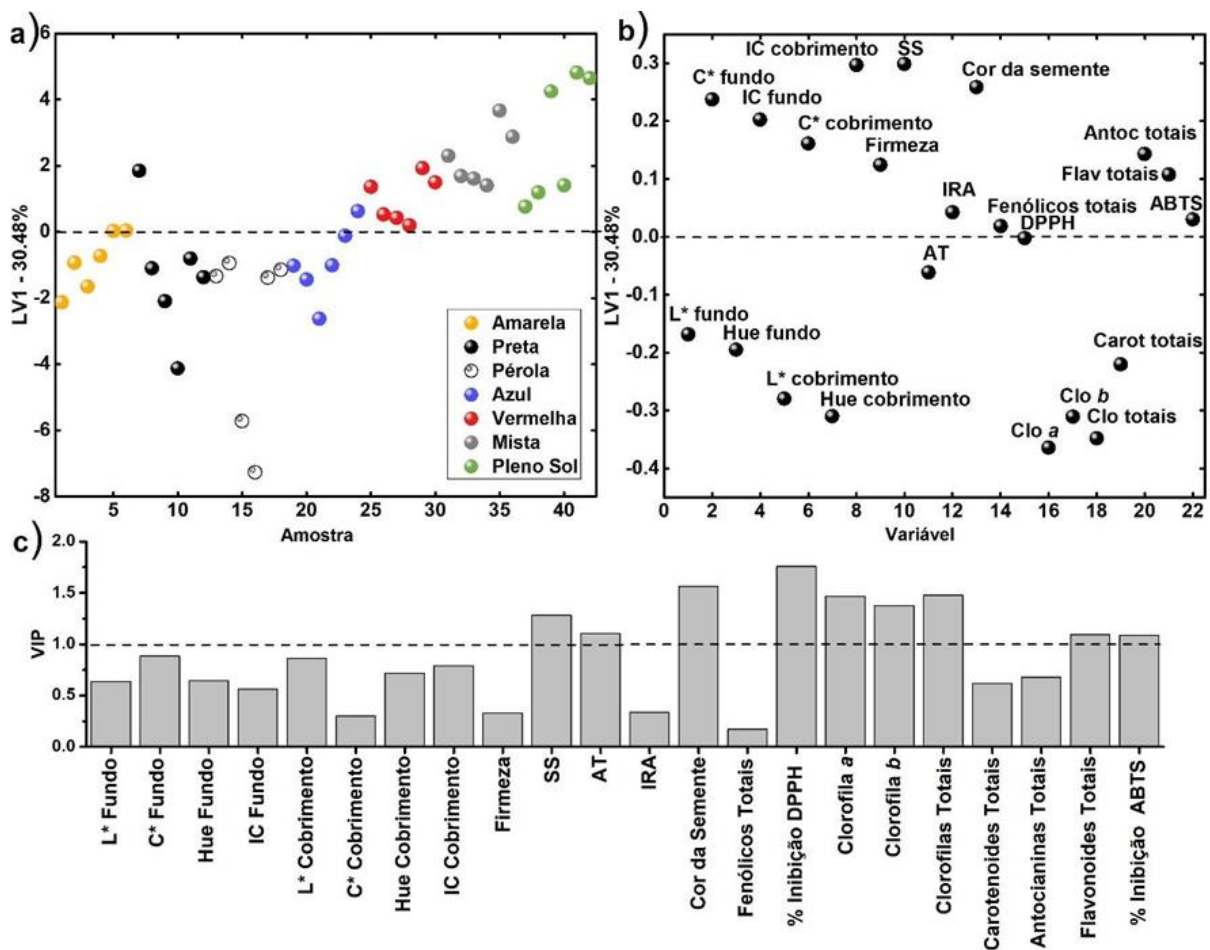
Devido à complexidade da matriz de dados físicos e químicos (22 variáveis x 7 tratamentos), uma análise multivariada supervisionada por O-PLS-DA foi realizada para cada uma das duas cultivares, a fim de explorar a variabilidade dos dados e obter as variáveis que se destacaram em relação aos tratamentos. As Figuras 7a-b e 8a-b ilustram os gráficos de scores e loadings em LV1 dos tratamentos para as cultivares 'Fuji Suprema' e 'Galaxy', respectivamente, e as Figuras 7c e 8c ilustram as variáveis mais relevantes para a discriminação das amostras obtidas pela análise VIP (valores acima de 1). Os parâmetros estatísticos descritos na Tabela 1 mostram melhor ajuste do modelo obtido para a cv. Galaxy.

Em maçãs ‘Fuji Suprema’ os resultados dos *scores* e loadings em relação a LV1 mostraram tendências de separação das amostras com 24,16% da variância total (Figura 7a-b). Tanto o tratamento com tela vermelha quanto o pleno sol influenciaram altos valores das variáveis L\*, C\* e ângulo Hue da cor de fundo e de cobrimento da casca, AT, IRA, sólidos solúveis e capacidade antioxidante por ABTS. O cultivo sem tela (pleno sol) mostrou maior influência sobre esses atributos por apresentar maiores *scores*. Já as telas preta e azul foram correlacionadas positivamente com as variáveis de IC de fundo e de cobrimento da casca, firmeza de polpa, compostos fenólicos, antocianinas e flavonoides totais, atividade antioxidante por DPPH, clorofilas a, b e totais, e carotenoides totais. A tela azul foi a que mostrou maior influência sobre esses atributos.



**Figura 7.** O-PLS-DA resultante da avaliação por fusão de dados das variáveis de cor de fundo e de cobrimento (L\*, C\*, Hue e IC) da casca, firmeza da polpa (N), teor de sólidos solúveis (°Brix), acidez titulável (% ácido málico), índice de regressão do amido (%) cor da semente, teor de compostos fenólicos totais (g EAG Kg<sup>-1</sup> MF), % de inibição DPPH, teor de clorofila a, b, totais e carotenoides totais (g Kg<sup>-1</sup> FW), antocianinas e flavonoides totais (g Kg<sup>-1</sup> MS) e % de inibição ABTS de maçãs ‘Fuji Suprema’ cultivadas sob diferentes cores de telas antigranizo fofosseletivas. a) *scores* em LV1, b) loadings em LV1 e c) *loadings* mais relevantes para a discriminação das amostras obtidos pela análise VIP. SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável, IRA: índice de regressão do amido; Clo: clorofila, Carot: carotenoides, Antoc: antocianinas; Flav: flavonoides.

Em maçãs ‘Galaxy’, os *scores* e *loadings* representaram 30,48% da variância total em LV1 (Figura 8a-b), também com tendência de separação. As telas vermelha e mista, juntamente com o controle (pleno sol), influenciaram altos valores de C\* e IC de fundo e de cobrimento da casca, firmeza de polpa, SS, IRA, compostos fenólicos, antocianinas e flavonoides totais, atividade antioxidante por ABTS e cor da semente. Por outro lado, as telas amarela e pérola influenciaram maiores valores médios de L\* e Hue da cor de fundo e cobrimento da casca, AT, clorofilas a, b e totais, e carotenoides totais. As telas pérola, mista e o controle em pleno sol apresentaram *scores* mais distantes da média, mostrando maior influência sobre os atributos correlacionados.



**Figura 8.** O-PLS-DA resultante da avaliação por fusão de dados das variáveis de coloração de fundo e cobrimento ( $L^*$ ,  $C^*$ , Hue e IC) da casca, firmeza da polpa (N), teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}$ Brix), acidez titulável (% ácido málico), índice de retenção do amido (%) cor da semente, teor de compostos fenólicos totais ( $\text{g EAG Kg}^{-1}$  FW), % de inibição DPPH, teor de clorofila a, b, totais e carotenoides totais ( $\text{g Kg}^{-1}$  FW), antocianinas e flavonoides totais ( $\text{g Kg}^{-1}$  MS) e % de inibição ABTS de maçãs ‘Galaxy’ cultivadas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas. a) *scores* em LV1, b) *loadings* em LV1 e c) *loadings* mais relevantes para a discriminação das amostras obtidos pela análise VIP. SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável, IRA: índice de retenção e amido; Clo: clorofila, Carot: carotenoides, Antoc: antocianinas; Flav: flavonoides.



**Tabela 1.** Parâmetros estatísticos obtidos pela modelagem por O-PLS-DA de maçãs ‘Galaxy’ e ‘Fuji Suprema’ cultivadas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas.

Parâmetros	‘Fuji Suprema’	‘Galaxy’
Número de LVs	3	2
Variância capturada (%) <sup>a</sup>	52,69	41,49
RMSEC <sup>b</sup>	0,33	0,33
RMSECV <sup>c</sup>	3,73	0,35
Bias <sup>d</sup>	2,61 <sup>-15</sup>	3,33 <sup>-16</sup>
CV Bias <sup>e</sup>	0,58	0,01

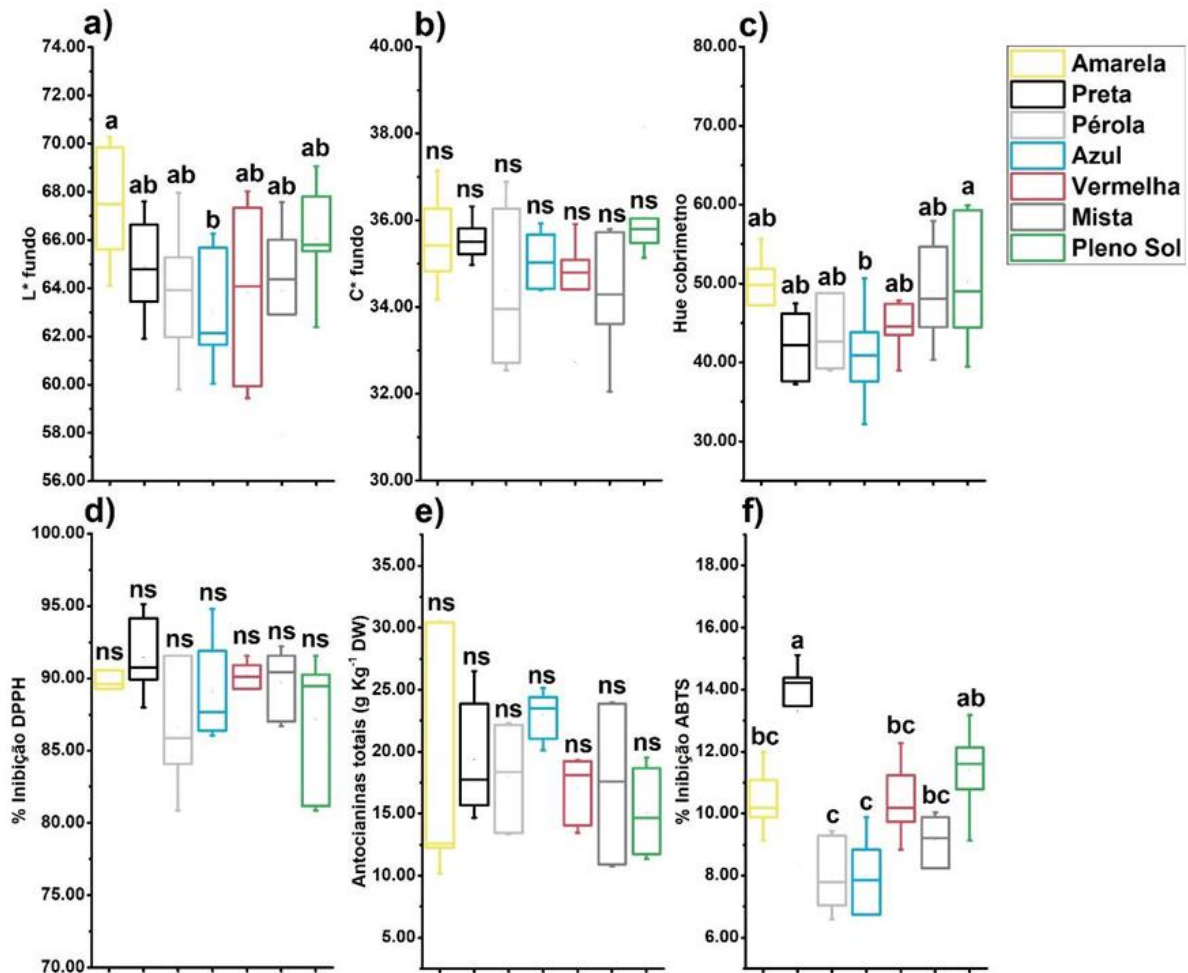
<sup>a</sup>Percentual total de variância na matriz x, refere-se todas as variáveis latentes (LV); <sup>b</sup>Raiz quadrada média do erro de calibração; <sup>c</sup>Raiz quadrada média do erro de validação cruzada; <sup>d</sup>Diferença média entre o estimador e o grupo real durante a calibração; <sup>e</sup>Diferença média entre o estimador e o grupo real durante a calibração cruzada.

A análise VIP mostrou para a cv. Fuji Suprema que as variáveis L\* e C\* da cor de fundo, Hue da cor de cobrimento da casca, % de inibição de DPPH, antocianinas totais e % de inibição de ABTS foram as mais relevantes para a discriminação dos tratamentos (Figura 7c). Considerando as variáveis destacadas pela análise VIP, as análises univariadas de ANOVA e Tukey (5%) foram desenvolvidas a fim de certificar a variabilidade detectada pelo PLS (Figura 7).

As variáveis C\* da cor de fundo, atividade antioxidante por DPPH e teor de antocianinas totais nas maçãs ‘Fuji Suprema’ não apresentaram diferença estatística, embora tenham sido destacadas (Figuras 9b, 9d e 9e respectivamente). O L\* da cor de fundo da casca foi mais intenso nas maçãs sob tela amarela (67,62), entretanto, esses frutos se diferenciaram somente daqueles provenientes da área sob tela azul, que foram os mais opacos, com valor médio de 63,00 (Figura 9a e 11). O ângulo hue da cor de cobrimento da casca foi maior nas maçãs cultivadas sob pleno sol, com valores médios de 50,22°, indicando a coloração laranja-avermelhada da casca. Já os frutos provenientes das plantas cultivadas sob tela azul apresentaram menores valores (41,21°), indicando maçãs mais avermelhadas (Figura 9c e 11). A Figura 11 ilustra a coloração média de fundo e cobrimento das maçãs em cada tratamento. Nela é possível observar a coloração de cobrimento mais intensa e escura das maçãs ‘Fuji Suprema’ cultivadas em tela azul e preta e visualmente diferente da área sob pleno sol, corroborando os resultados apresentados nas Figuras 9a e 9c.

A capacidade antioxidante da ‘Fuji Suprema’ estimada pela inibição do radical ABTS foi maior no cultivo com tela preta (média de 13,30% de inibição), sem diferenciar da área

sob pleno sol (11,40% de inibição). As telas pérola e azul apresentaram médias de 7,98% de inibição e foram, estatisticamente, as menores (Figura 9f).

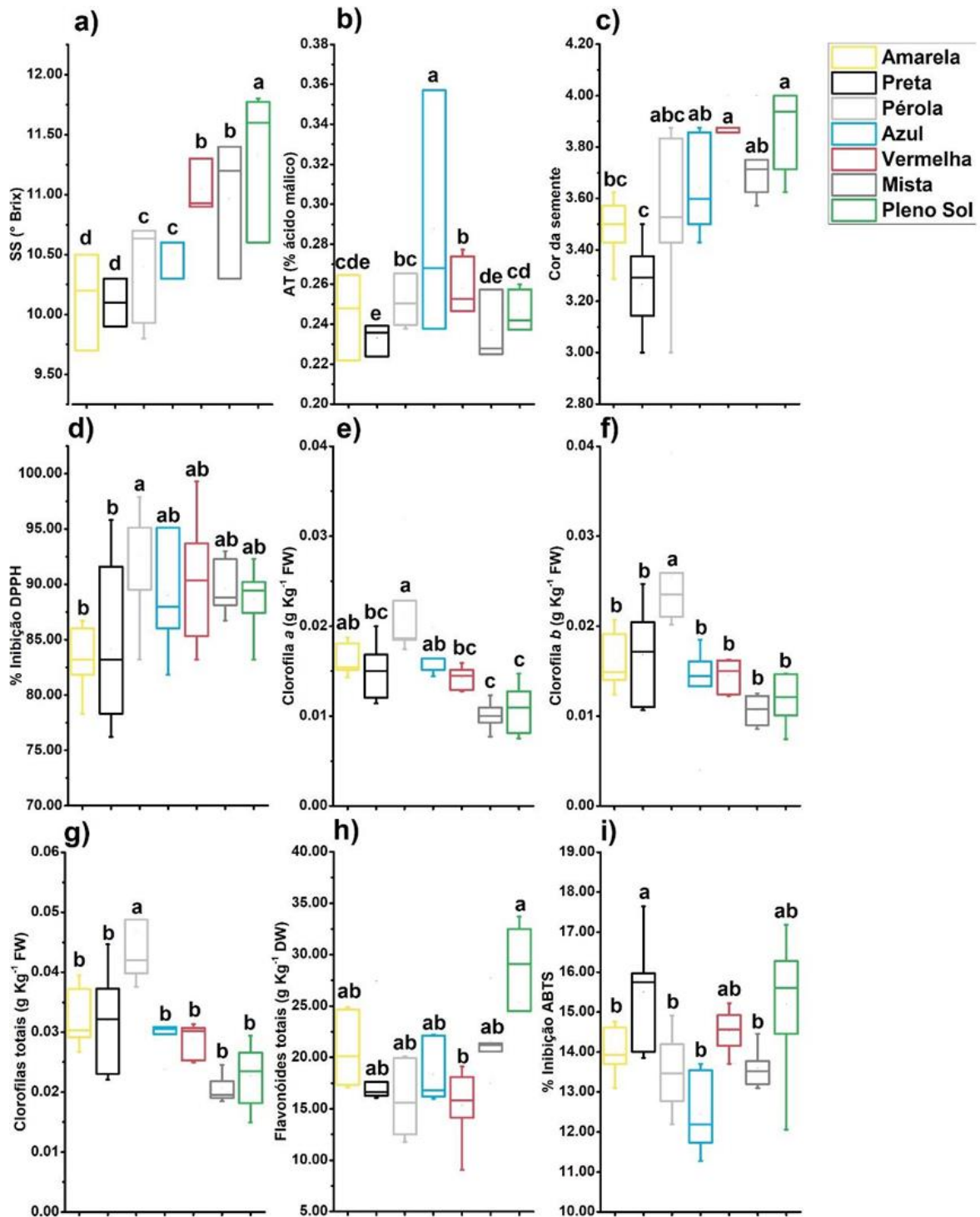


**Figura 9.** Box plot das médias mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a Análise VIP de maçãs ‘Fuji Suprema’ cultivadas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosseletivas. a) sólidos solúveis; b) acidez titulável; c) cor da semente; d) % inibição DPPH; e, f, g) teores de clorofilas a, b e totais, respectivamente; h) teor de flavonóides totais; i) % inibição ABTS. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey 5% ( $p < 0,05$ ). ns: não significativo pela análise de variância.

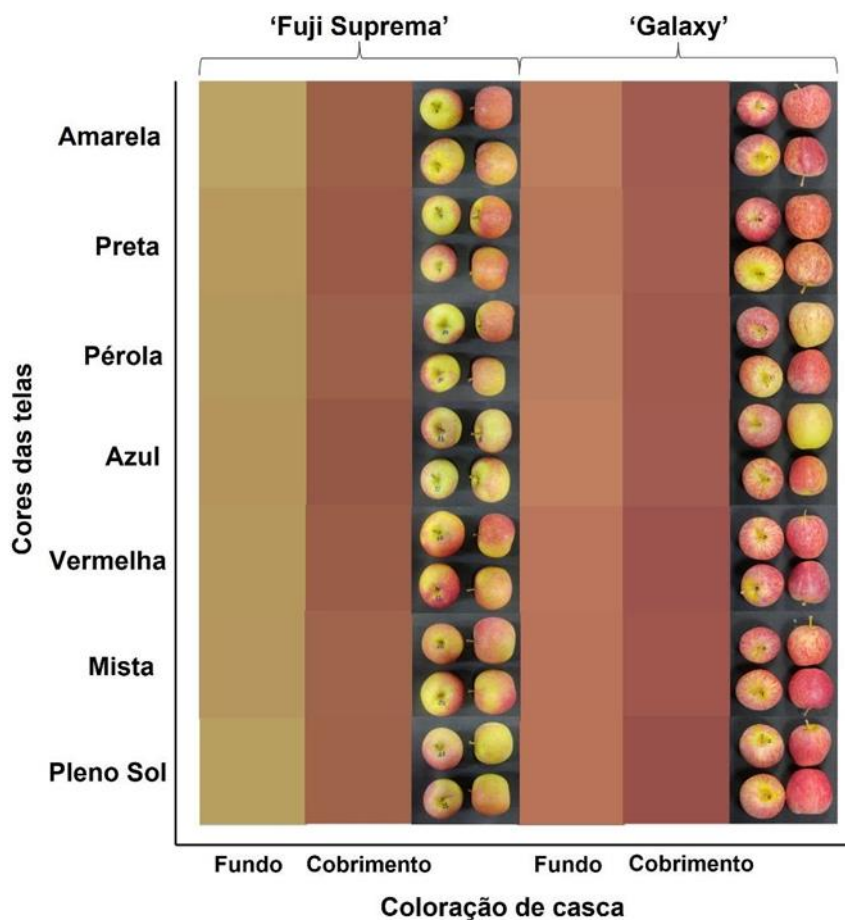
Em maçãs ‘Galaxy’ a análise VIP destacou as variáveis sólidos solúveis, acidez titulável, cor da semente, % de inibição de DPPH, clorofilas a, b e totais, teor de flavonoides totais e % de inibição de ABTS (Figura 8c). O teor de sólidos solúveis foi maior nas maçãs cultivadas em pleno sol (11,33 °Brix) e menor naquelas provenientes de cultivo sob as telas amarela e preta, que apresentaram médias de 10,13 °Brix e 10,10 °Brix, respectivamente (Figura 10a). Por outro lado, a tela azul promoveu maior acidez nos frutos, com 0,28% de ácido málico, enquanto a tela preta proporcionou a obtenção de frutos com menor acidez,

0,23% de ácido málico (Figura 10b). As sementes mais escuras foram observadas nos frutos que se desenvolveram sob pleno sol (3,87) e tela vermelha (3,86) (Figura 10c), enquanto as maçãs sob tela preta apresentaram sementes mais claras (3,27), que não se diferenciam daquelas sob as telas amarela e preta. A capacidade antioxidante determinada por DPPH foi superior em tela pérola (92,71% de inibição de DPPH) e menor em tela amarela e preta (83,22% e 84,12% de inibição de DPPH, respectivamente) (Figura 10d). De maneira geral, os teores de clorofilas a, b e totais foram maiores nos frutos cultivados em tela pérola, com valores em torno de 0,021; 0,025 e 0,047 g Kg<sup>-1</sup> MF respectivamente (Figuras 10e, 10f e 10g). Conforme representado na Figura 10h, as maçãs produzidas em condição de pleno sol apresentaram maior teor de flavonoides (25,33 g Kg<sup>-1</sup> MS), enquanto a tela vermelha influenciou os menores valores (15,35 g Kg<sup>-1</sup> MS). Por fim, a quantificação por ABTS mostrou que a tela preta proporcionou maior capacidade antioxidante, com valores em torno de 17,58 % de inibição do radical ABTS (Figura 10i), no entanto sem diferir das telas vermelha e pleno sol.

A Figura 9 ilustra a semelhança na coloração de fundo e de cobrimento da casca das maçãs ‘Galaxy’, o que corrobora a análise VIP (Figura 8c) não ter destacado, com exceção do teor de clorofilas, nenhum dos demais atributos relativos à coloração dos frutos. Apesar do tratamento com a malha pérola ter apresentado maçãs com maiores teores de clorofilas (Figura 10e-g), não foi visível.



**Figura 10.** Box plot das médias mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a Análise VIP de maçãs ‘Galaxy’ cultivadas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosseletivas. a) sólidos solúveis; b) acidez titulável; c) cor da semente; d) % inibição DPPH; e, f, g) teores de clorofilas a, b e totais, respectivamente; h) teor de flavonóides totais; i) % inibição ABTS. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey 5% ( $p < 0,05$ ).



**Figura 11.** Representação da coloração de fundo e de cobrimento da casca (parâmetros  $L^*$ ,  $C^*$ , Hue) de maçãs 'Fuji Suprema' e 'Galaxy' cultivadas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas.

### 3.4. Discussão

#### 3.4.1. Telas antigranizo fotosselativas influenciam características anatômicas da cutícula e epiderme de maçãs 'Galaxy'

A cutícula é parte essencial da estrutura do fruto por ser a barreira entre os tecidos internos e o ambiente externo (Kunst e Samules, 2003). Grew (1672) e Malpighi (1675) definiram originalmente a cutícula como a parte mais externa dos órgãos da planta.

Muitas fissuras foram observadas na superfície dos frutos de todos os tratamentos em ambas as cultivares, sem que houvesse diferenças visuais consideráveis. Ao longo do desenvolvimento do fruto, ocorre a expansão dos tecidos. Durante esse processo, a cutícula pode não acompanhar o rápido alongamento das células epidérmicas, acarretando a formação de microfissuras entre as plaquetas de cera distribuídas na superfície da cutícula (Curry,

2005). Na maçã, o surgimento dessas microfissuras acompanha o avermelhamento da casca (Lashbrooke et al., 2015).

À medida que as microfissuras surgem, novas plaquetas de cera vão sendo formadas transversalmente à fissura, preenchendo a abertura existente, em um processo denominado “rompimento e reparo” para assim evitar o rompimento completo e a exposição das células da epiderme (Curry, 2005). Esse padrão foi observado em grande parte das amostras, com exceção das maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob tela amarela, onde a maior parte das fissuras não apresentavam reparo. A presença de microfissuras abertas foi relatada como fator crucial para a perda de vapor d’água (Hatfield e Knee, 1988; Curry, 2005), levando ao murchamento dos frutos no período de armazenamento e consequente perda do valor comercial. Fissuras abertas também servem como uma porta de entrada para patógenos, que podem acarretar em infecção por doenças.

As maçãs ‘Fuji Suprema’ não apresentaram efeito das telas na espessura da cutícula e da epiderme. As maçãs ‘Galaxy’ produzidas com as telas fotosselativas azul e vermelha apresentaram maior espessura de cutícula. Uma importante função da cutícula é a proteção contra estresses por irradiação e danos térmicos (Heredia-Guerrero et al., 2018; Moreno et al., 2022). Tanto a intensidade, quanto a qualidade da luz que incide sobre o fruto são capazes de interferir na composição e espessura da cutícula, uma vez que mais cera é depositada em maiores luminosidades (Li et al., 2019; Zhang et al., 2020), como forma de proteção aos danos por radiação excessiva e perda de água. Entretanto, o efeito da luz sobre os mecanismos de síntese de ceras cuticulares ainda permanecem obscuros. Apesar de as cultivares terem sido colhidas em safras diferentes, a quantidade de radiação solar global em área de pleno sol durante o desenvolvimento dos frutos foi semelhante (Anexo B), o que indica que a cultivar pode ter sido determinante para a diferença de resposta.

Li et al. (2019) forneceram indícios em *Arabidopsis* (*Arabidopsis thaliana*), de que os fatores de transcrição SPL9 (SQUAMOSA PROMOTER BINDING PROTEIN-LIKE 9 – regulado pela luz) e DEWAX (um regulador negativo da síntese de cera no escuro) atuam de forma antagônica, formando um módulo transcricional dinâmico de repressão e ativação de genes de síntese de ceras cuticulares. Além das ceras, é conhecido que o SPL9 tem função regulatória no metabolismo secundário, como por exemplo a regulação negativa das antocianinas ao interagir com PAP1 (PRODUCTION OF ANTHOCYANIN PIGMENT1), que reduz a expressão de um gene codificador da enzima dihidroflavonol redutase (DFR) (Gou et al., 2011). Pesquisas relacionadas aos mecanismos regulatórios da síntese de ceras cuticulares que são influenciados pela luz são escassas em maçãs (Javelle et al., 2011).

A malha vermelha eleva o pico de transmitância para comprimentos de onda além do 590 nm e, por isso, apresenta um potencial de radiação maior na luz incidente (Oren-Shamir et al., 2001; Nomura et al., 2009). Já a malha azul apresenta o pico de transmitância entre 400 e 540 nm, na região dos espectros azul-verde, sem alterar a razão vermelho:vermelho distante (Gussakovsky et al., 2007; Oren-Shamir et al., 2001), também com alto potencial de radiação. Ambas mantêm sem alterações as ondas de luz vermelho e vermelho distante, bem como a intensidade da radiação (Costa et al., 2018; Oren-Shamir et al., 2001), propriedades importantes para a fotossíntese e expansão celular.

A proporção entre luz vermelha e azul pode afetar a produção de metabólitos secundários, como pigmentos e compostos fenólicos (Benítez et al., 2022), interferindo inclusive na composição da cutícula, formada por tais moléculas (Moreno et al., 2022). Os compostos fenólicos presentes na cutícula desempenham função crítica de proteção contra a radiação ultravioleta (UV), sobretudo nas faixas ultravioleta-C (UV-C) e ultravioleta-B (UV-B) (Moreno et al., 2022).

Segundo Barthlott et al. (1998) a cutícula dos vegetais é formada por uma diversidade de ceras com grande variabilidade ultraestrutural e química. A estrutura da deposição de ceras epicuticulares se mostrou distinta entre as cultivares. Maçãs ‘Fuji Suprema’ apresentaram padrões de cera em rosetas, não presentes na ‘Galaxy’. No entanto, algumas semelhanças puderam ser observadas, como a presença de oleosidade na casca das maçãs oriundas das áreas de cultivo sob as telas amarela, pérola e mista. Sobretudo, foi constatada a presença de oleosidade na casca das maçãs cultivadas sob a tela amarela, em ambas cultivares, apontando para um efeito negativo dessa tela. A oleosidade da casca é uma desordem fisiológica caracterizada pela aparência gordurosa das ceras cuticulares, que pode ocorrer ao final de longos períodos de armazenamento (Curry, 2008). Lara et al. (2014) e Benítez et al. (2022) relataram que altas temperaturas podem levar a transição das ceras do estado vítreo para o viscoso. Esse efeito depende também da umidade relativa em torno da planta, já que a água tem a capacidade de plastificar a cutícula (Domínguez et al., 2011). Altas temperaturas aumentam a viscoelasticidade nas membranas da cutícula, à medida que a falta de umidade causa o seu endurecimento (Heredia-Guerrero et al., 2018).

A tela amarela evidenciou ainda, uma grande quantidade de fissuras em maçãs de ambas as cultivares. A área cultivada sob pleno sol apresentou maçãs cuja cutícula estava recoberta por alta intensidade de plaquetas, grânulos e fissuras, sem presença de oleosidade.

A epiderme constitui o tecido mais externo no fruto e outros órgãos da planta, com função de proteção contra danos mecânicos, patógenos e perda de água, devido à sua estrutura

compacta (Alquini et al., 2006; Javelle et al., 2011). Nossos resultados apontaram efeito das telas fotosseletivas sobre a epiderme de maçãs ‘Galaxy’, sendo que a epiderme das maçãs produzidas sob tela preta foi menos espessa que a das cultivadas sob as telas amarela, pérola, azul, vermelha, mista e daquelas cultivadas sob pleno sol, o que indica um possível efeito da radiação, uma vez que a tela preta a reduz.

A alta intensidade luminosa pode levar ao aumento da espessura da epiderme como uma forma de proteção do aparato fotossintético contra danos ao complexo antena por foto-oxidação (Brant et al., 2011; Lee et al., 2000; Solomakhin e Blanke, 2010). Logo, células mais espessas reduzem substancialmente a intensidade de luz e o comprimento de onda incidente sobre o fotossistema II (Costa et al., 2018). Tanto a qualidade, quanto a intensidade de luz podem ainda afetar a modulação da biossíntese de hormônios, como auxina e giberelina, os quais controlam o crescimento e desenvolvimento celular na região epidérmica (Cholodny, 1928; Christie e Murphy, 2013).

A malha preta tem como característica a redução da intensidade da radiação incidente sobre o pomar, sem alterar a qualidade do espectro de luz e, por isso, é considerada tela neutra (Costa et al., 2018). Em nosso estudo, o maior sombreamento da tela preta proporcionou maçãs ‘Galaxy’ com menor espessura de epiderme, sugerindo que o fator crítico para a epiderme seja a intensidade luminosa e não a qualidade dos espectros de luz.

#### **3.4.2. Telas antigranizo fotosseletivas alteram características de qualidade físicas e químicas de maçãs ‘Fuji Suprema’ e ‘Galaxy’**

Telas antigranizo fotosseletivas modificam o microclima no interior do pomar (Green et al., 2003; Solomakhin e Blanke, 2010). Nesse contexto, diversas características de qualidade dos frutos de macieira acabam sendo influenciadas, entretanto os mecanismos fisiológicos envolvidos ainda não são totalmente esclarecidos (Bastías et al., 2011; Solomakhin e Blanke, 2007b). No entanto, é importante considerar ainda, que fatores como manejo, clima do pomar (Boini et al., 2022), cultivar, características genéticas (Amarante et al., 2011; Tinyane et al., 2013), porcentagem de sombreamento e material da tela, também são fatores limitantes na qualidade dos frutos. Uma vez que as condições de cultivo, características da tela e genótipo das plantas variam muito entre as pesquisas, há uma discrepância entre as respostas fisiológicas das plantas (Mupambi et al., 2018).

Nossos resultados sugeriram que macieiras ‘Fuji Suprema’ cultivadas sob tela vermelha e pleno sol tendem a apresentar frutos com coloração de fundo da casca mais



amarelada e brilhante. Maçãs ‘Galaxy’ apresentaram melhores resultados com o uso das telas que maçãs ‘Fuji Suprema’. Na ‘Fuji suprema’, três das seis variáveis destacadas pela análise VIP não foram significativas (Figura 6c), dificultando qualquer conclusão sobre o efeito das telas na cultivar.

Uma vez que a tela vermelha eleva a relação do espectro de onda vermelho:vermelho distante (Nomura et al., 2009), espera-se que essa tela proporcione maior taxa fotossintética. A malha vermelha também limita comprimentos de onda na região do verde (Kong et al., 2012). Esses comprimentos de onda atuam de forma oposta à luz vermelha e azul, por meio da inibição do fitocromo com redução do número de cloroplastos (Wang e Folta, 2013; Folta e Carvalho, 2015), o que afeta diretamente a atividade fotossintética. Shahak et al. (2004) relataram que a fotossíntese líquida em maçãs ‘Golden Delicious’ produzidas sob tela de malha vermelha apresentou picos semelhantes durante todo o dia. Isso condiz com os maiores teores de metabólitos que observamos na ‘Galaxy’ cultivada sob essa tela. Tinyane et al. (2013) e Selahle et al. (2015) observaram que tomates e pimentões produzidos, respectivamente, sob redes fotosseletivas vermelha e pérola apresentaram melhor qualidade comercial. Adicionalmente, a malha pérola favoreceu maior estabilidade no microclima durante a produção de tomates (Tinyane et al., 2013).

Em nosso estudo, a malha pérola proporcionou frutos com mais clorofilas na casca, capacidade antioxidante por DPPH e teores de SS e AT mais baixos, apontando para um atraso no amadurecimento dessas maçãs na planta. Foi constatado nas maçãs ‘Fuji’ que a malha pérola antigranizo reduziu em 12,5% a radiação fotossinteticamente ativa (Bastias, 2011), que pode explicar os maiores teores de clorofila que encontramos. Tinyane et al. (2013) também observaram menores teores de SS em tomates cv. AlfaV.

A tela azul filtra a luz vermelha, que faz com que a relação vermelho:vermelho distante seja reduzida, resultando em baixo estado estacionário do fitocromo (Kalaitzoglou et al., 2019), semelhante ao efeito causado pelo sombreamento. Isso tende a atrasar o amadurecimento e a senescência dos frutos. Nossos resultados confirmaram esse efeito, uma vez que as maçãs de ambas as cultivares produzidas sob a tela azul permaneceram com maior acidez e menor capacidade antioxidante e teor de sólidos solúveis. Esses frutos apresentaram ainda, casca mais opaca, avermelhada e com menores teores de clorofila na casca, o que indica, possivelmente, redução da taxa fotossintética e aumento da síntese de antocianinas. Plantas de crisântemo cultivadas sob baixa proporção de vermelho:vermelho distante apresentaram redução no teor de clorofila (Lund et al., 2007). Mudanças nos espectros de luz vermelho e azul tendem a afetar o complexo antena no fotossistema II, principalmente a

relação clorofila a/b (Gussakovsky et al., 2007). A coloração avermelhada da maçã é resultado do acúmulo de antocianinas, processo essencialmente alterado em função da radiação e composição da luz entre UV-B, azul, vermelho e vermelho distante (Musacchi e Serra, 2018).

De acordo com Kong et al. (2012) a tela amarela reduziu a taxa fotossintética e a condutância estomática de pimentões, uma vez que essa malha aumenta a taxa de luz verde. Nossos resultados indicaram que a malha amarela retardou o amadurecimento dos frutos, que apresentaram menores teores de compostos metabólicos e capacidade antioxidante.

As redes preta e branca são consideradas neutras por reduzirem a radiação sobre o pomar, sem, no entanto, alterar o espectro de luz (Henrique e Cols, 2011; Costa et al., 2018). Esse efeito de neutralidade pode ser observado na tela mista (branca com preta). Essas telas, em nosso estudo, mostraram menores resultados em relação às telas fotosseletivas e à condição de pleno sol.

### **3.4.3. Considerações**

Em decorrência das maçãs produzidas sob tela pérola terem apresentado menores teores de SS, e altos teores de AT e clorofilas em relação às demais, podem vir a apresentarem maior vida útil em pós-colheita. No entanto, apesar de termos observado que as ‘Fuji Suprema’ sob tela pérola apresentaram áreas com ceras em formato de grânulos e rosetas, também houveram regiões com formação de oleosidade. Os frutos de ‘Galaxy’ tiveram uma cutícula majoritariamente lisa. Tais características podem ser indesejáveis, uma vez que o armazenamento após a colheita tende a aumentar a oleosidade. Pimentas cultivadas sob malha pérola apresentaram melhor qualidade após 21 dias de armazenamento refrigerado (Selahle et al., 2015), entretanto maiores estudos são necessários sobre o armazenamento de maçãs produzidas sob essa tela.

Maçãs produzidas sob tela vermelha apresentaram, no momento da colheita, melhores características organolépticas, de deposição de ceras e espessura de cutícula, conferindo uma boa qualidade comercial. Essa tela obteve desempenho semelhante à área sob pleno sol, que também forneceu frutos com maior qualidade na colheita. Essa malha, assim como a área sob pleno sol, mostrou recobrimento de ceras epicuticulares com formato definido e sem presença de oleosidade. Em pós-colheita, pimentas cultivadas sob tela vermelha foram relatadas por Selahle et al. (2015), com melhor qualidade comercial após o armazenamento.

A tela azul proporcionou efeito mais próximo ao da tela preta, afetando principalmente a composição de pigmentos e compostos fenólicos, com exceção de que a cutícula da ‘Galaxy’ sob tela azul foi mais espessa que a sob tela preta. Esses frutos se apresentaram mais avermelhados e opacos, sem presença significativa de oleosidade na casca. As maçãs produzidas sob tela mista se mostraram semelhantes às produzidas sob pleno sol ou sob malha vermelha, no entanto sem efeitos significativos destacados. A cutícula dessas maçãs apresentou presença de oleosidade nas duas cultivares. Por fim, a malha amarela favoreceu frutos com uma cutícula formada por fissuras e oleosidade, menores teores de sólidos solúveis e mais ácidos.

### 3.5. Conclusão

O uso de telas fotoseletivas coloridas em substituição às tradicionais preta e branca pode ser favorável para a qualidade de frutos de macieira, principalmente da cv. Galaxy, que apresentou maiores efeitos em relação à ‘Fuji Suprema’. As telas vermelha e pérola se mostraram promissoras, uma vez que a tela vermelha apresentou frutos com melhores características organolépticas e de cutícula na colheita. Por outro lado, a tela pérola proporcionou atraso na maturação dos frutos, que pode ser vantajoso no armazenamento a longo prazo, entretanto a presença de oleosidade da casca pode vir a ser desfavorável.

### Referências

- Alquini, Y., Bona, C., Boeger, M.R.T., Costa, C.G. da, Barra, C.F., 2006. Epiderme, in: Apezato-da-Glória, B., Carmello-Guerreiro, S.M. (Eds.), *Anatomia Vegetal*. UFV, Viçosa, pp. 87–108.
- Amarante, C.V.T. do, Steffens, C.A., Argenta, L.C., 2011. Yield and fruit quality of “Gala” and “Fuji” apple trees protected by white anti-hail net. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 129, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.010>
- Aoun, M., Manja, K., 2020. Effects of a photoselective netting system on Fuji and Jonagold apples in a Mediterranean orchard. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 263, 109104. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109104>
- Baraldi, R., F. Rossi, O. Facini, F. Fasolo, A. Rotondi, M. Magli, and F. Nerozzi. 1994. Light environment, growth and morphogenesis in a peach tree canopy. *Physiol. Plantarum*. 91,339-345.
- Barthlott, W., Neinhuis, C., Cutler, D., Ditsch, F., Meusel, I., Theisen, I., Wilhelmi, H., 1998. Classification and terminology of plant epicuticular waxes. *Bot. J. Linn. Soc.* 126, 237–260. <https://doi.org/10.1006/bojl.1997.0137>
- Basile, B., Romano, R., Giaccone, M., Barlotti, E., Colonna, V., Cirillo, C., Shahak, Y., Forlani, M., 2008. Use of photo-selective nets for hail protection of kiwifruit vines in Southern Italy. *Acta Hortic.* 770, 185–192. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.770.21>

- Bastías, R.M., Losciale, P., Chieco, C., Rossi, F., Corelli-Grappadelli, L., 2011. Physiological aspects affected by photosensitive nets in apples: Preliminary studies. *Acta Hort.* 907, 217–220. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.32>
- Bastías, R.M., Manfrini, L., Corelli Grappadelli, L., 2012. Exploring the Potential use of Photo-Selective Nets for Fruit Growth Regulation in Apple. *Chil. J. Agric. Res.* 72, 224–231. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392012000200010>
- Benítez, J.J., González Moreno, A., Guzmán-Puyol, S., Heredia-Guerrero, J.A., Heredia, A., Domínguez, E., 2022. The Response of Tomato Fruit Cuticle Membranes Against Heat and Light. *Front. Plant Sci.* 12, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.807723>
- Boini, A., Casadio, N., Bresilla, K., Perulli, G.D., Manfrini, L., Grappadelli, L.C., Morandi, B., 2022. Early apple fruit development under photosensitive nets. *Sci. Hort.* (Amsterdam). 292. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110619>
- Brant, R.S., Pinto, J.E.B.P., Rosal, L.F., Alves, C., Oliveira, C., Albuquerque, C.J.B., 2011. Adaptações fisiológicas e anatômicas de *Melissa officinalis* L. (Lamiaceae) cultivadas sob malhas termorrefletoras em diferentes intensidades luminosas. *Rev. Bras. Plantas Med.* 13, 467–474. <https://doi.org/10.1590/s1516-05722011000400012>
- Castro, L.A.S. de, Sanhueza, R.M.V., Cantillano, R.F.F., Rocha, N.E.M., 2002. Metodologia para observação da camada de cera em maçãs, utilizando microscopia eletrônica de varredura. *Rev. Bras. Frutic.* 24, 774–775. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000300053>
- Cholodny, N., 1928. Beiträge zur hormonalen Theorie von Tropismen. *Zeitschrift für wissenschaftliche Biol. Abteilung E. Planta* 6, 118–134.
- Christie, J.M., Murphy, A.S., 2013. Shoot phototropism in higher plants: New light through old concepts. *Am. J. Bot.* 100, 35–46. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200340>
- Costa, B.N.S., Costa, I.J.S., DE SOUZA, G.A., Dos Santos, D.N., DA SILVEIRA, F.A., DE MELO, E.T., Martins, A.D., Pasqual, M., Setotaw, T.A., Rodrigues, F.A., 2018. Anatomical modifications of *butia capitata* propagated under colored shade nets. *An. Acad. Bras. Cienc.* 90, 3615–3624. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170347>
- Curry, E., 2008. Effects of 1-MCP applied postharvest on epicuticular wax of apples (*Malus domestica* Borkh.) during storage. *J. Sci. Food Agric.* 88, 996–1006. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3180>
- Curry, E.A., 2005. Ultrastructure of epicuticular wax aggregates during fruit development in apple (*Malus domestica* Borkh.). *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 80, 668–676. <https://doi.org/10.1080/14620316.2005.11511996>
- Domínguez, E., Heredia-Guerrero, J.A., Heredia, A., 2011. The biophysical design of plant cuticles: an overview. *New Phytol.* 189, 938–949. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03553.x>
- Folta, K.M., Carvalho, S.D., 2015. Photoreceptors and control of horticultural plant traits. *HortScience* 50, 1274–1280. <https://doi.org/10.21273/hortsci.50.9.1274>
- Fruk, G., Fruk, M., Vuković, M., Buhin, J., Jatoi, M.A., Jemrić, T., 2016. Colouration of Apple cv. ‘Braeburn’ Grown Under Anti-Hail Nets in Croatia. *Acta Hort. Regiotect.* 19, 1–4. <https://doi.org/10.1515/ahr-2016-0013>
- Gou, J.Y., Felippes, F.F., Liu, C.J., Weigel, D., Wang, J.W., 2011. Negative Regulation of Anthocyanin Biosynthesis in *Arabidopsis* by a miR156-Targeted SPL Transcription Factor. *Plant Cell* 23, 1512–1522. <https://doi.org/10.1105/tpc.111.084525>
- Green, S., McNaughton, K., Wünsche, J.N., Clothier, B., 2003. Modeling Light Interception and Transpiration of Apple Tree Canopies. *Agron. J.* 95, 1380–1387. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.1380>
- Grew, N., 1672. *The Anatomy of Vegetables Begun. With a General Account of Vegetation Founded Thereon*, 1st ed. Spencer Hickman, Londres.
- Gussakovsky, E.E., Shahak, Y., Schroeder, D.F., 2007. Color of illumination during growth affects LHCII chiral macroaggregates in pea plant leaves. *J. Photochem. Photobiol. B Biol.* 86, 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2006.08.013>
- Hatfield, S.G.S., Knee, M., 1988. Effects of water loss on apples in storage. *Int. J. Food Sci. Technol.* 23, 575–583. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb01043.x>

- Heredia-Guerrero, J.A., Guzman-Puyol, S., Benítez, J.J., Athanassiou, A., Heredia, A., Domínguez, E., 2018. Plant cuticle under global change: Biophysical implications. *Glob. Chang. Biol.* 24, 2749–2751. <https://doi.org/10.1111/gcb.14276>
- Hiscox, J.D., Israelstam, G.F., 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Can. J. Bot.* 57, 1132–1334. <https://doi.org/10.1139/b79-163>
- Iglesias, I., and S. Alegre. 2006. The effect of anti-hail nets on fruit production, radiation, temperature, quality and profitability of ‘Mondial Gala’ apples. *J. of Applied Hortic.* 8, 91-100.
- Jakopic, J., Veberic, R., Stampar, F., 2007. The effect of reflective foil and hail nets on the lighting, color and anthocyanins of “Fuji” apple. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 115, 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.07.014>
- Javelle, M., Vernoud, V., Rogowsky, P.M., Ingram, G.C., 2011. Epidermis: The formation and functions of a fundamental plant tissue. *New Phytol.* 189, 17–39. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03514.x>
- Jensen, W.A., 1962. *Botanical histochemistry: principles and practice*. W. H. Freeman, San Francisco.
- Kalaitzoglou, P., van Ieperen, W., Harbinson, J., van der Meer, M., Martinakos, S., Weerheim, K., Nicole, C.C.S., Marcelis, L.F.M., 2019. Effects of continuous or end-of-day far-red light on tomato plant growth, morphology, light absorption, and fruit production. *Front. Plant Sci.* 10, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00322>
- Karnovsky, M.J., 1965. A Formaldehyde-Glutaraldehyde Fixative of High Osmolality for Use in Electron Microscopy. *J. Cell Biol.* 27, 137–138.
- Kong, Y., Avraham, L., Ratner, K., Shahak, Y., 2012. Response of photosynthetic parameters of sweet pepper leaves to light quality manipulation by photoselective shade nets. *Acta Hortic.* 956, 501–506. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.59>
- Kunst, L., Samules, A.L., 2003. Biosynthesis and secretion of plant cuticular wax. *Prog. Lipid Res.* 42, 51–80. [https://doi.org/10.1016/S0163-7827\(02\)00045-0](https://doi.org/10.1016/S0163-7827(02)00045-0)
- Lara, I., Belge, B., Goulao, L.F., 2014. The fruit cuticle as a modulator of postharvest quality. *Postharvest Biol. Technol.* 87, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.08.012>
- Lashbrooke, J., Aharoni, A., Costa, F., 2015. Genome investigation suggests MdSHN3, an APETALA2-domain transcription factor gene, to be a positive regulator of apple fruit cuticle formation and an inhibitor of russet development. *J. Exp. Bot.* 66, 6579–6589. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv366>
- Lee, D.W., Oberbauer, S.F., Johnson, P., Krishnapilay, B., Mansor, M., Mohamad, H., Yap, S.K., 2000. Effects of irradiance and spectral quality on leaf structure and function in seedlings of two Southeast Asian Hopea (dipterocarpaceae) species. *Am. J. Bot.* 87, 447–455. <https://doi.org/10.2307/2656588>
- Lees, D.H., Francis, F.J., 1972. Standardization of pigment analyses in cranberries. *HortScience* 7, 83–84.
- Li, R.J., Li, L.M., Liu, X.L., Kim, J.C., Jenks, M.A., Lu, S., 2019. Diurnal regulation of plant epidermal wax synthesis through antagonistic roles of the transcription factors SPL9 and DEWAX. *Plant Cell* 31, 2711–2733. <https://doi.org/10.1105/tpc.19.00233>
- Lund, J.B., Blom, T.J., Aaslyng, J.M., 2007. End-of-day lighting with different red/far-red ratios using light-emitting diodes affects plant growth of *Chrysanthemum x morifolium* Ramat. “Coral Charm.” *HortScience* 42, 1609–1611. <https://doi.org/10.21273/hortsci.42.7.1609>
- Malpighi, M., 1675. *Anatome Plantarum. Cui fubjungitur Appendix, Iteratas & Auctas Ejufdem Authoris de ovo Incubato Obfervationes Continens*. Johannis Martyn, Londres.
- Mensor, L.L., Menezes, F.S., Leitão, G.G., Reis, A.S., Santos, T.C. dos, Coube, C.S., Leitão, S.G., 2001. Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. *Phyther. Res.* 15, 127–130. <https://doi.org/10.1002/ptr.687>
- Moreno, A.G., de Cózar, A., Prieto, P., Domínguez, E., Heredia, A., 2022. Radiationless mechanism of UV deactivation by cuticle phenolics in plants. *Nat. Commun.* 13. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29460-9>
- Mupambi, G., Anthony, B.M., Layne, D.R., Musacchi, S., Serra, S., Schmidt, T., Kalcsits, L.A., 2018. The influence of protective netting on tree physiology and fruit quality of apple: A review. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 236, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.014>

- Musacchi, S., Serra, S., 2018. Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 234, 409–430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.057>
- Nomura, E.S., Lima, J.D., Rodrigues, D.S., Garcia, V.A., Fuzitani, E.J., Silva, S.H.M.-G. da, 2009. Crescimento e produção de antúrio cultivado sob diferentes malhas de sombreamento. *Ciência Rural* 39, 1394–1400. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782009000500014>
- Oren-Shamir, M., Gussakovsky, E.E., Shpiegel, E., Nissim-Levi, A., Ratner, K., Ovadia, R., Giller, Y.E., Shahak, Y., 2001. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 76, 353–361. <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511377>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C., 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* 26, 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Selahle, K.M., Sivakumar, D., Jifon, J., Soundy, P., 2015. Postharvest responses of red and yellow sweet peppers grown under photo-selective nets. *Food Chem.* 173, 951–956. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.034>
- Shahak, Y., 2008. Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. *Acta Hortic.* 770, 161–168. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.770.18>
- Shahak, Y., Gussakovsky, E.E., Gal, E., Ganelevin, R., 2004. ColorNets: Crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Hortic.* 659, 143–151. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.659.17>
- Siegelman, H.W., Hendricks, S.B., 1958. Photocontrol of alcohol, aldehyde, and anthocyanin production in apple skin. *Plant Physiol.* 33, 409–413.
- Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16, 144–158.
- Solomakhin, A., Blanke, M., 2010. The microclimate under coloured hailnets affects leaf and fruit temperature, leaf anatomy, vegetative and reproductive growth as well as fruit colouration in apple. *Ann. Appl. Biol.* 156, 121–136. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00372.x>
- Solomakhin, A., Blanke, M., 2007a. Coloured hailnets alter light transmission, spectra and phytochrome, as well as vegetative growth, leaf chlorophyll and photosynthesis and reduce flower induction of apple. *Plant Growth Regul.* 56, 2625–2637.
- Solomakhin, A., Blanke, M., 2007b. Overcoming adverse affects of hailnets on microclimate and fruit quality by reflective mulch. *J. Sci. Food Agric.* 87, 2625–2637. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3022>
- Stroka, M.A., Ayub, R.A., da Silva, D.M., Pessenti, I.L., Pereira, A.B., Barbosa, E.A.A., 2021. Effect of anti-hail nets with different colors on ‘Eva’ apple trees agronomical responses. *Rev. Bras. Frutic.* 43, 0–2. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021157>
- Tassara, M.A., Battaglia, M., 1992. Ensayo de una red plastica antigranizo en manzanos en el Alto Valle de Rio Negro. *ivista di Agric. Subtrop. e Trop.* 86, 375–384.
- Tessmer, M.A., Apezato-da-Glória, B., Antonioli, L.R., 2016. Influence of growing sites and physicochemical features on the incidence of lenticel breakdown in “Gala” and “Galaxy” apples. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 205, 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.04.027>
- Tezotto-Uliana, J.V., Berno, N.D., Saji, F.R.Q., Kluge, R.A., 2013. Gamma radiation: An efficient technology to conserve the quality of fresh raspberries. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 164, 348–352. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.026>
- Tinyane, P.P., Sivakumar, D., Soundy, P., 2013. Influence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 161, 340–349. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.024>
- Vuković, M., Buhin, J., Brkljača, M., Jatoi, M.A., Jemrić, T., 2020. Postharvest quality of “granny smith” apple grown under photo-selective red net. *J. Cent. Eur. Agric.* 21, 124–128. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/21.1.2777>

- Wang, Y., Folta, K.M., 2013. Contributions of green light to plant growth and development. *Am. J. Bot.* 100, 70–78. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200354>
- Wellburn, A.R., 1994. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *J. Plant Physiol.* 144, 307–313. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2)
- Werner, R.A., 1989. Current status of controlled atmosphere storage in Brazil, in: *International Controlled Atmosphere Research Conference*, 5. Wenatchee, Washington, pp. 509–515.
- Zhang, Y.L., You, C.X., Li, Y.Y., Hao, Y.J., 2020. Advances in Biosynthesis, Regulation, and Function of Apple Cuticular Wax. *Front. Plant Sci.* 11, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01165>

#### 4. QUALIDADE DE MAÇÃS 'GALAXY' PRODUZIDAS SOB TELAS ANTIGRANIZO FOTOSSELETIVAS DURANTE A MATURAÇÃO E PÓS-COLHEITA

##### Resumo

Telas antigranizo fotosseletivas têm sido avaliadas na cultura da macieira, como uma forma, dentre outras, de melhorar as características organolépticas dos frutos. Esse estudo teve o objetivo de avaliar a qualidade da maturação comercial em campo e após o armazenamento de maçãs 'Galaxy' produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas. Maçãs cv. Galaxy foram produzidas sob as antigranizo amarela, preta, pérola, azul, vermelha, mista (branca com preta) e em pleno sol. As avaliações ocorrem em três momentos na pré-colheita, durante os estádios finais de maturação dos frutos, a fim de se definir o momento de maturação comercial, e durante o armazenamento refrigerado em atmosfera comum a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR aos 0, 46, 90, 123 e 151 dias. Os frutos foram avaliados quanto a coloração de casca e fundo, firmeza, teor de sólidos solúveis, acidez titulável, cor da semente, índice de retenção do amido, capacidade antioxidante, teor de compostos fenólicos, clorofilas a, b, e totais, carotenoides, antocianinas, flavonoides e idaeina. Os frutos produzidos sob as telas vermelha, pérola e área a pleno sol (controle) atingiram a maturação comercial antes das demais. Entretanto, a tela vermelha e a área a pleno sol apresentaram frutos mais maduros, que resultaram em uma menor vida útil após a colheita. A tela pérola apresentou frutos com qualidade comercial, mas menos maduros, o que levou a um melhor potencial de armazenamento, sendo uma boa alternativa para uso como estratégia de antecipação da colheita. As telas preta e mista também apresentaram bom potencial de armazenamento, mas não podem ser utilizadas como forma de antecipação da colheita.

**Palavras-chave:** *Malus domestica*, amadurecimento, armazenamento

##### Abstract

Photo-selective anti-hail nets have been evaluated in apple tree cultivation as a way, among others, to improve the organoleptic characteristics of fruits. This study aimed to evaluate the quality of commercial maturation in the field and after storage of 'Galaxy' apples fruits produced under different photo-selective anti-hail nets. Apples cv. 'Galaxy' were grown under yellow, black, pearl, blue, red, mixed (white with black) anti-hail nets, and in full sun. The evaluations were carried out at three stages of fruit development: pre-harvest, final maturation fruit stages, and during refrigerated storage in common atmosphere at  $0 \pm 1$  °C and  $90 \pm 5\%$  relative humidity for 0, 46, 90, 123 and 151 days, to define the moment of commercial harvest. The fruits were evaluated in terms of skin color, firmness, soluble solids content, titratable acidity, seed color, starch retention index, antioxidant capacity, content of phenolic compounds, chlorophylls a, b, and total, carotenoids, anthocyanins, flavonoids, and ideain. The fruits produced under the red, pearl and full sun nets reached commercial maturity before the others. However, the red screen and full sun areas showed more mature fruits, resulting in a shorter shelf life after harvest. The pearl screen presented fruits with commercial quality, but less ripe, which led to a better storage potential and is a good alternative for use as a harvest anticipation strategy. The black and mixed screens also showed good storage potential but cannot be used as a means of anticipating the harvest.

**Key words:** *Malus domestica*, rippening, storage



#### 4.1. Introdução

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) trata-se de uma fruteira de clima temperado e, por esse motivo, é cultivada tradicionalmente em regiões frias de altitude. Por serem regiões de clima frio, a ocorrência é frequente o granizo, causando danos à produção e à qualidade dos frutos (Mupambi et al., 2018). Para evitar perdas, vem sendo comum a utilização de telas protetoras antigranizo (Blanke, 2009). As cores tradicionais que fornecem apenas uma estrutura de sombreamento, sem propriedades cromáticas, são a preta e a branca (Costa et al., 2018).

Têm surgido no mercado telas coloridas com partículas cromáticas incorporadas à malha, denominadas telas fotosseletivas (Shahak, 2008). As telas fotosseletivas alteram algumas características espectrais da radiação que atinge o pomar, como a qualidade da luz entre os comprimentos de onda da luz ultravioleta ao infravermelho próximo (Castellano et al., 2006; Retamales et al., 2008). Diversos autores apontam para efeitos positivos das telas fotosseletivas na fisiologia das plantas de maneira geral (Costa et al., 2018; Jokar et al., 2021; Manja and Aoun, 2019; Moura et al., 2022; Retamales et al., 2008; Stroka et al., 2021), e na qualidade dos frutos de macieira e outras culturas (Brkljača et al., 2016; Solomakhin and Blanke, 2010b; Stroka et al., 2021; Tinyane et al., 2013; Umanzor et al., 2017; Vuković et al., 2020, 2017).

A qualidade da maçã é determinada, principalmente, pela cor da casca, firmeza da polpa, doçura e quantidade de amido (Fioravanço et al., 2010; Girardi et al., 2015). Para obtenção de frutos de qualidade, é essencial que a colheita seja realizada no estágio de maturação correto, uma vez que frutos colhidos imaturos podem apresentar baixa qualidade sensorial e capacidade de armazenamento (Girardi et al., 2004). Por outro lado, maçãs colhidas em maturação excessiva também apresentam problemas como baixo tempo de armazenamento e podem vir a desenvolver polpa farinácea (Girardi et al., 2004).

Pelo clima do sul do Brasil, a colheita da maçã ‘Gala’ ocorre entre janeiro e março (Girardi et al., 2015), e a do seu clone ‘Galaxy’ em específico, em meados de fevereiro (Fioravanço et al., 2010). Diante disso, maçãs que possam ser colhidas mais cedo entram em uma janela de mercado onde ainda não há grande oferta. É conhecido que as telas antigranizo alteram o microclima no pomar (Green et al., 2003) e, dependendo de fatores como o genética (Amarante et al., 2011), manejo e clima (Boini et al., 2022), as respostas das plantas podem mudar. Adicionalmente, a fotosseletividade da tela, dependendo do tipo de característica espectral que ela altera na radiação solar (Boini et al., 2022), tem sido utilizada como

estratégia de manejo para modificar mecanismos fisiológicos da planta e melhorar a qualidade dos frutos. Na macieira, alguns estudos foram conduzidos acerca da qualidade dos frutos produzidos com uso de telas fotosseletivas (Boini et al., 2022; Brkljača et al., 2016; Fruk et al., 2016; Solomakhin and Blanke, 2010a, 2007), e um deles levou em consideração a qualidade durante o armazenamento de maçãs ‘Granny Smith’ (Vuković et al., 2020). Diante da carência de trabalhos que busquem investigar o tempo de maturação comercial e a qualidade pós-colheita das maçãs produzidas com o uso de telas, nosso trabalho buscou investigar a evolução da maturação, bem como a qualidade dos frutos no momento da colheita e pós-armazenamento em atmosfera comum de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas.

## **4.2. Material e Métodos**

### **4.2.1. Material vegetal e condições de desenvolvimento**

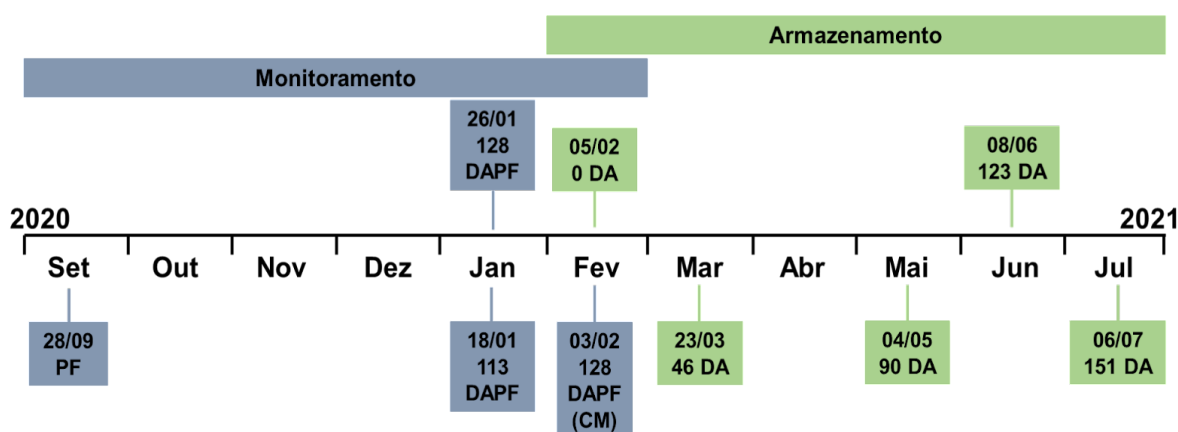
Maçãs ‘Galaxy’ foram colhidas no estágio de maturação comercial durante a safra 2020/2021 em um pomar comercial de topografia plana, localizado em Monte Alegre dos Campos (altitude 945 m, 28° 40' 33" S, 50° 47' 42" O). O clima é Cfa (subtropical, com verão quente) segundo a classificação de Köppen. O pomar foi instalado em 2013 em sistema de líder central sobre o porta-enxerto ‘M9’ e espaçamento de 3,70 m x 0,60 m. O manejo e os tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com as recomendações para o cultivo da macieira no estado do Rio Grande do Sul.

### **4.2.2. Condução experimental**

As plantas foram cultivadas sob seis tipos de tela de proteção antigranizo, ChromatiNet® Leno amarela; Leno preta, ChromatiNet® Leno pérola; ChromatiNet® Leno azul, ChromatiNet® Leno vermelha e tela mista (50% de filamentos na coloração branca e 50% preta), e uma área sob pleno sol (controle) (Apêndice A). As telas foram implantadas em 2016, em fileiras de 30 m, no ‘sistema capela’, sendo produzidas a partir de uma malha de 5,30 mm x 2,10 mm de monofilamentos de polietileno com sombreamento de 18%.

O experimento foi conduzido em duas etapas: monitoramento do avanço da maturação e armazenamento refrigerado (Figura 12). A etapa de monitoramento foi realizada em três datas durante a maturação dos frutos: 113 (18/01/21), 121 (26/01/21) e 128 (03/02/21,

colheita comercial) dias após a plena floração (28/09/20). As condições climáticas durante esse período encontram-se descritas no apêndice B. A avaliação do armazenamento refrigerado foi conduzida em 5 momentos: 0 dias (colheita), 46, 90, 123 e 151 dias de armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. Após a retirada da câmara refrigerada, os frutos foram mantidos em temperatura ambiente durante o período noturno para que houvesse o equilíbrio da temperatura da polpa. Um total de 420 frutos foram colhidos em cada data de monitoramento, em delineamento de blocos ao acaso (DBC), sendo 7 tratamentos em 3 blocos compostos por 20 frutos cada. Os frutos foram avaliados quanto a coloração de casca (cobrimento e fundo), firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), cor da semente, índice de regressão do amido (IRA), capacidade antioxidante (% de redução dos radicais ABTS e DPPH), teor de compostos fenólicos, clorofilas a, b, e totais, carotenoides, antocianinas, flavonoides e idaeina.



**Figura 12.** Etapas da condução dos experimentos de monitoramento da maturação e do armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum de maçãs ‘Galaxy’ produzidas em Monte Alegre dos Campos - RS, safra 2020/2021, sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas. PF: plena floração; DAPF: dias após a plena floração; CM: colheita comercial; DA: dias após o início do armazenamento.

#### 4.2.2.1. Coloração da casca

A coloração de fundo (lado oposto ao sol) e de cobrimento (lado exposto ao sol) da casca foi determinada utilizando o colorímetro digital CR-400 (Konica Minolta Inc., Chiyoda, Tóquio, Japão). Os resultados foram expressos em  $L^*$  (luminosidade, 0 (preto) a 100 (branco),  $C^*$  (saturação da cor), ângulo Hue (ângulo de tonalidade  $0^\circ$  a  $360^\circ$ ) e índice de cor (IC). O IC foi calculado utilizando a fórmula:  $IC = ((1000 \times a^*) / (L^* \times b^*))$  conforme descrito em Tessmer et al. (2016) e Tezotto-Uliana et al. (2013).

#### 4.2.2.2. Firmeza de polpa

Para a determinação da firmeza de polpa, foram realizadas medições na região equatorial dos frutos, em dois lados opostos, após a retirada de uma fina porção da casca, com penetrômetro digital (Fruit Texture Analyser, Güss Manufacturing Ltd., Strand, África do Sul) equipado com ponteira de 11 mm. Os resultados foram expressos em Newtons (N).

#### 4.2.2.3. Sólidos solúveis e acidez titulável

O teor de SS foi determinado utilizando um refratômetro digital (HI 96801, Hanna Instruments, Woonsocket, EUA). Os resultados foram expressos em °Brix. A AT foi quantificada pelo método da titulometria de neutralização, utilizando um pHmetro (FTP 905, Marconi Equipamentos para Laboratório Ltda., Piracicaba, Brasil). Os resultados foram expressos em % de ácido málico.

#### 4.2.2.4. Cor se semente e índice de regressão do amido

A cor da semente foi avaliada utilizando-se da escala de 1 a 4, sendo 1 = sementes imaturas (creme) e 4 = sementes maduras (marrom). O IRA foi definido pelo método de Werner (1989). Frutos cortados equatorial e transversalmente foram imersos, pela metade peduncular, em uma solução de iodo metálico e iodeto de potássio. A coloração foi registrada após 10 minutos e comparada à uma escala de 1 a 5, onde 1 = frutos totalmente verdes (baixa degradação do amido) e 5 = frutos com alto grau de maturação (alta degradação do amido).

#### 4.2.2.5. Capacidade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais

Para o preparo dos extratos, 0,50 g de amostra de polpa fresca foram homogeneizados em 10 mL de metanol 80%. Após 1 hora em repouso no escuro, os extratos foram centrifugados a 10.000 rpm e 4 °C durante 20 minutos (BR4i, Jouan, Paris, França). Após, as amostras foram filtradas e mantidas a -14 °C até o momento das análises.

A capacidade antioxidante baseada na redução do radical livre 2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolina) 6-ácido sulfônico (ABTS) foi determinada pelo método descrito por Re et

al. (1999). Para isso, 3 mL de solução ABTS foram adicionados a 30 µL de extrato. Após a reação homogeneizada e mantida ao abrigo da luz por 6 minutos, a absorbância foi lida a 734 nm em espectrofotômetro (V-M5, BEL Engineering®, Monza, Itália). Os resultados foram expressos em porcentagem de sequestro do radical ABTS (% inibição ABTS) foram obtidos pela fórmula: % Inibição ABTS =  $( ( A_{\text{branco}} - A_{734} ) \times 100 ) / ( A_{\text{branco}} )$ , onde A é o valor da absorbância medido.

A capacidade antioxidante pelo método de redução do radical livre 2,2-Difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) foi obtida seguindo o método descrito por Mensor et al. (2001). Uma alíquota de 0,50 mL de extrato foi homogeneizada em 3 mL de etanol PA e 0,3 mL de solução DPPH 0,5 mM. A absorbância foi medida a 517 nm em espectrofotômetro (V-M5, BEL Engineering®, Monza, Itália). O cálculo foi realizado pela fórmula: % Inibição DPPH =  $100 - [ ( ( A_{517} - A_{\text{branco}} ) \times 100 ) / ( A_{\text{CN}} ) ]$ ; e os resultados expressos em porcentagem de sequestro do radical DPPH (% inibição DPH). O branco utilizado constituiu em: 0,5 mL de extrato, 3,0 mL de etanol e 0,3 mL de metanol 80%, ao passo que o controle negativo (CN) em: 0,5 mL de metanol 80%, 3,0 mL de etanol e 0,3 mL da solução DPPH.

O teor de compostos fenólicos foi quantificado pelo método do reativo Folin-Ciocalteu descrito por Singleton e Rossi (1965). A absorbância da reação foi lida em espectrofotômetro (V-M5, BEL Engineering®, Monza, Itália) a 765 nm. Os resultados foram expressos em g de equivalente de ácido gálico (padrão) por Kg de massa fresca ( $\text{g EAG Kg}^{-1} \text{MF}$ ).

#### 4.2.2.6. Clorofilas a, b, totais e carotenoides totais

A determinação foi feita segundo o método de Hiscox e Israelstam (1979). Primeiramente, 50 mg de amostra fresca de casca fresca foi homogeneizada em 5 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) e mantida a  $25 \pm 5$  °C durante 48 horas na ausência de luz. Após esse período, os extratos foram centrifugados a 600 rpm durante 2 minutos e o sobrenadante foi coletado para realização das leituras em espectrofotômetro (V-M5, BEL Engineering®, Monza, Itália) a 665, 649 e 455 nm para determinação das clorofilas a, b e carotenoides, respectivamente. Os resultados foram expressos em  $\text{g Kg}^{-1} \text{MF}$ , obtidos pelas fórmulas:

$$\text{Clorofila a} = \{ [(12,9 * A_{665} - 3,45 * A_{649}) * \text{fator de diluição}] / 1,1 \} / 1000$$

$$\text{Clorofila b} = \{ [(21,99 * A_{649} - 5,32 * A_{655}) * \text{fator de diluição}] / 1,1 \} / 1000$$

$$\text{Clorofilas totais} = \text{clorofila a} + \text{clorofila b}$$

$$\text{Carotenoides totais} = \{ [(1000 * A_{455} - 2,14 * \text{clorofila a} - 70,16 * \text{clorofila b}) / 220]$$

$$* \text{fator de diluição} \} / 1,1 \} / 1000$$

#### 4.2.2.7. Teor de antocianinas e flavonoides totais

Os extratos foram preparados a partir de 50 mg de amostra de casca liofilizada (Liotop, L108, São Paulo, Brasil) e moída em 10 mL de solução 1% HCl + metanol 80%. Os extratos foram incubados ao abrigo da luz durante 12 horas a 4 °C, e então centrifugados a 10.000 rpm, 4 °C, durante 10 minutos.

A quantificação de antocianinas e flavonoides totais seguiu a metodologia adaptada descrita por Lees e Francis (1972) e Siegelman e Hendricks (1958). Uma alíquota do sobrenadante do extrato foi imediatamente coletada e a absorbância a 530 e 350 nm (antocianinas e flavonoides, respectivamente) foi lida em um espectrofotômetro (V-M5, BEL Engineering®, Monza, Itália). Os resultados, expressos g Kg<sup>-1</sup> de massa seca (MS), foram calculados por meio das fórmulas:

$$\text{Antocianinas totais} = (A_{530} * \text{fator de diluição}) / 98,2$$

$$\text{Flavonoides totais} = (A_{350} * \text{fator de diluição}) / 76,5$$

#### 4.2.2.8. Quantificação de idaeina por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)

O teor de idaeina (cianidina 3-galactosídeo), principal antocianina presente na maçã (Honda et al., 2002), foi quantificado utilizando o mesmo extrato feito para as análises espectrofotométricas de antocianinas e flavonoides totais. Os extratos foram filtrados em filtro de membrana PTFE hidrofílico 0,45 µm (Nova Analítica, São Paulo, Brasil). As análises foram conduzidas utilizando uma unidade CLAE analítica (LC-20AD, Shimadzu Co., Kyoto, Japão) acoplado com detector de arranjo de diodos e fluorescência (SPD-M10AVp, Shimadzu Co., Kyoto, Japão) e coluna Shimadzu ODS-A (4,6 mm × 250 mm, 5 µm). Foi injetada uma alíquota de 20 µL do extrato no cromatógrafo a um fluxo de 1,0 mL min<sup>-1</sup>. A fase móvel constituiu de ácido fórmico/água (1/10, v/v) (A) e metanol (B). O gradiente foi de: inicialmente 5% de B, 60% em 20 minutos, 100% em 25 minutos, mantido em 100% de B durante 5 minutos e reduzido para 5% em 38 minutos. A duração total da corrida foi de 48 minutos. A temperatura da coluna permaneceu a 28 °C. O software Class-VP® (Shimadzu Co., Kyoto, Japão) foi utilizado para análise dos cromatogramas. O padrão autêntico cloreto de idaeina (cianidina 3-galactosídeo) (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EUA) foi utilizado para a quantificação. A identificação da idaeina foi feita pela comparação entre o tempo de retenção do padrão autêntico. A curva padrão de idaeina foi utilizada para o cálculo dos resultados, que foram expressos em g kg<sup>-1</sup> MS.

### 4.2.3. Análise estatística

#### 4.2.3.1. Análises quimiométricas

Devido ao grande número de variáveis estudadas (23 variáveis), uma análise multivariada exploratória de dados, por componentes principais (*Principal Component Analysis* – PCA) foi primeiramente aplicada ao conjunto de dados do ensaio de monitoramento da maturação, fixando o tempo como base para discriminação das amostras de acordo com os tratamentos. A modelagem de classificação multivariada supervisionada por Análise Discriminante por Mínimos Quadrados Parciais (*Partial Least Squares Discriminant Analysis* - PLS-DA) foi desenvolvida fixando os tratamentos como base na matriz de dados, para assim obter a variabilidade dos atributos mais relevantes para cada tratamento ao longo do período. A análise por Importância das Variáveis na Projeção (*Variables Importance for Projection* - VIP) foi utilizada por fim para obter as variáveis mais importantes para discriminação das amostras. O número de variáveis latentes (*Latent Variables* - LV) foi selecionado com base nos parâmetros estatísticos apresentados na Tabela 2. O programa utilizado para importação das matrizes de dados e análises multivariadas foi o PLS Toolbox™ (versão 8.6.2, Eigenvector Research Incorporated, Manson, WA, EUA).

Para o ensaio de armazenamento refrigerado, a análise de regressão multivariada por Mínimos Quadrados Parciais (*Partial Least Squares* – PLS) (Apêndice C) utilizando o software Unscrambler 7.8 (Camo Inc., Oslo, Noruega), foi empregada em cada tratamento, a fim de investigar a correlação entre os atributos ao longo do tempo. Todos os dados foram autoescalados e o número de LVs foi escolhido com base nos parâmetros apresentados na Tabela 5. A precisão das calibrações foi avaliada com base no  $R^2$  de predito x medido na validação cruzada e razão entre o erro da validação cruzada (RMSECV) e da predição (RMSEP). A análise por VIP foi posteriormente empregada para obter os atributos mais relevantes.

#### 4.2.3.2. Análises univariadas

A análise de variância (ANOVA) fator simples foi empregada para certificar a significância das variáveis destacadas pelas análises VIP tanto para o ensaio de monitoramento da maturação, quanto para o de armazenamento refrigerado. Posteriormente, o teste de comparação de médias de Tukey 5% ( $p > 0,05$ ) foi aplicado para comparação das

médias. O programa utilizado para as análises univariadas foi o RStudio 3.5.0 (Posit, Boston, MA, EUA) e software Origin™ 9.3 (OriginLab, Northampton, MA, EUA) foi utilizado para confecção dos gráficos.

### 4.3. Resultados

#### 4.3.1. Qualidade pré-colheita de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob telas fotosselativas

Devido à alta complexidade das matrizes de dados (compostas por 23 variáveis e 7 tratamentos em 3 datas de coleta), uma abordagem estatística diferente foi realizada a fim de reduzir a dimensionalidade das matrizes e melhor explorar os dados. Foi desenvolvida então, uma análise multivariada exploratória por PCA, a fim de observar a variabilidade dos dados. A Figura 13 ilustra os gráficos de *scores* e *loadings* em PC1 x PC2 para cada data de coleta.

Em 113 dias após a plena floração, 43,84% da variância total foi representada em PC1 e PC2, sendo que PC1 reteve a maior parte da variância (28,16%) (Figura 13a e 13b). A área sob pleno sol agrupou-se em *scores* negativos de PC1, influenciada por altos valores de AT, SS, capacidade antioxidante pela redução do radical ABTS, teor de antocianinas totais e idaeina, compostos fenólicos e flavonoides totais, firmeza, C\* da cor de cobrimento, IC de fundo e cobrimento e cor de semente. O tratamento controle (pleno sol) apresentou distribuição fortemente oposta às telas preta e pérola, que mostraram maior tendência a apresentarem altos valores de variáveis que representam atraso na maturação, como clorofilas, carotenoides, L\* e ângulo Hue de fundo e cobrimento e C\* da cor de fundo. As telas azul e amarela se opuseram ao pleno sol em menor intensidade, apresentando variabilidade intermediária. As telas mista e vermelha apresentaram distribuição imprecisa das amostras entre os *scores* dos dois PCs.

A avaliação dos frutos colhidos 121 dias após a plena floração indicou que a maior parte da variância total foi representada em PC1 e PC2 (49,85%) (Figura 13c e 13d). A área sob pleno sol e a tela preta mostraram clara separação dos *scores*, influenciada por altos valores concomitantes das mesmas variáveis observadas na avaliação anterior. As telas pérola e vermelha mostraram uma oposição mais leve aos *scores* de pleno sol. A tela pérola apresentou distribuição mais imprecisa. A tela vermelha influenciou maiores valores de firmeza, compostos fenólicos, AT, L\*, C\* e Hue de fundo e cobrimento em *scores* negativos de PC1 e PC2, e de L\*, C\* e Hue de fundo e L\* e hue de cobrimento, em *scores* positivos de

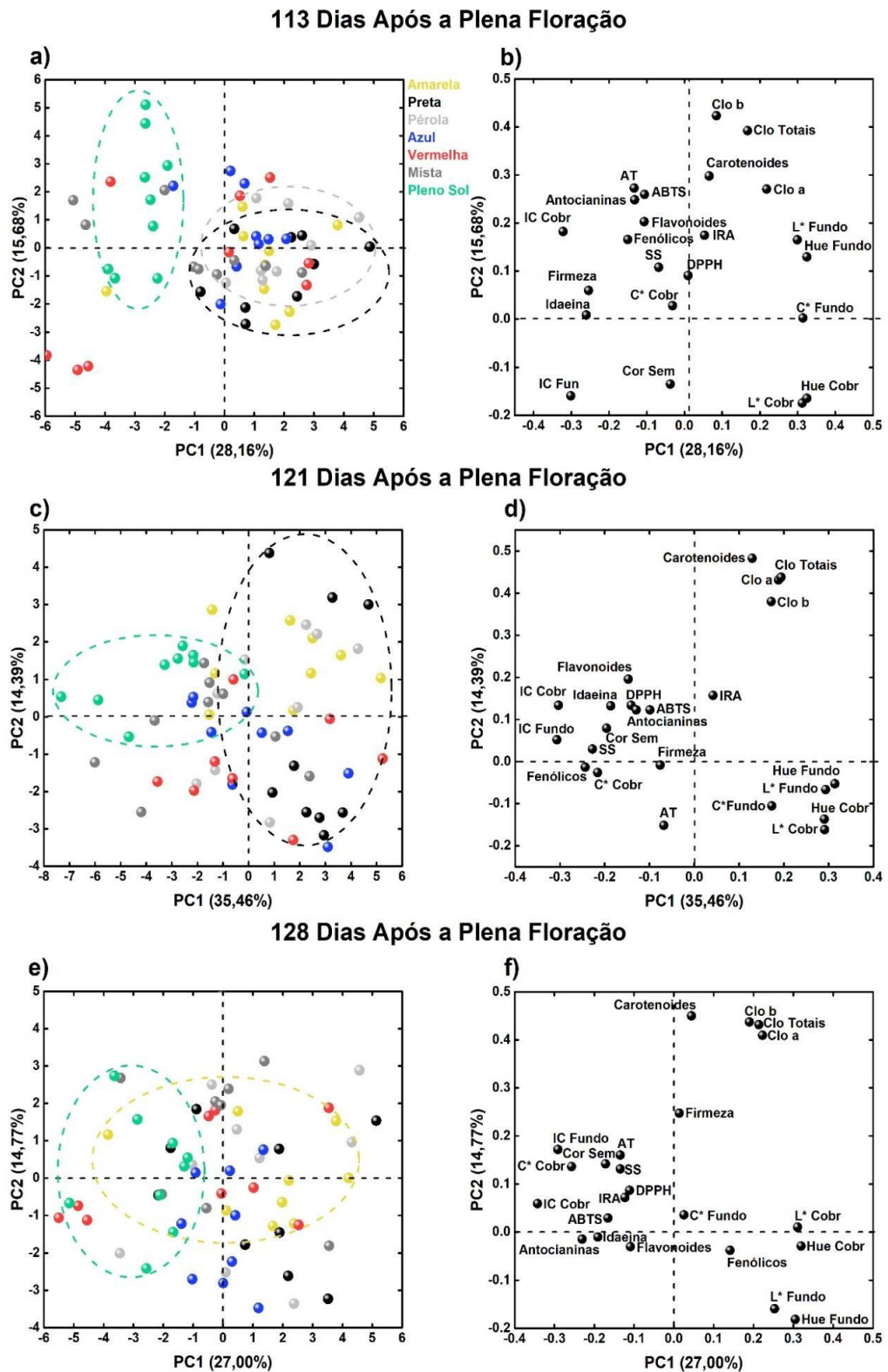


PC1 e negativos de PC2. A tela mista manteve-se com os *scores* dispersos de forma imprecisa, e as telas azul e amarela apresentaram uma aproximação dos *scores* de pleno sol.

PC1 e PC2 retiveram a menor parte da variância total em 181 dias após a plena floração (41,77%), sendo que as telas apresentaram distribuição mais imprecisa entre as pontuações positivas e negativas dos PCs (Figura 13e e 13f). A área sob pleno sol manteve o agrupamento semelhante às duas datas anteriores e apresentou leve oposição à tela amarela. A tela amarela foi influenciada por altos valores de clorofila, carotenoides, firmeza, compostos fenólicos e  $L^*$  e Hue da cor de fundo e de cobrimento, indicando maturação mais retardada dos frutos em relação aos demais tratamentos, mesmo na fase de colheita. A tela mista manteve a distribuição imprecisa durante todo o período avaliado.

A fim de se obter os atributos mais relevantes para cada tratamento durante a maturação das maçãs, foi desenvolvida uma análise de classificação multivariada por PLS-DA. Os parâmetros estatísticos descritos na Tabela 2 indicam o bom ajuste dos modelos. Foram descritos na Tabela 3, parâmetros de referência para comparação com a qualidade comercial ideal das maçãs 'Galaxy', e dessa forma comparar a data de maturação dos frutos de cada tratamento. A relevância dos atributos foi obtida pela análise VIP. Os parâmetros na Figura 14, com valores acima de 1,00 representam os mais relevantes para cada tratamento. Adicionalmente uma análise de variância fator simples foi desenvolvida a fim de certificar a significância das variáveis ressaltadas pela análise VIP (Figura 14). Posteriormente, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey 5%, a fim de observar o atingimento da maturação comercial dos frutos de cada tratamento (Tabela 4).

A tela amarela apresentou frutos com maiores valores de sólidos solúveis (9,60 °Brix), IRA (2,82) e cor da semente (3,34) somente na colheita comercial, em 128 dias após a plena floração (Tabela 4). A acidez titulável, apresentou valores médios de 0,32% de ácido málico em 121 dias após a plena floração, próximos ao ideal para a colheita (Tabela 3). Após 128 dias, a AT sofre outra redução para 0,31% de ácido málico.



**Figura 13.** PCA resultante da avaliação física e química de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas durante o monitoramento da maturação dos frutos. *Scores* e *loadings*, respectivamente, em PC1 x PC2 das maçãs a, b: em 113 dias após a plena floração; c e d) 121 dias após a plena floração e 128 dias após a plena floração (colheita comercial). Cobr: cor de cobertura; IC: índice de cor; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido; Cor Sem: cor da semente; Clo: clorofila.

**Tabela 2.** Parâmetros estatísticos obtidos pela modelagem de classificação multivariada PLS-DA de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas em 113, 121 e 128 dias após a plena floração.

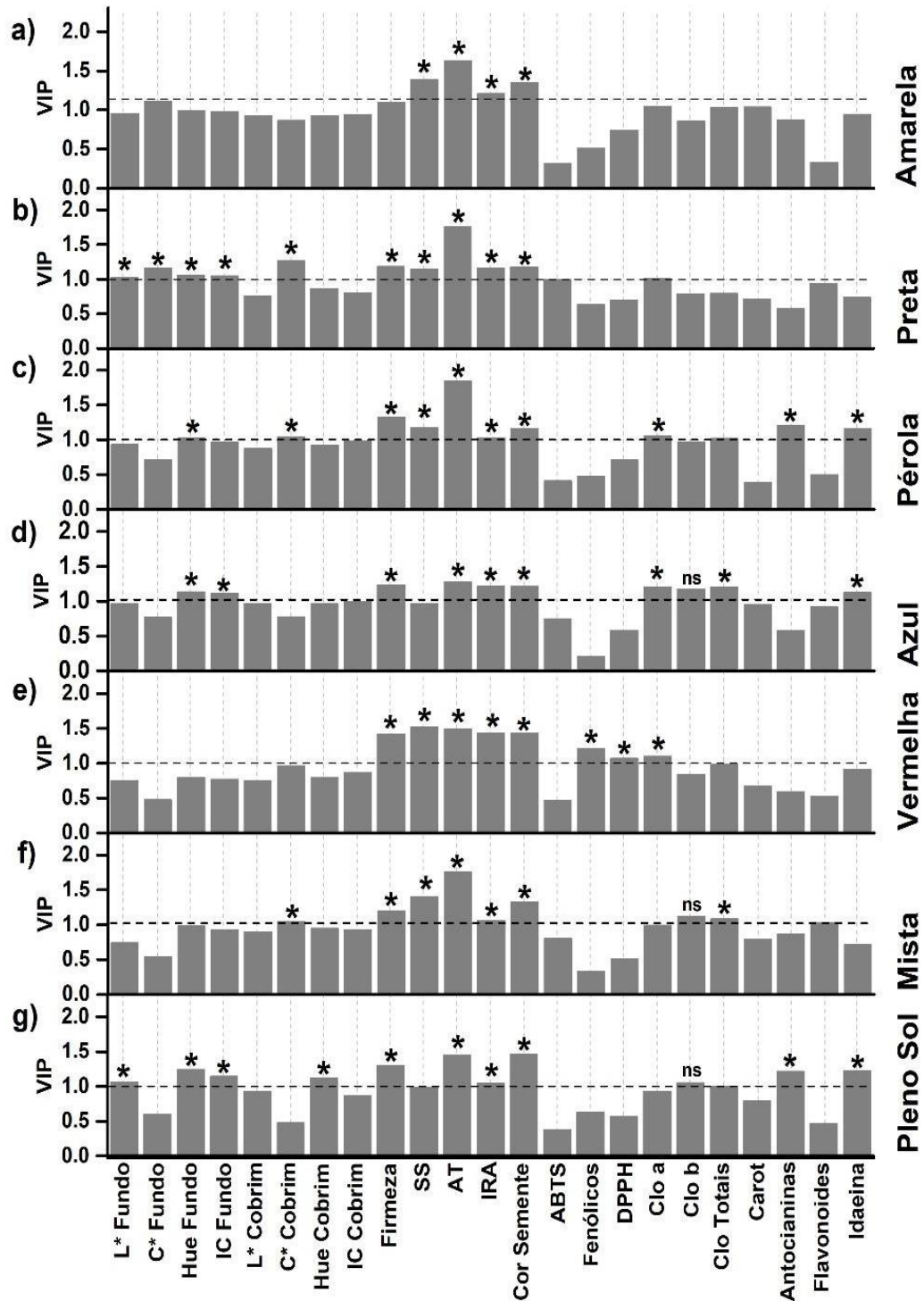
	Amarela	Preta	Pérola	Azul	Vermelha	Mista	Pleno Sol
Número de LVs	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	4,00	2,00
Variância capturada (%) <sup>a</sup>	74,82	71,81	67,19	74,68	71,46	76,82	56,09
RMSEC <sup>b</sup>	0,13	0,14	0,11	0,12	0,17	0,10	0,20
RMSECV <sup>c</sup>	0,21	0,19	0,18	0,18	0,21	0,17	0,22
RMSEC / RMSECV <sup>d</sup>	0,64	0,72	0,65	0,70	0,84	0,61	0,89
Bias <sup>e</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CV Bias <sup>f</sup>	-0,02	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00	0,00
R <sup>2</sup> Cal <sup>g</sup>	0,92	0,92	0,94	0,95	0,86	0,95	0,83
R <sup>2</sup> CV <sup>h</sup>	0,81	0,84	0,77	0,76	0,81	0,87	0,78
CV Sensibilidade	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
CV Especificidade	1,00	1,00	1,00	0,94	1,00	1,00	0,89

<sup>a</sup>Percentual total de variância na matriz x, refere-se todas as variáveis latentes (LV); <sup>b</sup>Raiz quadrada média do erro de calibração; <sup>c</sup>Raiz quadrada média do erro de validação cruzada; <sup>d</sup>Índice de similaridade; <sup>e</sup>Diferença média entre o estimador e o grupo real durante a calibração; <sup>f</sup>Diferença média entre o estimador e o grupo real durante a validação cruzada; <sup>g</sup>Coefficiente de correlação entre o valor o valor previsto durante a calibração; <sup>h</sup>Coefficiente de correlação entre o valor o valor previsto durante a validação.

**Tabela 3.** Parâmetros de qualidade comercial de maçãs ‘Galaxy’ utilizados para o estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

Parâmetros	Referência
Época de colheita	Fevereiro
SS (°Brix)	13,60
Cor de cobrimento	Uniformemente vermelha na maior parte do fruto
Cor de fundo	Estrias vermelhas sobre o fundo amarelo
Firmeza (N)	81,40
IRA	4,27
AT (% ácido málico)	0,37

Fioravanço et al., 2010  
Argenta et al., 2021



**Figura 14.** *Loadings* mais relevantes para a discriminação das amostras obtidos pela análise VIP de amostras de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas, durante o monitoramento da maturação dos frutos. IC: índice de cor; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido; Clo: clorofila; carot: carotenoides. \*: significativo pela análise de variância para os atributos mais relevantes. ns: não significativo pela análise de variância.

**Tabela 4.** Médias dos atributos mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a análise VIP de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas, amarela, preta, pérola, azul, vermelha, mista e em pleno sol, em 113, 121 e 128 (colheita comercial) dias após a plena floração. DAPF: dias após a plena floração F: cor de fundo; h° F: ângulo Hue; IC F: índice de cor; C: cor de cobrimento; Firm: firmeza; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido; CS: cor de semente; Fenol: compostos fenólicos totais; Clo: clorofila; T: totais; Antoc: antocianinas totais; Idae: idaeina.

(continua)

DAP F	L* F	C* F	h° F	IC F	C* C	h° C	Firm	SS	AT	IRA	CS	Fenol	DPPH	Clo a	Clo T	Antoc	Idae
Amarela																	
113	-	-	-	-	-	-	-	8,62 c	0,44 a	1,04 c	1,98 c	-	-	-	-	-	-
121	-	-	-	-	-	-	-	9,13 b	0,32 b	1,87 b	2,54 b	-	-	-	-	-	-
128	-	-	-	-	-	-	-	9,60 a	0,31 c	2,82 a	3,34 a	-	-	-	-	-	-
Preta																	
113	71,26a	35,96 a	101,20 a	-0,27 b	31,93 ab	-	86,32 a	8,65 c	0,47 a	1,91 c	1,99 c	-	-	-	-	-	-
121	69,03 a	32,89 b	90,13 b	0,07 b	30,50 b	-	80,04 b	9,07 b	0,32 b	1,80 c	2,64 b	-	-	-	-	-	-
128	63,48 b	33,23 b	71,93 c	0,84 a	32,00 a	-	76,68 b	9,68 a	0,29 c	2,88 a	3,38 a	-	-	-	-	-	-
Pérola																	
113	-	-	97,91 a	-	30,20 b	-	86,10 a	8,89 b	0,43 a	1,24 b	2,28 b	-	-	0,03 a	-	2,60 c	0,24 b
121	-	-	86,33 b	-	31,09 b	-	80,23 b	9,57 a	0,30 b	2,08 a	2,65 b	-	-	0,02 b	-	5,05 b	0,53 b
128	-	-	76,04 c	-	32,75 a	-	77,60 b	9,53 a	0,28 c	2,46 a	3,51 a	-	-	0,02 b	-	8,10 a	1,35 a
Azul																	
113	-	-	99,23 a	-0,23 c	-	-	87,32 a	-	0,49 a	1,18 c	2,07 c	-	-	0,03 a	0,54 a	-	0,35 c

**Tabela 4.** Médias dos atributos mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a análise VIP de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas, amarela, preta, pérola, azul, vermelha, mista e em pleno sol, em 113, 121 e 128 (colheita comercial) dias após a plena floração. F: cor de fundo; h°: ângulo Hue; IC: índice de cor; C: cor de cobrimento; Firm: firmeza; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido; CS: cor de semente; Fenol: compostos fenólicos totais; Clo: clorofila; T: totais; Antoc: antocianinas totais; Idae: idaeina.

<b>(conclusão)</b>																	
DAP	L* F	C* F	h° F	IC F	C* C	h° C	Firm	SS	AT	IRA	CS	Fenol	DPPH	Clo a	Clo T	Antoc	Idae
<b>Azul</b>																	
121	-	-	83,63 b	0,27 b	-	-	77,21 b	-	0,32 b	2,18 b	2,67 b	-	-	0,02 b	0,38 b	-	0,51 b
128	-	-	73,85 c	0,66 a	-	-	76,59 b	-	0,29 c	3,18 a	3,43 a	-	-	0,01 c	0,32 c	-	0,60 a
<b>Vermelha</b>																	
113	-	-	-	-	-	-	89,51 a	8,98 c	0,46 a	1,12 c	1,96 c	0,95 b	84,51 a	0,03 a	-	-	-
121	-	-	-	-	-	-	82,43 b	9,47 b	0,32 b	1,71 b	2,63 b	1,23 a	67,32 b	0,02 b	-	-	-
128	-	-	-	-	-	-	77,94 c	10,43 a	0,31 b	3,31 a	3,57 a	0,91 b	62,69 b	0,02 b	-	-	-
<b>Mista</b>																	
113	-	-	-	-	31,06 b	-	91,50 a	8,78 c	0,48 a	1,31 b	2,23 c	-	-	-	0,50 a	-	-
121	-	-	-	-	32,23 ab	-	85,94 b	9,90 b	0,33 b	1,44 b	2,74 b	-	-	-	0,39 b	-	-
128	-	-	-	-	33,64 a	-	80,16 c	10,53 a	0,33 b	2,92 a	3,65 a	-	-	-	0,38 b	-	-
<b>Pleno Sol</b>																	
113	68,70 a	-	89,59 a	0,29 b	-	48,93 a	90,45 a	-	0,51 a	1,50 b	2,01 c	-	-	-	-	4,78 b	0,48 c
121	63,53 b	-	72,21 b	0,85 a	-	38,38 b	81,73 b	-	0,32 b	2,00 b	2,89 b	-	-	-	-	5,88 b	0,92 b
128	56,78 b	-	63,29 c	10,67 a	-	38,16 b	78,33 c	-	0,30 b	2,73 a	3,64 a	-	-	-	-	10,77 a	1,31 a

As macieiras cultivadas sob tela preta mantiveram a luminosidade da cor de fundo dos frutos acima da metade da escala (escala de luminosidade, de 0 a 100) durante todo o tempo, apresentando decréscimo apenas na colheita comercial, em 128 dias após a plena floração (Tabela 4). As médias de ângulo Hue indicaram coloração de 71,93° apenas na colheita comercial. A firmeza e acidez atingiram valores médios próximos ao esperado (Tabela 3) em 121 dias após a plena floração (80,04 N e 0,32% de ácido málico, respectivamente), ao passo que os maiores teores de SS (9,68 °Brix), bem como sementes mais maduras (3,38) foram atingidos apenas na data da colheita comercial.

A tela pérola apresentou início de ganho da coloração vermelha no fundo (Hue) e aumento da saturação (C\*) da cor de cobrimento dos frutos apenas na colheita (médias de 76,04° e 37,75, respectivamente), mas a firmeza e a AT atingiram os valores esperados em 121 dias após a plena floração (80,23 N e 0,30% de ácido málico) (Tabela 4). Os maiores valores de SS e IRA (9,57 °Brix e 2,08, respectivamente), e os menores teores de clorofila a (0,02 g Kg<sup>-1</sup> MF), foram observados em 121 dias após a plena floação. As maiores médias de antocianinas totais e idaeina foram de 8,10 g kg<sup>-1</sup> MS e 1,35 g kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente, no momento da colheita comercial (128 dias após a plena floração).

Os frutos provenientes do cultivo sob tela azul apresentaram as maiores médias de IC do fundo, IRA, cor de semente, clorofilas a e totais, e idaeina (respectivamente de 0,66, 3,18, 3,43, 0,10 g Kg<sup>-1</sup> MF, 0,32 g Kg<sup>-1</sup> MF e 0,60 g Kg<sup>-1</sup> MS) na data da colheita comercial (Tabela 4). A firmeza e a acidez alcançaram médias próximas às esperadas (Tabela 3) após 121 da plena floração (77,21 N e 0,32 % de ácido málico, respectivamente).

A tela vermelha evidenciou frutos com firmeza média de 82,43 N, teor de SS de 9,47 °Brix, AT em 0,32% de ácido málico, compostos fenólicos totais em 1,23 g EAG Kg<sup>-1</sup> MF, capacidade antioxidante de 67,32% de redução do radical DPPH e 0,02 g de clorofila a Kg<sup>-1</sup> MF, em 121 dias após a plena floração (Tabela 4). Na colheita comercial, foram atingidas as maiores médias de SS (10,43 °Brix), IRA (3,31) e cor de semente (3,57), à medida que nenhuma variável física de cor foi destacada dentre as mais relevantes.

As maçãs produzidas sob a tela mista apresentaram na colheita, os melhores valores de firmeza (80,16 N), SS (10,53 °Brix), IRA (2,92) e cor de semente (3,65) (Tabela 4). Somente a AT e o teor de clorofilas totais atingiram melhores médias a partir de 121 dias após a plena floação (0,33% de ácido málico e 0,39 g Kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente).

A área sob pleno sol (sem cobertura) apresentou maçãs com coloração de 72,21° (Hue) e de cobrimento de 38,38° (Hue), firmeza média de 81,73 N, e AT de 0,32% de ácido málico logo aos 121 dias após a plena floração. No momento da colheita as maiores médias foram de

ângulo Hue do fundo, em 63,29°, IRA (2,73), cor de semente (3,64), antocianinas totais (10,77 g Kg<sup>-1</sup> MS) e idaeina (1,31 g Kg<sup>-1</sup> MS).

#### 4.3.2. Qualidade pós-colheita de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob telas fotosselativas

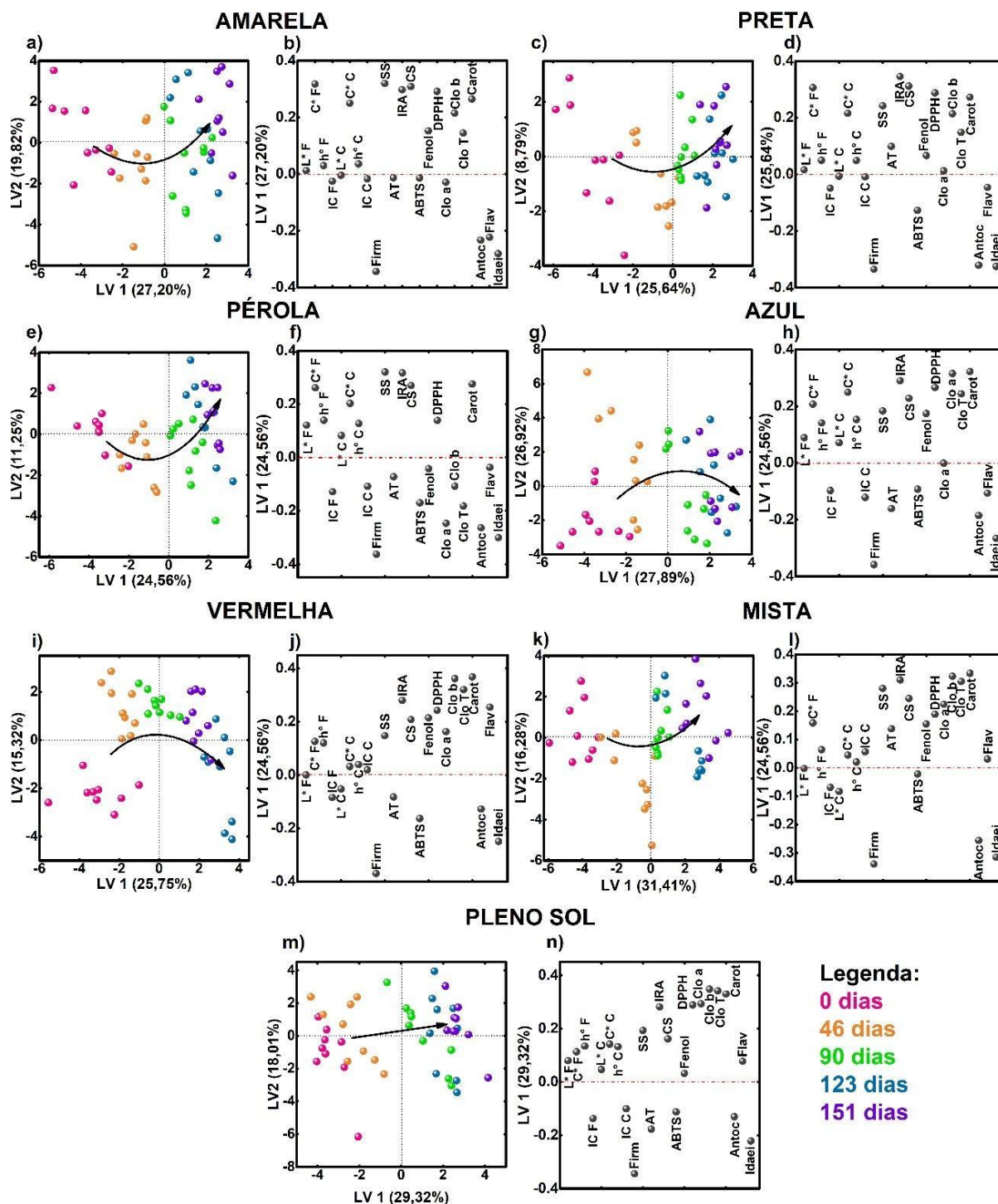
Um modelo supervisionado de regressão multivariada por PLS (Apêndice C) foi aplicado à matriz de dados de armazenamento para cada tratamento (23 variáveis x 5 momentos de avaliação). Na Tabela 5 constam os parâmetros estatísticos utilizados para avaliar a qualidade dos modelos. Todas as regressões mostraram alta correlação de todos os atributos com os períodos de armazenamento (valores altos de R<sup>2</sup>). A Figura 3 ilustra, para cada tratamento, os gráficos de *scores* em LV1 x LV2 e *loadings* em LV1 dos resultados das regressões por PLS.

**Tabela 5.** Parâmetros estatísticos obtidos pela modelagem de regressão multivariada por regressão PLS para maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas o armazenamento a 0 ± 1 °C 90 ± 5% UR em atmosfera comum.

	Amarela	Preta	Pérola	Azul	Vermelha	Mista	Pleno Sol
Número de LVs	4,00	5,00	6,00	4,00	4,00	3,00	3,00
Variância capturada (%) <sup>a</sup>	59,02	74,64	78,96	64,45	67,19	60,74	58,36
RMSEC <sup>b</sup>	10,31	13,99	9,15	12,49	13,88	12,28	12,95
RMSECV <sup>c</sup>	15,64	20,24	14,20	19,11	21,05	16,83	16,77
RMSEC / RMSECV <sup>d</sup>	0,66	0,69	0,64	0,65	0,66	0,73	0,77
RMSEP <sup>e</sup>	7,28	8,33	6,01	8,64	10,91	9,23	10,24
CV Bias <sup>f</sup>	-0,19	0,02	0,46	-0,16	-0,65	0,02	1,00
R <sup>2</sup> Cal <sup>g</sup>	0,96	0,93	0,97	0,95	0,93	0,95	0,94
R <sup>2</sup> CV <sup>h</sup>	0,92	0,86	0,93	0,88	0,85	0,90	0,90
R <sup>2</sup> Pred <sup>i</sup>	0,98	0,98	0,99	0,98	0,96	0,97	0,96

<sup>a</sup>Percentual total de variância na matriz x, refere-se todas as variáveis latentes (LV); <sup>b</sup>Raiz quadrada média do erro de calibração; <sup>c</sup>Raiz quadrada média do erro de validação cruzada; <sup>d</sup>Índice de similaridade; <sup>e</sup>Raiz quadrada média do erro da previsão; <sup>f</sup>Diferença média entre o estimador e o grupo real durante a validação cruzada; <sup>g</sup>Coefficiente de correlação entre o valor e o valor previsto durante a calibração; <sup>h</sup>Coefficiente de correlação entre o valor e o valor previsto durante a validação; <sup>i</sup>Coefficiente da predição.





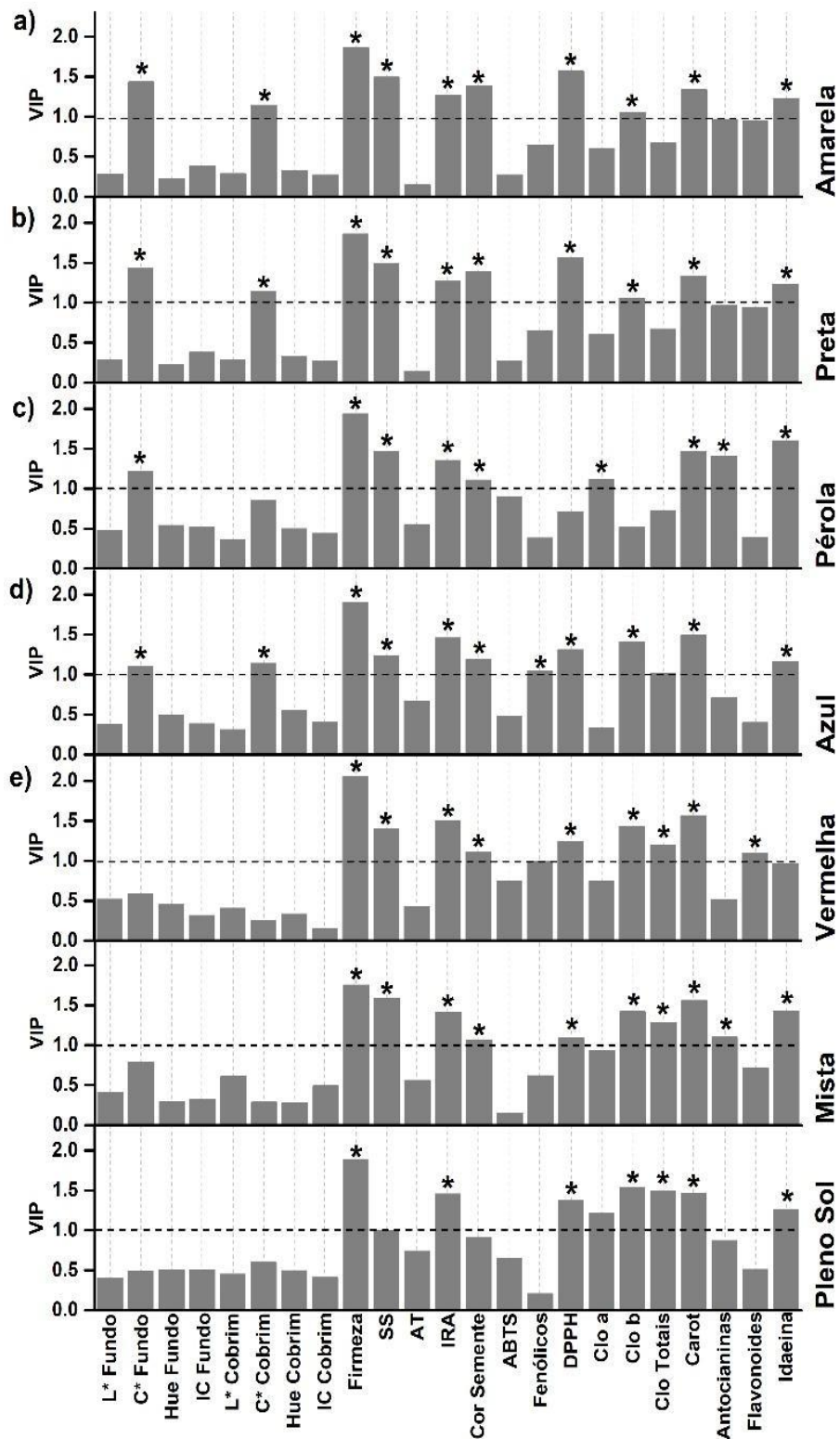
**Figura 15.** Resultados da regressão multivariada por PLS resultante da avaliação físico-química de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas durante o armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5$  % UR em atmosfera comum. Scores em LV1 x LV2 e loadings em LV1, respectivamente das maçãs produzidas sob a, b: tela amarela; c e d) tela preta; e) e f) tela pérola; g) e h) tela azul; i) e j) tela vermelha; k) e l) tela mista e m) e n) pleno sol (controle). IC: índice de cor; SS: sólidos solúveis; F: coloração de fundo; C: coloração de cobrimento; IC: índice de cor; h°: ângulo Hue; Firm: firmeza; AT: acidez titulável; SS: sólidos solúveis; IRA: índice de regressão do amido; CS: cor da semente; Fenol: compostos fenólicos totais; Clo: clorofila; T: totais; Carot: carotenoides; Antoc: antocianinas totais; Flav: flavonoides totais; Idaei: Idaena. Seta indica o progresso do amadurecimento.

Os resultados das análises de regressão multivariada por PLS ressaltou que os *scores* em LV1 e LV2 das telas amarela, preta, pérola e mista (Figura 15a, 15c 15e e 15k) apresentam comportamento de evolução do amadurecimento dos frutos durante o armazenamento refrigerado, oposto ao apresentado pelas telas azul e vermelha (Figura 15g e 15j). A área sob pleno apresentou valores bem distribuídos entre os *scores* positivos e negativos de LV1 e LV2 (Figura 15m).

As avaliações ao longo do armazenamento refrigerado mostraram que os tratamentos de forma geral, apresentaram comportamento semelhante de distribuição em LV1 (Figura 15a-n). Em 0 e 46 dias de armazenamento todos os tratamentos apresentaram agrupamento em *scores* negativos de LV1. Já nos últimos períodos, em 90, 123 e 151 dias de armazenamento, com exceção da tela vermelha, os tratamentos permaneceram agrupados em *scores* positivos de LV1. A tela vermelha em 90 dias, apresentou *scores* em valores positivos e negativos de LV1, sendo que à medida que o armazenamento avançou para 123 e 151 dias, os agrupamentos se deslocaram para direita, assim como os demais tratamentos, em *scores* positivos de LV1 (Figura 15i-j).

Para melhor avaliar a diferença de distribuição das amostras de cada tratamento nos *scores* em LV1 x LV2, observada pela análise por PLS, e obter os atributos mais relevantes, a análise VIP foi empregada (Figura 16). Posteriormente as análises univariadas, ANOVA fator simples (Figura 16) e teste de Tukey 5% (Tabela 6) para comparação das médias, foram empregadas sobre os atributos destacados pela análise VIP.

As macieiras cultivadas com uso da tela amarela apresentaram frutos com maiores médias de saturação (C\*) da cor de fundo e de cobrimento da casca após 151 dias de armazenamento refrigerado (38,06 e 36,72, respectivamente), entretanto esses valores não diferiram dos valores médios observados a partir dos 90 dias de armazenamento (Tabela 6). A firmeza de polpa apresentou média de 65,55 N aos 90 dias de armazenamento, não diferindo das médias até o final do armazenamento. Da mesma forma, o teor de SS, IRA, clorofila b e idaeina apresentaram médias de 11,27 °Brix, 5,00, 0,02 g Kg<sup>-1</sup> MF e 0,52 g Kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente, aos 90 dias, sem diferir das médias até os 151 dias de armazenamento. A cor de semente atingiu o valor máximo da escala (4,00) após 46 dias. A capacidade antioxidante obtida pela redução do radical DPPH, aumentou ao final do período de armazenamento, atingindo as maiores médias (97,02% redução DPPH). O teor de carotenoides totais apresentou um pico aos 123 dias, onde apresentou a maior média (6,61 g Kg<sup>-1</sup> MF), entretanto após 151 dias, o teor de carotenoides totais foi semelhante estatisticamente aos apresentados pelos frutos nas três primeiras datas de avaliação.



**Figura 16.** *Loadings* mais relevantes para a discriminação das amostras obtidos pela análise VIP de amostras de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas, durante o armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. IC: índice de cor; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; SS: sólidos solúveis; IRA: índice de regressão do amido; Clo: clorofila; carot: carotenoides. \*: significativo pela análise de variância para os atributos mais relevantes.

**Tabela 6.** Médias dos atributos mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a análise VIP de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas, amarela, preta, pérola, azul, vermelha, mista e em pleno sol, na colheita (0 dias) e aos 46, 90, 123 e 151 dias após o armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5$  % UR em atmosfera comum. F: cor de fundo; h°: ângulo Hue; IC: índice de cor; C: cor de cobrimento; Firm: firmeza; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido; CS: cor de semente; Fenol: compostos fenólicos totais; Clo: clorofila; T: totais; Carot: carotenoides totais; Antoc: antocianinas totais; Flav: flavonoides totais; Idaei: idaeina.

(continua)

Dias	C* F	C* C	Firm	SS	IRA	CS	Fenol	DPPH	Clo a	Clo b	Clo T	Carot	Antoc	Flav	Idaei
Amarela															
0	33,64 c	33,85 c	74,39 a	10,13 c	3,73 b	3,49 b	-	83,22 c	-	0,02 bc	-	4,14 c	-	-	1,29 a
46	35,35 bc	34,45 bc	70,67 b	10,87 b	4,85 b	4,00 a	-	83,56 c	-	0,01 c	-	4,12 c	-	-	1,04 a
90	36,71 ab	35,90 ab	65,55 c	11,27 a	5,00 a	4,00 a	-	91,88 b	-	0,02 abc	-	5,00 bc	-	-	0,52 b
123	37,28 ab	35,61 abc	62,11 c	11,10 ab	5,00 a	4,00 a	-	90,34 b	-	0,02 a	-	6,61 a	-	-	0,72 b
151	38,06 a	36,72 a	55,45 c	11,33 a	5,00 a	4,00 a	-	97,02 a	-	0,02 ab	-	5,49 b	-	-	0,58 b
Preta															
0	33,03 c	33,81 b	73,46 a	10,10 b	3,86 b	3,27 b	-	85,08 c	-	0,02 b	-	4,15 c	-	-	1,31 a
46	36,06 b	35,21 ab	70,51 ab	10,93 a	4,98 a	4,00 a	-	88,81 bc	-	0,02 ab	-	4,50 bc	-	-	1,31 a
90	36,38 ab	34,81 ab	67,94 b	11,03 a	5,00 a	4,00 a	-	81,20 bc	-	0,02 b	-	6,00 a	-	-	0,58 b
123	37,06 ab	36,25 ab	61,96 c	11,00 a	5,00 a	4,00 a	-	93,97 ab	-	0,02 ab	-	6,26 a	-	-	0,26 c
151	37,90 a	36,80 a	58,86 d	10,87 a	5,00 a	4,00 a	-	97,05 a	-	0,02 a	-	5,71 ab	-	-	0,54 bc
Pérola															
0	34,10 b	-	73,81 a	10,40 c	3,84 b	3,52 b	-	-	0,02 a	-	-	4,71 d	11,90 a	-	1,64 a

**Tabela 6.** Médias dos atributos mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a análise VIP de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas, amarela, preta, pérola, azul, vermelha, mista e em pleno sol, na colheita (0 dias) e aos 46, 90, 123 e 151 dias após o armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. F: cor de fundo; h°: ângulo Hue; IC: índice de cor; C: cor de cobrimento; Firm: firmeza; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido; CS: cor de semente; Fenol: compostos fenólicos totais; Clo: clorofila; T: totais; Carot: carotenoides totais; Antoc: antocianinas totais; Flav: flavonoides totais; Idae: idaeina.

(continua)

Dias	C* F	C* C	Firm	SS	IRA	CS	Fenol	DPPH	Clo a	Clo b	Clo T	Carot	Antoc	Flav	Idae
Pérola															
46	35,67 ab	-	71,13 a	11,27 b	5,00 a	4,00 a	-	-	0,01 b	-	-	4,90 cd	10,10 ab	-	1,25 a
90	36,21 ab	-	64,64 b	11,67 a	5,00 a	4,00 a	-	-	0,01 b	-	-	5,69 bc	8,02 bc	-	0,74 b
123	37,02 a	-	59,58 c	11,40 b	5,00 a	4,00 a	-	-	0,01 b	-	-	6,63 a	5,06 d	-	0,31 b
151	37,88 a	-	57,00 c	11,63 a	5,00 a	4,00 a	-	-	0,01 b	-	-	6,04 ab	5,99 cd	-	0,38 b
Azul															
0	34,52 b	34,05 b	72,76 a	10,50 c	4,07 b	3,64 b	0,81 c	87,94 c	-	0,01 b	-	3,93 d	-	-	1,29 a
46	35,55 ab	34,32 b	70,46 a	11,60 ab	4,82 a	4,00 a	1,04 ab	80,94 d	-	0,01 b	-	4,54 cd	-	-	1,38 a
90	37,24 a	37,00 a	63,37 b	11,53 ab	5,00 a	4,00 a	0,97 b	94,12 ab	-	0,01 b	-	5,30 bc	-	-	1,00 ab
123	37,55 a	36,10 ab	58,49 c	11,37 b	5,00 a	4,00 a	1,13 a	90,98 bc	-	0,02 a	-	6,59 a	-	-	0,67 bc
151	37,53 a	37,00 a	54,15 d	11,67 a	5,00 a	4,00 a	1,03 ab	96,92 a	-	0,02 a	-	6,17 ab	-	-	0,59 c
Vermelha															
0	-	-	75,04 a	11,03 d	3,9 b	3,86 b	-	90,03 b	-	0,01 c	0,03 c	3,71 c	-	15,35 c	-
46	-	-	74,26 a	12,13 bc	4,84 a	4,00 a	-	88,02 b	-	0,01 c	0,03 c	4,33 c	-	17,89 bc	-
90	-	-	65,91 b	12,47 a	5,00 a	4,00 a	-	88,62 b	-	0,01 c	0,03 c	5,30 b	-	19,60 ab	-
123	-	-	59,59 c	11,87 c	5,00 a	4,00 a	-	92,63 b	-	0,03 a	0,05 a	8,01 a	-	21,90 a	-
151	-	-	54,92 d	12,20 ab	5,00 a	4,00 a	-	97,45 a	-	0,02 b	0,04b	8,01 a	-	17,36 ac	-

**Tabela 6.** Médias dos atributos mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a análise VIP de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas, amarela, preta, pérola, azul, vermelha, mista e em pleno sol, na colheita (0 dias) e aos 46, 90, 123 e 151 dias após o armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. F: cor de fundo; h°: ângulo Hue; IC: índice de cor; C: cor de cobrimento; Firm: firmeza; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido; CS: cor de semente; Fenol: compostos fenólicos totais; Clo: clorofila; T: totais; Carot: carotenoides totais; Antoc: antocianinas totais; Flav: flavonoides totais; Idaei: idaeina.

Dias	<b>(conclusão)</b>														
	C* F	C* C	Firm	SS	IRA	CS	Fenol	DPPH	Clo a	Clo b	Clo T	Carot	Antoc	Flav	Idaei
Mista															
0	-	-	76,18 a	10,97 c	3,57 b	3,73 b	-	89,63 b	-	0,01 b	0,02 b	3,36 b	14,87 a	-	2,18 a
46	-	-	72,73 a	12,00 b	4,74 a	4,00 a	-	84,50 c	-	0,01 b	0,03 b	4,28 b	10,13 b	-	1,26 b
90	-	-	66,86 b	12,43 a	4,98 a	4,00 a	-	90,00 b	-	0,01 b	0,03 b	4,55 b	10,14 b	-	1,29 b
123	-	-	62,04 c	12,57 a	5,00 a	4,00 a	-	91,33 b	-	0,02 a	0,04 a	6,84 a	8,21 c	-	0,75 c
151	-	-	56,66 d	12,63 a	5,00 a	4,00 a	-	95,85 a	-	0,03 a	0,04 a	7,31 a	9,84 b	-	0,87 c
Pleno Sol															
0	-	-	75,15 a	-	3,66 b	-	-	88,77 c	0,01 b	0,01 b	0,02 b	4,16 b	-	-	2,16 a
46	-	-	71,12 b	-	4,80 a	-	-	87,53 c	0,01 b	0,01 b	0,02 b	4,46 b	-	-	2,36 a
90	-	-	64,54 c	-	5,00 a	-	-	93,92 ab	0,01 ab	0,02 a	0,03 a	6,52 a	-	-	1,80 ab
123	-	-	58,48 c	-	5,00 a	-	-	92,43 b	0,02 a	0,02 a	0,04 a	7,08 a	-	-	0,98 bc
151	-	-	55,90 d	-	5,00 a	-	-	95,91 a	0,02a	0,02 a	0,04a	6,40 a	-	-	0,78 c

Sob tela preta, os frutos apresentaram a maior média de saturação ( $C^*$ ) da cor de fundo da casca após 151 dias de armazenamento (37,90), no entanto sem diferir daquelas apresentadas desde os 90 dias de refrigeração (Tabela 6). A saturação da cor de cobrimento também apresentou maiores médias aos 151 dias (36,80), mas sem diferir das médias apresentadas a partir dos 46 dias. A firmeza da polpa sofreu a maior redução aos 151 dias, atingindo o valor médio de 58,86 N. As maiores médias de firmeza foram observadas aos 0 e 46 dias, com valores de 73,46 N e 70,51 N aos 0 e 46 dias respectivamente. As maiores médias de SS, IRA e cor de semente foram observadas a partir dos 46 dias (10,93 °Brix, 4,98 e 4,00, respectivamente), não diferindo até o final do período avaliado. Os maiores valores de capacidade antioxidante pela redução do radical DPPH e clorofila b ocorreram aos 151 dias (97,05% redução DPPH e 0,02 g Kg<sup>-1</sup> MF), entretanto sem diferença dos apresentados aos 123 dias. O teor de carotenoides totais aumentou a partir dos 90 dias de armazenamento (6,00 g Kg<sup>-1</sup> MF) e as menores médias de idaeina ocorreram a partir dos 123 dias de refrigeração.

As maçãs produzidas sob a tela pérola apresentaram médias de saturação ( $C^*$ ) da coloração de fundo da epiderme superiores às da colheita (0 dias) a partir dos 123 dias de armazenamento refrigerado (34,10 em na colheita e 37,02 em 123 dias), entretanto, sem diferir daquelas apresentadas desde os 46 dias (Tabela 6). A firmeza da polpa apresentou os menores valores a partir dos 123 dias, quando a média foi de 59,58 N. O teor de SS foi maior aos 90 e 151 dias (11,63 °Brix e 11,67 °Brix, respectivamente). Os valores de IRA e cor de semente atingiram o máximo das escalas a partir dos 46 dias de refrigeração, ao passo que os teores de clorofila a sofreram redução em relação à data da colheita a partir dos 46 dias (0,01 g Kg<sup>-1</sup> MF). As maiores médias de carotenoides totais e as menores de antocianinas totais, foram observadas a partir dos 123 dias, apresentando 6,63 g Kg<sup>-1</sup> MF de carotenoides e 5,06 g Kg<sup>-1</sup> MS de antocianinas nesta data. O teor de idaeina foi menor a partir dos 90 dias de refrigeração (0,74 g Kg<sup>-1</sup> MS).

A saturação ( $C^*$ ) da cor de fundo e de cobrimento dos frutos provenientes do tratamento com tela azul atingiu as maiores médias aos 90 dias, com 37,24 e 37,00, respectivamente nessa data (Tabela 6). No entanto, a média de  $C^*$  da cor de fundo aos 90 dias não diferiu daquela apresentada aos 46 dias (35,55). A firmeza foi menor após 151 dias de refrigeração (54,15 N) e maior aos 0 e 46 dias, com 72,76 N e 70,46 N, respectivamente. O teor de SS foi maior aos 151 dias (11,67 °Brix), no entanto não diferiu das médias observadas aos 46 e 90 dias (11,60 °Brix e 11,53 °Brix, respectivamente). O IRA e a cor de semente atingiram os maiores valores a partir dos 46 dias (4,82 e 4,00, respectivamente na data). A capacidade antioxidante por DPPH não apresentou distribuição clara ao longo do período

avaliado, atingindo a menor média aos 46 dias (80,94% redução DPPH), e aumentando novamente a partir dos 90 dias. As médias de clorofila b e carotenoides totais foram maiores, à medida que as de idaeina foram as menores, partir dos 123 dias (0,02 g Kg<sup>-1</sup> MF, 6,59 g Kg<sup>-1</sup> MF e 0,67 g Kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente). No entanto, o teor de carotenoides totais aos 151 dias (6,17 g Kg<sup>-1</sup> MF) foi semelhante ao observado aos 90 dias (5,30 g Kg<sup>-1</sup> MF).

A tela vermelha apresentou as piores médias de vários atributos apenas aos 151 dias (Tabela 6). A firmeza de polpa mais baixa e o teor de SS mais alto, foram observados aos 151 dias (54,92 N e 12,20 °Brix, respectivamente). As maiores médias de firmeza foram observadas aos 0 e aos 46 dias (75,04 N e 74,26 N, respectivamente), ao passo que a menor média de SS foi verificada na colheita (11,03 °Brix). O IRA e a cor de semente, assim como observado nos demais tratamentos, atingiram os maiores valores a partir dos 46 dias. As médias de capacidade antioxidante obtidas pela redução do radical DPPH se mantiveram semelhantes até 123 dias (valores médios entre 88,02 e 92,63 % de redução DPPH), aumentando após 151 dias de refrigeração para 97,45% redução DPPH. Os valores de clorofila b e totais foram menores dos 0 a 90 dias e maiores aos 123 dias (0,03 g Kg<sup>-1</sup> MF e 0,05 g Kg<sup>-1</sup> MF, respectivamente). Aos 151 dias os valores desses atributos passaram para 0,02 g de clorofila b Kg<sup>-1</sup> MF e 0,04 g de clorofilas totais Kg<sup>-1</sup> MF, diferenciando das avaliações prévias. Os teores de carotenoides foram maiores aos 123 e 151 dias, com média de 8,01 g Kg<sup>-1</sup> MF nos dois momentos. Por fim, os teores de flavonoides totais aumentaram a partir de 90 dias (19,60 g Kg<sup>-1</sup> MS), no entanto os valores observados nesta data não se diferenciaram da média observada aos 46 dias (17,89 g Kg<sup>-1</sup> MF).

Sob tela mista, as maçãs apresentaram as piores médias de firmeza aos 151 dias (56,66 N), e as melhores médias foram na colheita e após 46 dias de armazenamento refrigerado (76,18 N e 72,73 N, respectivamente). O teor de SS foi maior a partir dos 90 dias (12,43 °Brix), à medida que o IRA e a cor de semente aumentaram aos 46 dias de refrigeração. A capacidade antioxidante por DPPH foi maior aos 151 dias de armazenamento (95,85% redução DPPH) e menor aos 46 dias (84,50% redução DPPH), diferindo das médias apresentadas na colheita, 90 e 123 dias. Os teores de clorofila b, totais e carotenoides totais foram menores nos três primeiros períodos de armazenamento e maiores a partir de 123 dias (0,02 g Kg<sup>-1</sup> MF, 0,04 g Kg<sup>-1</sup> MF e 7,31 g Kg<sup>-1</sup> MF, respectivamente). A média de antocianinas totais foi menor aos 123 dias (8,21 g Kg<sup>-1</sup> MS), e a de idaeina foi menor aos 123 e 151 dias (0,075 g Kg<sup>-1</sup> MS e 0,87 g Kg<sup>-1</sup> MS, respectivamente).

A área sob pleno sol apresentou frutos com menor firmeza aos 151 dias de armazenamento refrigerado (55,90 N) e maior na colheita (75,15 N). O IRA aumentou a partir



dos 46 dias, com média de 4,80. A capacidade antioxidante por DPPH foi maior aos 151 dias (95,91% redução DPPH), mas não diferiu da média observada aos 90 dias. As médias de clorofila a, b, totais e carotenoides totais atingiram os maiores valores a partir dos 90 dias de refrigeração. Por fim, o menor teor de idaeina na casca foi observado aos 151 dias (0,78 g Kg<sup>-1</sup> MS), sem, entretanto, diferir da média verificada aos 123 dias (0,98 g Kg<sup>-1</sup> MS).

#### **4.4. Discussão**

##### **4.4.1. Telas antigranizo fotosselativas influenciam a maturação de maçãs ‘Galaxy’**

Telas fotosselativas modificam a quantidade e a qualidade da luz que incide sobre o pomar entre os comprimentos de onda do infravermelho próximo (NIR), ultravioleta (UV) e a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (Castellano et al., 2006; Shahak et al., 2004), além de modificar o microclima (Solomakhin e Blanke, 2010a). Com isso, muitos mecanismos fisiológicos da planta acabam sendo influenciados (Bastías et al., 2011), dentre eles, o processo de maturação dos frutos (Moura et al., 2022).

A produção de frutos de elevada qualidade e com alto potencial de armazenamento pós-colheita é de suma importância na cadeia da maçã (Jokar et al., 2021). Dentre esse fator, está a época de colheita da maçã. Considerando-se os clones de ‘Gala’, como a ‘Galaxy’, é interessante que a colheita seja antecipada, de forma a se aproveitar uma janela de mercado, onde a oferta ainda é pequena, assim como seu armazenamento prolongado. A maçã ‘Galaxy’ tem como característica a coloração avermelhada de cobrimento da casca, sobre fundo amarelo, teores de SS em torno de 14 °Brix, firmeza de polpa próxima a 81 N, IRA em torno de 4 e AT de 0,37 % de ácido málico (Argenta et al., 2021; Fioravanço et al., 2010). Dessa forma, tais características são esperadas na colheita, além de outras, como altos teores de compostos bioativos.

Nossos resultados indicaram que maçãs produzidas sob as telas amarela, preta e pérola apresentaram comportamento oposto às produzidas em condição de pleno sol. Essas telas influenciaram os frutos a um comportamento diferente em relação a área sob pleno sol, mas também quanto às telas vermelha e azul.

A área sob pleno sol evidenciou, durante todo o período de monitoramento do avanço da maturação, frutos mais bem correlacionados aos atributos ligados à coloração vermelha e compostos bioativos, tais como IC, cor de semente, saturação da cor da casca (C\*), compostos fenólicos totais, flavonoides totais, antocianinas totais e idaeina, além da capacidade

antioxidante e da firmeza de polpa. As maçãs produzidas nessa condição atingiram as características desejáveis para a colheita, quanto a coloração da epiderme, firmeza de polpa e acidez, uma semana antes da colheita comercial, com 121 dias após a plena floração. Aos 181 dias após a plena floração (colheita comercial), as maçãs se encontravam ainda mais amarelas, com IRA e cor de semente no limite máximo das escalas, além de maiores teores de antocianinas e idaeina que as datas anteriores. Kiwis 'Hayward' cultivados em área sem o uso de tela protetora apresentaram melhor desempenho do que os produzidos com tela pérola, amarela e cinza (Moura et al., 2022).

A cor da casca da maçã é dada pela relação entre os pigmentos antocianinas (cor vermelha de cobrimento), carotenoides (cor amarela de fundo), e clorofilas a e b (proporção 3:1, na coloração esverdeada de fundo) (Manja e Aoun, 2019). O acúmulo de antocianinas na casca é controlado pela exposição à luz solar e pela temperatura (Dussi et al., 2005). Manja e Aoun (2019) relataram que teores ótimos de antocianinas são obtidos em frutos expostos à luz 20 dias antes da data da colheita. Com o amadurecimento, as clorofilas tendem a ser substituídas por carotenoides, para isso os cloroplastos sofrem mudanças conformacionais e são convertidos a cromoplastos (Solovchenko et al., 2019). Os carotenoides então, servem como cromóforos para absorção das luzes amarela a vermelha (Solovchenko et al., 2019).

A tela amarela mostrou comportamento oposto à área sob pleno sol até o momento da colheita comercial, em 181 dias após a plena floração, evidenciando altos valores de atributos como teor de clorofila, carotenoides, firmeza de polpa, compostos fenólicos, L\* e ângulo Hue das cores de fundo e de cobrimento da casca. Atributos esses, associados a menores graus de maturação. A AT atingiu os valores esperados em 121 dias após a plena floração, entretanto, os demais atributos só apresentaram valores ideais na data da colheita comercial. A tela de cor amarela aumenta a transmitância nos comprimentos de onda de luz verde (Kong et al., 2012), que atua inibindo os fitocromos (Folta e Carvalho, 2015; Wang e Folta, 2013). Foi relatado que a tela amarela reduziu a taxa fotossintética de pimentões (Kong et al., 2012). Esse efeito de inibição da atuação dos fitocromos e consequente redução da taxa fotossintética, característica da fotosseletividade da tela amarela, pode explicar o atraso na maturação das maçãs produzidas sob essa tela.

A tela preta apresentou comportamento mais fortemente oposto ao pleno sol em 113 e 121 dias após a plena floração, evidenciando, assim como a tela amarela, frutos menos maduros. Até 121 dias após a plena floração, os frutos permaneceram com a coloração de fundo bastante verde (valores de Hue entre 100° e 90°). Somente após 181 dias, a coloração de fundo ganhou o tom amarelado e as sementes atingiram a maturação máxima (nota 4 na

escala). A tela preta é considerada uma tela neutra por não alterar a qualidade da luz transmitida (Costa et al., 2018), de forma que seu efeito acaba sendo apenas o de sombreamento. Solomakhin e Blanke (2010b) relataram que a tela preta reduz a taxa de RFA, que acaba por prejudicar a coloração dos frutos. A menor quantidade de luz disponível em função do sombreamento, leva à redução da taxa fotossintética e da disponibilidade de carboidratos, que estão diretamente ligados à biossíntese de antocianinas (Iglesias e Alegre, 2006).

As maçãs produzidas sob tela pérola mostraram-se opostas às produzidas sob pleno sol até os 121 dias após a plena floração. No entanto, nessa data, as maçãs encontravam-se com boas características de firmeza, AT, SS, IRA, mas com maiores teores de clorofila. A coloração de fundo amarela foi adquirida após 181 dias, bem como o aumento da saturação da cor e o aumento nos teores de antocianinas e idaeina, indicativos de frutos maduros. Nossos resultados mostraram que as maçãs ‘Galaxy’ produzidas com uso de tela pérola podem ser colhidas com 121 dias após a plena floração, mas a coloração desses frutos ainda não é a mais atrativa ao consumidor. Foi relatado que a malha pérola não só reduz a RFA, que pode impedir danos pela radiação excessiva (Moura et al., 2022), como também aumenta a quantidade de luz difusa (Umanzor et al., 2017). A luz difusa tem menor intensidade que a luz comum e é mais bem distribuída na planta, o que pode favorecer a abertura estomática e a fotossíntese, além de evitar estresse por radiação (Urban et al., 2007).

Os frutos provenientes da área de cultivo sob tela azul apresentaram comportamento que se opôs mais fortemente aos provenientes da área de pleno sol com 113 dias após a plena floração. Esses frutos apresentaram apenas valores médios de firmeza de polpa e AT adequados para a colheita com 121 dias após a plena floração. O restante dos atributos melhoraram apenas aos 128 dias, indicando que as maçãs não poderiam ser colhidas antes desse período. Da mesma maneira, as maçãs provenientes da tela mista apresentaram redução apenas dos teores de AT e clorofila aos 121 dias após a plena floração. A tela azul pode reduzir a relação entre os comprimentos de onda vermelho:vermelho distante, que acarreta redução do estado estacionário do fitocromo (Kalaitzoglou et al., 2019). Esse efeito pode ser considerado semelhante ao causado pelo sombreamento, que pode atrasar a maturação dos frutos. Já, as duas cores neutras, preta e branca (Costa et al., 2018), que compõem a tela mista, levam a um efeito de sombreamento semelhante ao da tela preta, mas com menor intensidade.

A tela vermelha evidenciou frutos mais maduros, podendo ser uma alternativa para a colheita antecipada de maçãs ‘Galaxy’. Aos 121 dias após a plena floração, as médias de firmeza, SS e AT, juntamente com o aumento dos teores de compostos fenólicos e a redução

de clorofila indicam que essas maçãs já tinham atingido o estágio de maturação comercial. O fato de a análise VIP não ter destacado nenhuma das variáveis físicas de cor, indica que pode não ter havido grandes variações na coloração dos frutos durante o período avaliado. A tela vermelha, ao contrário da azul, aumenta a relação entre os espectros do vermelho:vermelho distante, estimulando a atividade do fitocromo e elevando a taxa fotossintética (Nomura et al., 2009), além de reduzir a luz verde (Kong et al., 2012). Selahle et al. (2015) e Tinyane et al. (2013) relataram que o uso da tela vermelha melhorou a qualidade comercial de pimentões.

#### **4.4.2. Telas antigranizo fotosseletivas alteram a qualidade pós-armazenamento de maçãs ‘Galaxy’**

As telas amarela, vermelha, azul e a área sob pleno sol apresentaram mudança da qualidade inicial dos frutos a partir dos 90 dias de armazenamento refrigerado. A tela amarela, após 90 dias de armazenamento, proporcionou o aumento da saturação da cor dos frutos, característica que confere coloração mais opaca, associada aos frutos mais maduros. Ainda aos 90 dias de refrigeração, a firmeza da polpa foi 16 N abaixo do ideal, em relação à qualidade comercial (Tabela 3), e o teor de SS, durante todo o período, permaneceu entre 2 e 3 °Brix abaixo do ideal na colheita. Entretanto, a qualidade das maçãs aos 90 dias e após 151 dias de armazenamento foi semelhante, indicando que se manteve constante até o final do período avaliado. A redução da firmeza das maçãs produzidas sob tela pode estar relacionada à redução dos teores de carboidratos estruturais que compõem a parede celular e a lamela média em função da redução da disponibilidade de luz (Amarante et al., 2011). Esse efeito pode ser decorrente do fato da tela amarela inibir a ação dos fitocromos pelo aumento da luz verde (Folta e Carvalho, 2015; Kong et al., 2012).

A tela vermelha apresentou frutos com firmeza 16 N abaixo da ideal para a colheita aos 90 dias, e 26 N após 151 dias de armazenamento refrigerado. O teor de carotenoides aumentou cerca de 4 g Kg<sup>-1</sup> MS entre a colheita e o final do armazenamento, apontando para a intensificação da cor amarela de fundo. Foi relatado que a tela vermelha melhorou a qualidade de maçãs ‘Cripps Pink’ (Brkljača et al., 2016), pêssegos e nectarinas (Vuković et al., 2017). Tomates ‘AlfaV’ cultivados sob tela vermelha apresentaram maior número de compostos bioativos do que aqueles produzidos sob telas amarela e pérola (Tinyane et al., 2013). Maçãs ‘Rosy Glow’ produzidas sob tela antigranizo vermelha foram classificadas sensorialmente com altas pontuações para a coloração amarela da acsca, doçura e firmeza, e pontuações mais baixas para a cor verde da casca (Corollaro et al., 2015). Nossos resultados estão de acordo

com estes autores, uma vez que a tela vermelha proporcionou a antecipação da colheita dos frutos. No entanto, durante o armazenamento esses frutos apresentaram vida útil mais curta, provavelmente por estarem em um estágio de amadurecimento mais avançado na colheita, que acabou sendo desfavorável durante o armazenamento.

A tela azul apresentou mudança na qualidade comercial dos frutos a partir dos 46 dias de armazenamento, entretanto essas características foram mantidas até o final do período de armazenamento. Apesar da redução do estado estacionário dos fitocromos (vermelho:vermelho distante), influenciada pela tela azul (Kalaitzoglou et al., 2019), essa tela apresenta um bom potencial de radiação por elevar a transmitância para comprimentos de onda para a região do azul (Gussakovsky et al., 2007), que pode ter influenciado o metabolismo de amadurecimento dos frutos.

As maçãs produzidas sob pleno sol apresentaram avanço do amadurecimento aproximadamente após 90 dias de armazenamento refrigerado. A redução da firmeza da polpa ocorreu desde os 46 dias de armazenamento, entretanto com valores ainda próximos à qualidade comercial. Aos 90 dias, a diferença foi de aproximadamente 11 N abaixo do observado na colheita, e aos 151 dias de armazenamento foi de 20 N. Os teores de carotenoides e de capacidade antioxidante, dada pela redução do radical DPPH, também aumentaram aos 90 dias de armazenamento e se mantiveram estáveis até o final do período de avaliação. A radiação solar na área sem cobertura com tela não sofre influência de sombreamento ou de mudanças na qualidade da luz, o que acaba favorecendo a maturação. Possíveis estresses por radiação excessiva (Moura et al., 2022) também podem ocorrer, de forma a acelerar ainda mais a senescência e, conseqüentemente, reduzir o potencial de armazenamento pós-colheita dos frutos.

As telas preta, pérola e mista apresentaram uma mudança nos atributos dos frutos a partir dos 123 dias de armazenamento em atmosfera comum, indicando avanço do amadurecimento a partir desta data. As maçãs provenientes da tela preta apresentaram maior aumento da saturação da cor da casca apenas no final do período avaliado, a firmeza de polpa sofreu redução a partir de 90 dias em relação à colheita, e os teores de clorofila, carotenoides e idaeina não sofreram grandes oscilações. Nossos resultados demonstraram que a tela preta apresentou frutos com bom potencial de armazenamento pós-colheita de maçãs ‘Galaxy’, entretanto a colheita não pode ocorrer de forma antecipada. A redução da radiação devido ao maior sombreamento que a malha preta proporciona (Costa et al., 2018), retém por mais tempo o amadurecimento dos frutos, mas sem afetar a atividade dos fitocromos. Tinyane et al. (2013) observaram que o uso de tela preta em tomates ‘AlfaV’ proporcionou maior RFA que

a tela vermelha. As maçãs produzidas sob a tela mista apresentaram comportamento semelhante, mostrando avanço do amadurecimento aos 123 dias, e mantendo-se estáveis até o final do período de armazenamento. Esses frutos também apresentaram elevado potencial de armazenamento pós-colheita, mas sem a possibilidade de antecipação da colheita.

A tela pérola apresentou saturação da cor de fundo dos frutos superior à do momento da colheita, bem como redução da firmeza de polpa somente após 123 dias sob refrigeração. O teor de SS ao final do armazenamento se manteve em valores próximos ao esperado comercialmente para a colheita. Os teores de carotenoides totais aumentaram cerca de  $1,92 \text{ g Kg}^{-1} \text{ MF}$  entre a colheita e 123 dias de armazenamento, à medida que o teor de antocianinas totais reduziu cerca de  $6,84 \text{ g Kg}^{-1} \text{ MS}$ . Apesar da forte redução dos teores de antocianinas, a tela pérola apresentou bom potencial de armazenamento dos frutos em atmosfera comum, mantendo as médias dos atributos avaliados sem grandes oscilações durante todo o período, com exceção das antocianinas. O aumento da quantidade de luz difusa sobre as plantas e a redução da RFA (Moura et al., 2022; Umanzor et al., 2017), faz com que os frutos tenham o amadurecimento menos acelerado. Ainda assim, observamos que essa tela tem potencial de manter os frutos armazenados por maior período e de antecipar a colheita. Tomates ‘AlfaV’ cultivados sob malha pérola foram preferidos sensorialmente quanto ao sabor, firmeza e aparência, em relação àqueles cultivados sob as telas preta e vermelha (Selahle et al., 2014). Pimentões vermelhos ‘HTSP-3’ cultivados sob tela pérola também foram preferidos sensorialmente aqueles produzidos com tela amarela e vermelha (Selahle et al., 2015b).

#### **4.5. Conclusão**

Nossos resultados apontam que o tipo de tela antigranizo pode influenciar tanto no processo de maturação dos frutos, podendo ser utilizadas como estratégias de antecipação de colheita, quanto no período de conservação pós-colheita. As telas pérola e vermelha, juntamente com a área sob pleno sol anteciparam a maturação comercial em cerca de uma semana, quando comparada às demais. No entanto, a tela vermelha e a área sob pleno sol proporcionaram o avanço no amadurecimento, que levou a menor potencial de armazenamento refrigerado em atmosfera comum. A tela pérola, por outro lado, proporcionou a antecipação do estágio de maturação comercial em 1 semana e elevado potencial de armazenamento refrigerado, podendo ser utilizada como alternativa para antecipação da colheita e manutenção da qualidade pós-armazenamento. As telas preta e mista também

apresentaram bom potencial pós-colheita, porém não proporcionaram a possibilidade de antecipação da colheita.

## Referências

- Amarante, C.V.T. do, Steffens, C.A., Argenta, L.C., 2011. Yield and fruit quality of “Gala” and “Fuji” apple trees protected by white anti-hail net. *Sci Hortic* 129, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.010>
- Argenta, L.C., Do Amarante, C.V.T., Brancher, T.L., Betinelli, K.S., Bartinick, V.A., Nesi, C.N., 2021. Comparison of fruit maturation and quality of ‘Gala’ apple strains at harvest and after storage. *Rev Bras Frutic* 43, 1–10. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021285>
- Bastías, R.M., Losciale, P., Chieco, C., Rossi, F., Corelli-Grappadelli, L., 2011. Physiological aspects affected by photoselective nets in apples: Preliminary studies. *Acta Hortic* 907, 217–220. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.32>
- Brkljača, M., Rumora, J., Vuković, M., Jemrić, T., 2016. The effect of photoselective nets on fruit quality of apple cv. ‘Cripps Pink.’ *ACS - Agriculturae Conspectus Scientificus* 81, 87–90.
- Castellano, S., Russo, G., Mugnozza, G.S., 2006. The influence of construction parameters on radiometric performances of agricultural nets. *Acta Hortic* 718, 283–290. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2006.718.32>
- Corollaro, M.L., Manfrini, L., Endrizzi, I., Aprea, E., Demattè, M.L., Charles, M., Bergamaschi, M., Biasioli, F., Zibordi, M., Corelli Grappadelli, L., Gasperi, F., 2015. The effect of two orchard light management practices on the sensory quality of apple: fruit thinning by shading or photo-selective nets. *J Hortic Sci Biotechnol* 90, 99–108. <https://doi.org/10.1080/14620316.2015.11513159>
- COSTA, B.N.S., COSTA, I.J.S., SOUZA, G.A. DE, SANTOS, D.N. DOS, SILVEIRA, F.A. DA, MELO, E.T. DE, MARTINS, A.D., PASQUAL, M., SETOTAW, T.A., RODRIGUES, F.A., 2018. Anatomical modifications of *Butia capitata* propagated under colored shade nets. *An Acad Bras Cienc* 90, 3615–3624. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170347>
- Dussi, M.C., Giardina, G., Sosa, D., González Junyent, R., Zecca, A., Reeb, P.R., 2005. Shade nets effect on canopy light distribution and quality of fruit and spur leaf on apple cv. Fuji. *Spanish Journal of Agricultural Research* 3, 253. <https://doi.org/10.5424/sjar/2005032-144>
- Fioravanco, J.C., Girardi, C.L., Czermainski, A.B.C., Silva, G.A. da, Nachtigall, G.R., Oliveira, P.R.D. de, 2010. *Cultura da macieira no Rio Grande do Sul: análise situacional e descrição varietal*, 1st ed. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves.
- Folta, K.M., Carvalho, S.D., 2015. Photoreceptors and control of horticultural plant traits. *HortScience* 50, 1274–1280. <https://doi.org/10.21273/hortsci.50.9.1274>
- Gussakovsky, E.E., Shahak, Y., Schroeder, D.F., 2007. Color of illumination during growth affects LHCII chiral macroaggregates in pea plant leaves. *J Photochem Photobiol B* 86, 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2006.08.013>
- Hiscox, J.D., Israelstam, G.F., 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* 57, 1132–1134. <https://doi.org/10.1139/b79-163>
- Honda, C., Kotoda, N., Wada, M., Kondo, S., Kobayashi, S., Soejima, J., Zhang, Z., Tsuda, T., Moriguchi, T., 2002. Anthocyanin biosynthetic genes are coordinately expressed during red coloration in apple skin.
- Iglesias, I., Alegre, S., 2006. The effect of anti-hail nets on fruit protection, radiation, temperature, quality and profitability of ‘Mondial Gala’ apples. *Journal of Applied Horticulture* 08, 91–100. <https://doi.org/10.37855/JAH.2006.V08I02.22>
- Jokar, A., Zare, H., Zakerin, A., Aboutalebi Jahromi, A., 2021. Effects of Shade Net Colors on Mineral Elements and Postharvest Shelf Life and Quality of Fresh Fig (*Ficus carica* L.) under Rain-Fed Condition. *Horticulturae* 7, 93. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7050093>

- Kalaitzoglou, P., van Ieperen, W., Harbinson, J., van der Meer, M., Martinakos, S., Weerheim, K., Nicole, C.C.S., Marcelis, L.F.M., 2019. Effects of continuous or end-of-day far-red light on tomato plant growth, morphology, light absorption, and fruit production. *Front Plant Sci* 10, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00322>
- Kong, Y., Avraham, L., Ratner, K., Shahak, Y., 2012. Response of photosynthetic parameters of sweet pepper leaves to light quality manipulation by photosensitive shade nets. *Acta Hort* 501–506. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.59>
- Lees, D.H., Francis, F.J., 1972. Standardization of pigment analyses in cranberries. *Hortscience* 7.
- Manja, K., Aoun, M., 2019. The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: A review. *Sci Hort*. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.050>
- Mensor, L.L., Menezes, F.S., Leitão, G.G., Reis, A.S., Santos, T.C. dos, Coube, C.S., Leitão, S.G., 2001. Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. *Phytotherapy research* 15, 127–130. <https://doi.org/10.1002/ptr.687>
- Moura, L., Pinto, R., Rodrigues, R., Brito, L.M., Rego, R., Valin, I., Mariz-Ponte, N., Santos, C., Mourão, I., 2022. Effect of Photo-Selective Nets on Yield, Fruit Quality and Psa Incidence in a ‘Hayward’ Kiwi Orchard. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4159808>
- Nomura, E.S., Lima, J.D., Rodrigues, D.S., Garcia, V.A., Fuzitani, E.J., Silva, S.H.M.-G. da, 2009. Crescimento e produção de antúrio cultivado sob diferentes malhas de sombreamento. *Ciência Rural* 39, 1394–1400. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782009000500014>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C., 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic Biol Med* 26, 1231–1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Selahle, K.M., Sivakumar, D., Jifon, J., Soundy, P., 2015a. Postharvest responses of red and yellow sweet peppers grown under photo-selective nets. *Food Chem* 173, 951–956. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.034>
- Selahle, K.M., Sivakumar, D., Jifon, J., Soundy, P., 2015b. Postharvest responses of red and yellow sweet peppers grown under photo-selective nets. *Food Chem* 173, 951–956. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.034>
- Selahle, M.K., Sivakumar, D., Soundy, P., 2014. Effect of photo-selective nettings on post-harvest quality and bioactive compounds in selected tomato cultivars. *J Sci Food Agric* 94, 2187–2195. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6536>
- Shahak, Y., Gussakovsky, E.E., Gal, E., Ganelevin, R., 2004. ColorNets: Crop protection and light-quality manipulation in one technology. *Acta Hort* 659, 143–151. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.659.17>
- Siegelman, H.W., Hendricks, S.B., 1958. Photocontrol of alcohol, aldehyde, and anthocyanin production in apple skin. *Plant Physiol* 33, 409–413.
- Singleton, V.L., Rossi, J.A., 1965. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *Am J Enol Vitic* 16, 144–158.
- Solomakhin, A., Blanke, M., 2010a. The microclimate under coloured hailnets affects leaf and fruit temperature, leaf anatomy, vegetative and reproductive growth as well as fruit colouration in apple. *Annals of Applied Biology* 156, 121–136. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2009.00372.x>
- Solomakhin, A., Blanke, M.M., 2010b. Can coloured hailnets improve taste (sugar, sugar: acid ratio), consumer appeal (colouration) and nutritional value (anthocyanin, vitamin C) of apple fruit? *LWT - Food Science and Technology* 43, 1277–1284. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.020>
- Solovchenko, A., Yahia, E.M., Chen, C., 2019. Pigments, in: Yahia, E.M., Armando Carrillo-López (Eds.), *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. Elsevier Inc., pp. 225–252.
- Tessmer, M.A., Apezato-da-Glória, B., Antonioli, L.R., 2016. Influence of growing sites and physicochemical features on the incidence of lenticel breakdown in “Gala” and “Galaxy” apples. *Sci Hort* 205, 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.04.027>



- Tezotto-Uliana, J.V., Berno, N.D., Saji, F.R.Q., Kluge, R.A., 2013. Gamma radiation: An efficient technology to conserve the quality of fresh raspberries. *Sci Hort* 164, 348–352. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.026>
- Tinyane, P.P., Sivakumar, D., Soundy, P., 2013. Influence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars. *Sci Hort* 161, 340–349. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.024>
- Umanzor, C., Bastias, R.M.B., Wilckens, R., Quezado, C., 2017. Influencia del uso de malla perla y roja en las condiciones micro-climáticas, daño por sol y desarrollo de color de frutos en huertos de manzanas cvs. Gala y Fuji. *Rev Bras Frutic* 39. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017930>
- Urban, O., Janous, D., Acosta, M., Czerny, R., Markova, I., Navatil, M., Pavelka, M., Pokorny, R., Špřtova, M., Zhang, R., Špunda, v., Grace, J., MAREK, M. V., 2007. Ecophysiological controls over the net ecosystem exchange of mountain spruce stand. Comparison of the response in direct vs. diffuse solar radiation. *Glob Chang Biol* 13, 157–168. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01265.x>
- Vuković, M., Brkljača, M., Rumora, J., Fruk, M., Jatoi, M.A., Jemrić, T., 2017. Vegetative and reproductive traits of young peaches and nectarines grown under red photosensitive net. *ACS - Agriculturae Conspectus Scientificus* 81, 181–185.
- Wang, Y., Folta, K.M., 2013. Contributions of green light to plant growth and development. *Am J Bot* 100, 70–78. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200354>
- Werner, R.A., 1989. Current status of controlled atmosphere storage in Brazil, in: *International Controlled Atmosphere Research Conference*, 5. Wenatchee, Washington, pp. 509–515.

## 5. QUALIDADE PÓS-ARMAZENAMENTO DE MAÇÃS 'FUJI SUPREMA' PRODUZIDAS SOB TELAS ANTIGRANIZO FOTOSSELETIVAS

### Resumo

Telas antigranizo fotosseletivas têm sido estudadas como uma alternativa para melhorar características de produção e qualidade em pomares de macieira. Entretanto, pouco se sabe sobre seus efeitos na pós-colheita. Nesse contexto, buscamos avaliar os efeitos de diferentes cores de telas fotosseletivas na qualidade pós-colheita em maçãs 'Fuji Suprema' armazenadas em frio. As maçãs foram produzidas em áreas com telas amarela, preta, pérola, azul, vermelha, mista (branca com preta) em pleno sol (área não coberta). Avaliamos a qualidade das maçãs quanto a coloração da casca, firmeza, sólidos solúveis, acidez titulável, índice de retenção e amido e cor das sementes, na colheita e após 57 e 108 dias em armazenamento a 0 °C e 90% UR em atmosfera comum. As telas fotosseletivas não apresentaram diferenças expressivas entre si na qualidade pós-colheita dos frutos, no entanto foi possível observar alterações nos atributos avaliados, principalmente em relação a de saturação da cor (C\*), SS e AT. A área a pleno sol favoreceu frutos com melhor qualidade comercial ao final do armazenamento, bem como uma estabilidade no comportamento durante o tempo de armazenamento avaliado. A tela vermelha, apresentou frutos sobremaduros ao final do armazenamento refrigerado de 108 dias. Ao passo que as maçãs produzidas com tela azul, apresentaram desuniformidade na maturação ao final do armazenamento. A tela mista apresentou o comportamento mais próximo ao da área a pleno sol, podendo ser utilizadas como alternativa em regiões onde haja a necessidade do uso de telas protetoras contra o granizo.

**Palavras-chave:** *Malus domestica*, armazenamento, qualidade de frutos, radiação

### Abstract

Photo-selective anti-hail nets were studied as an alternative to improve production and quality characteristics in apple orchards. However, little is known about their postharvest effects. In this context, we sought to evaluate the effects of different colors of photo-selective anti-hail nets on the postharvest quality of 'Fuji Suprema' apples in storage conditions. The apples were grown in areas with yellow, black, pearl, blue, red, and mixed (white and black) nets and full sun (uncovered area). We evaluated the quality of the apples in terms of skin color, firmness, soluble solids, titratable acidity, starch retention index, and seed color at harvest and after 57 and 108 days of storage at 0 °C and 90% relative humidity in common atmosphere. Regarding 'Fuji Suprema', the photosensitive nets did not show significant differences between them in the postharvest quality of the fruits. However, it was possible to observe alterations in the evaluated attributes, mainly in relation to possible color saturation (C\*), soluble solids, and titratable acidity. The area in full sun favored fruits was better commercial quality at the end of storage, as well as behavioral stability during the evaluation period. The red net showed overripe fruits at the end of 108 days of refrigerated storage, while the apples cultivated with blue nets showed non-uniform handling at the end of storage. The mixed net showed the closest behavior to the area in full sun and can be used as an alternative in regions where there is a need to use hail protective nets.

**Key words:** *Malus domestica*, storage, fruit quality, radiation

## 5.1. Introdução

A macieira (*Malus domestica* Borkh.) é uma cultura de clima temperado, que necessita passar pelo período hibernar, durante o inverno, para iniciar a floração (Petri e Leite, 2008). No Brasil, a cultura da macieira está distribuída, principalmente, nas regiões mais frias dos estados do Sul do país, que frequentemente são atingidas por precipitações de granizo. A ocorrência do granizo leva a perdas significativas da produção e da qualidade dos frutos, o que pode ser evitado com a utilização de telas protetoras antigranizo (Amarante et al., 2011; Blanke, 2009; Mupambi et al., 2018). Além do granizo, as telas protegem as plantas contra danos por radiação excessiva, ventos, insetos e pássaros, além de alterar o microclima do pomar (Mupambi et al., 2018; Racsko e Schrader, 2012).

As telas antigranizo tradicionalmente utilizadas são a branca e a preta (Boini et al., 2022), consideradas telas neutras por reduzir a radiação sobre as plantas sem alterar o espectro de luz (Costa et al., 2018). Recentemente tem se estudado os benefícios que o uso de telas fotosselativas, com elementos cromáticos incorporados às malhas, podem ter sobre a produção. Essas telas alteram a qualidade da luz que passa por ela, modificando a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e as relações entre os comprimentos de onda vermelho:vermelho distante, azul, verde (Castellano et al., 2006; Shahak, 2008), que afetam diversos processos metabólicos das plantas (Retamales et al., 2008).

Em macieiras, tem-se estudado os efeitos das telas sobre as plantas, principalmente de malhas vermelha e pérola (Aoun e Manja, 2020; Bastías et al., 2011; Shahak et al., 2004; Solomakhin e Blanke, 2010a; Stroka et al., 2021) e sobre a qualidade dos frutos (Boini et al., 2022; Fruk et al., 2016; Solomakhin e Blanke, 2010a, 2010b). No entanto, poucos são os relatos acerca dos efeitos dessas telas durante o armazenamento pós-colheita dos frutos (Tinyane et al., 2013; Vuković et al., 2020). Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos do emprego de diferentes telas antigranizo fotosselativas na qualidade e no armazenamento refrigerado de maçãs ‘Fuji Suprema’.

## 5.2. Material e Métodos

### 5.2.1. Material vegetal

O estudo foi realizado durante a safra 2021/2022, em um pomar comercial de topografia plana, implantado no ano de 2013, em Monte Alegre dos Campos, RS (28° 40' 33"

S, 50° 47' 42" O, e 945 m de altitude). O material vegetal consistiu em macieiras da cv. Fuji Suprema, enxertadas sobre o portaenxerto 'M9', sob sistema de líder central em espaçamento de 3,70 m entre linhas e 0,80 m entre plantas. O pomar foi manejado de acordo com as recomendações técnicas para o estado do Rio Grande do Sul.

### **5.2.2. Telas fotosseletivas**

Foram utilizadas as telas tradicionais e diferentes telas antigranizo fotosseletivas, além do controle, que consistiu em uma área sob pleno sol, não coberta com tela. As telas são produzidas a partir de monofilamentos de polietileno com 18% de sombreamento, sendo: ChromatiNet® Leno amarela; Leno preta, ChromatiNet® Leno pérola; ChromatiNet® Leno azul, ChromatiNet® Leno vermelha e mista (branca com preta) (Apêndice A). Todas as telas foram instaladas em 2016, na direção norte-sul, em fileiras com 30 m, sendo usados dois conjuntos de tela em largura para cobertura total das linhas. As macieiras permaneceram sob as telas desde a brotação até a maturação dos frutos.

### **5.2.3. Condução Experimental**

As maçãs foram colhidas no estágio de maturação comercial, 236 dias após a plena floração, e armazenadas em câmara refrigerada sob atmosfera comum a  $0 \pm 1$  °C 90  $\pm$  5% UR por até 108 dias. As avaliações de qualidade foram realizadas na colheita (0 dias) e após 57 e 108 dias de armazenamento. Ao término de cada período de armazenamento, os frutos foram deixados sobre a bancada do laboratório durante o período noturno a fim de equilibrar a temperatura da polpa. O experimento em campo foi conduzido em blocos casualizados (DBC), com 3 blocos. Este ensaio de pós-colheita manteve o delineamento original. Foram colhidos 945 frutos, sendo avaliados 15 frutos de cada bloco, em cada período (0, 57 e 108 dias).

### **5.2.4. Análises de qualidade**

#### **5.2.4.1. Coloração da casca**

Foi analisada a coloração de fundo e de cobrimento da casca com colorímetro digital CR-400 (Konica Minolta Inc., Chiyoda, Tóquio, Japão). A dados foram obtidos pelo espaço

de cor CIELAB, parâmetros  $L^*$  (luminosidade, preto ao branco), coordenadas  $a^*$  (variação do verde ao vermelho) e  $b^*$  (amarela ao azul),  $C^*$  (cromaticidade – saturação da cor) e ângulo Hue ( $0^\circ$  a  $360^\circ$ ). Os resultados foram expressos em  $L^*$ ,  $C^*$ , Hue e índice de cor (IC) para frutos vermelhos, calculado pela fórmula:  $IC = ((1000 \times a^*) / (L^* \times b^*))$  (Tessmer et al., 2016; Tezotto-Uliana et al., 2013).

#### 5.2.4.2. Firmeza de polpa

A firmeza da polpa foi determinada por meio de penetrômetro digital (Fruit Texture Analyser, Güss Manufacturing Ltd., Strand, África do Sul), com ponteira de 8 mm. Para isso, foi retirada uma fina porção da casca em dois lados opostos da região equatorial dos frutos, sendo realizada a medição em cada um dos lados. Os resultados foram expressos em Newtons (N).

#### 5.2.4.3. Teor de sólidos solúveis e acidez titulável

O teor de sólidos solúveis (SS) da polpa foi realizado com refratômetro digital (HI 96801, Hanna Instruments, Woonsocket, EUA), e as médias foram expressas em  $^\circ$ Brix. A acidez titulável (AT) foi quantificada em pHmetro (FTP 905, Marconi Equipamentos para Laboratório Ltda., Piracicaba, Brasil), por titulometria de neutralização, medindo-se 10mL de polpa em 90 mL de água destilada. Os resultados foram expressos em % de ácido málico.

#### 5.2.4.4. Índice de regressão do amido e cor da semente

O índice de regressão do amido (IRA) foi quantificado pelo método de Werner (1989). Para isso, a região peduncular dos frutos cortados transversalmente na região equatorial foram imersos em solução de iodo metálico e iodeto de potássio durante 10 min. A coloração resultante foi comparada à escala: 1 = frutos totalmente verdes (baixa degradação do amido) e 5 = frutos com alto grau de maturação (alta degradação do amido). A cor da semente foi avaliada pela escala entre 1 a 4, onde 1 corresponde a sementes com a coloração creme, ainda imaturas e 4 a sementes marrons e maduras.

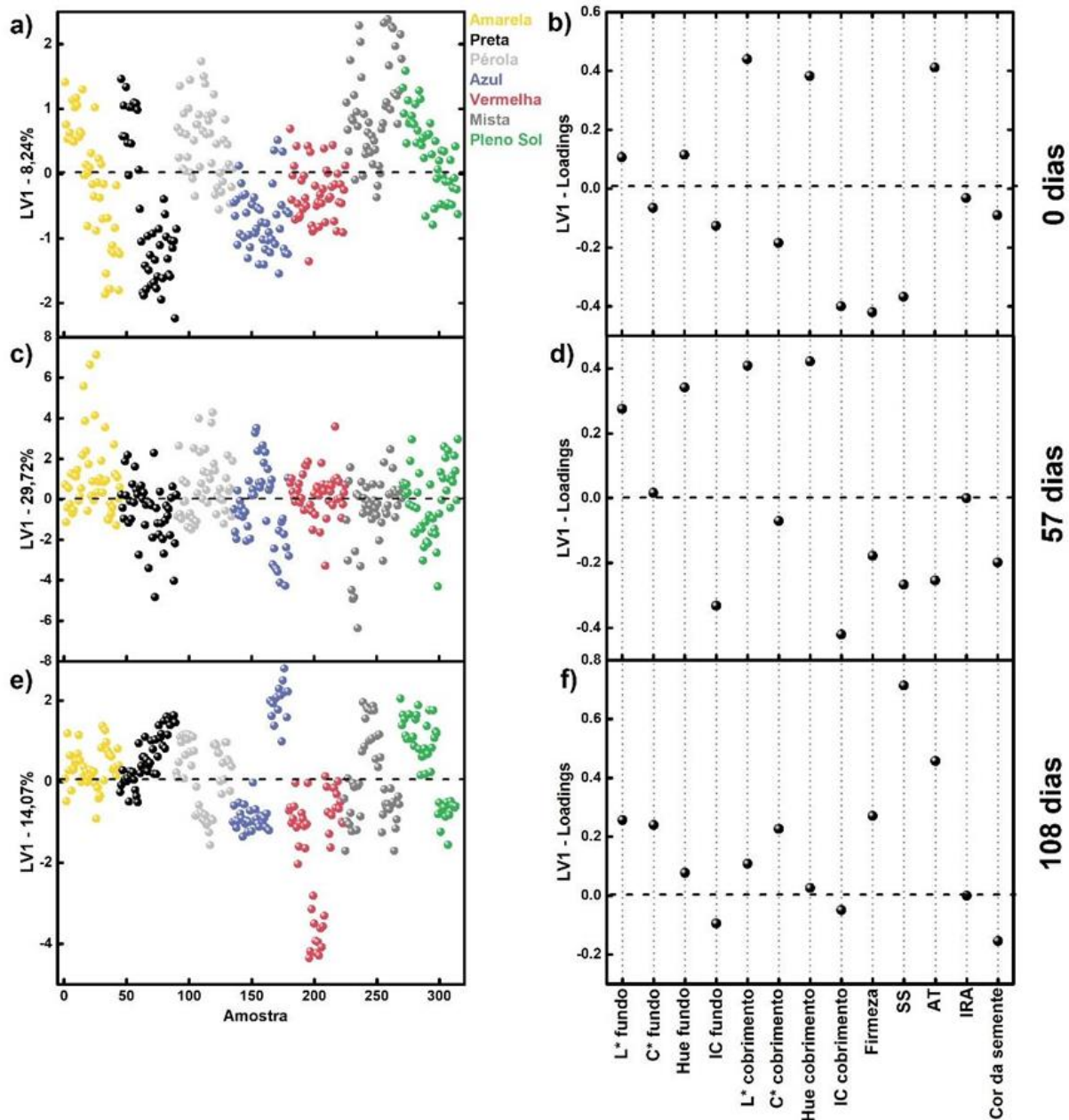
### 5.2.5. Análise estatística

Uma análise estatística multivariada supervisionada por Análise Discriminante por Mínimos Quadrados Parciais (*Partial Least Squares Discriminant Analysis* - PLS-DA) com um filtro de ortogonalização dos dados (*Orthogonal Projections to Latent Structures Discriminant Analysis* - O-PLS-DA) foi desenvolvida utilizando o software PLS-Toolbox (versão 8.6.2, Eigenvector Research Incorporated, Manson, USA, 2018) a fim de observar o agrupamento dos dados de acordo com os tratamentos e os tempos de armazenamento, e remover a variância não correlacionada com os dados amostrais. A Tabela 7 descreve os parâmetros utilizados para seleção do número de variáveis latentes (*Latent Variables* - LV) nas modelagens. Adicionalmente, uma análise por Importância das Variáveis na Projeção (*Variables Importance for Projection* - VIP) foi efetuada para destacar as variáveis mais relevantes na discriminação das amostras.

A análise estatística univariada foi desenvolvida para as variáveis evidenciadas pela análise VIP utilizando o software RStudio 3.5.0 (Posit, Boston, MA, EUA). Foi realizada a análise de variância (ANOVA) fator único para certificar a significância das variáveis destacadas, sendo as médias comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade ( $p > 0,05$ ). A mesma análise para os demais atributos são apresentadas no apêndice D. As Figuras foram construídas utilizando o software Origin™ 9.3 (OriginLab, Northampton, MA, EUA).

## 5.3. Resultados

Uma análise por O-PLS-DA foi desenvolvida para cada momento de avaliação (colheita e 2 períodos de armazenamento), perfazendo uma matriz de 13 variáveis x 7 tratamentos, a fim de observar a variabilidade das amostras e identificar as variáveis mais bem correlacionadas com cada tela. A Figura 17 ilustra os *scores* e *loadings* em LV1 para os três períodos de armazenamento. Os parâmetros estatísticos são descritos na Tabela 7 e indicam o bom ajuste dos modelos.



**Figura 17.** O-PLS-DA resultante da avaliação dos atributos: coloração de fundo e de cobrimento ( $L^*$ ,  $C^*$ , Hue e IC) da casca, firmeza da polpa (N), teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}$ Brix), acidez titulável (% ácido málico), índice de regressão do amido e cor da semente de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas, no momento da colheita (0 dias) e após 57 e 108 dias de armazenamento a  $0 \pm 1^{\circ}\text{C}$   $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. *Scores* e *loadings*, respectivamente, em LV1 das maçãs a, b: na colheita (0 dias); c, d: aos 57 dias; e, f: aos 108 dias de armazenamento refrigerado. IC: índice de cor; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido.

Na colheita (0 dias) (Figura 17a) e aos 57 dias de armazenamento a  $0^{\circ}\text{C}$  (Figura 17c) os grupos amostrais não apresentaram tendências significativas de separação. Na colheita, os resultados para os scores e loadings mostraram as tendências de agrupamento em 8,24% da variância total em LV1 (Figura 17a-b). Apesar de todos os tratamentos terem apresentado

distribuição tanto em scores positivos, quanto negativos de LV1, as telas pérola e mista tenderam a influenciar, majoritariamente, altos valores de L\* e Hue da coloração de fundo e de cobrimento da casca e AT. As médias de L\* de fundo e cobrimento provenientes das telas pérola e mista foram de 63,83 e 63,75, respectivamente para o L\* de fundo, e 46,86 e 48,15, respectivamente para o L\* de cobrimento, no entanto houve diferença apenas do L\* de cobrimento da tela mista com a tela azul (Apêndice D). Ao passo que a coloração de cobrimento medida pelo Hue indicou frutos amarelados para as telas pérola e mista (47,22° e 48,95°, respectivamente).

**Tabela 7.** Parâmetros estatísticos obtidos pela modelagem por O-PLS-DA de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosselativas, no momento da colheita (0 dias) e após 57 e 108 dias de armazenamento a  $0 \pm 1$  °C 90  $\pm$  5% UR em atmosfera comum.

Parâmetros	0 dias	57 dias	108 dias
Número de LVs	4	4	4
Variância capturada (%) <sup>a</sup>	64,16	70,79	72,89
RMSEC <sup>b</sup>	0,344	0,322	0,344
RMSECV <sup>c</sup>	0,348	0,333	0,349
Bias <sup>d</sup>	-3,609 <sup>-16</sup>	-1,943 <sup>-16</sup>	-2,776 <sup>-16</sup>
CV Bias <sup>e</sup>	-0,001	-0,001	-0,001

<sup>a</sup>Percentual total de variância na matriz x, refere-se todas as variáveis latentes (LV); <sup>b</sup>Raiz quadrada média do erro de calibração; <sup>c</sup>Raiz quadrada média do erro de validação cruzada; <sup>d</sup>Diferença média entre o estimador e o grupo real durante a calibração; <sup>e</sup>Diferença média entre o estimador e o grupo real durante a calibração cruzada.

Adicionalmente, as telas azul e vermelha influenciaram, aos 0 dias, majoritariamente as variáveis C\* e IC de fundo e de cobrimento da casca, firmeza de polpa, SS, IRA e cor da semente (Figura 17b). O IC da coloração de cobrimento e a firmeza das maçãs sob tela azul foram superiores à tela mista (médias de IC de 28,97 e 20,74, e firmeza de 68,48 N e 64,50 N, respectivamente) (Apêndice D). A tela azul apresentou maçãs com valores médios mais altos de 15,43 °Brix, à medida que tela vermelha mostrou valores intermediários.

Aos 57 dias de armazenamento, os *scores* e *loadings* representaram 29,72% da variância das amostras em LV1 (Figura 17c-d). Com exceção da tela amarela, os demais tratamentos apresentaram agrupamento próximo ao *score* 0, o que indica uma baixa correlação das amostras com os atributos e uma uniformidade de maturação entre os tratamentos. A tela

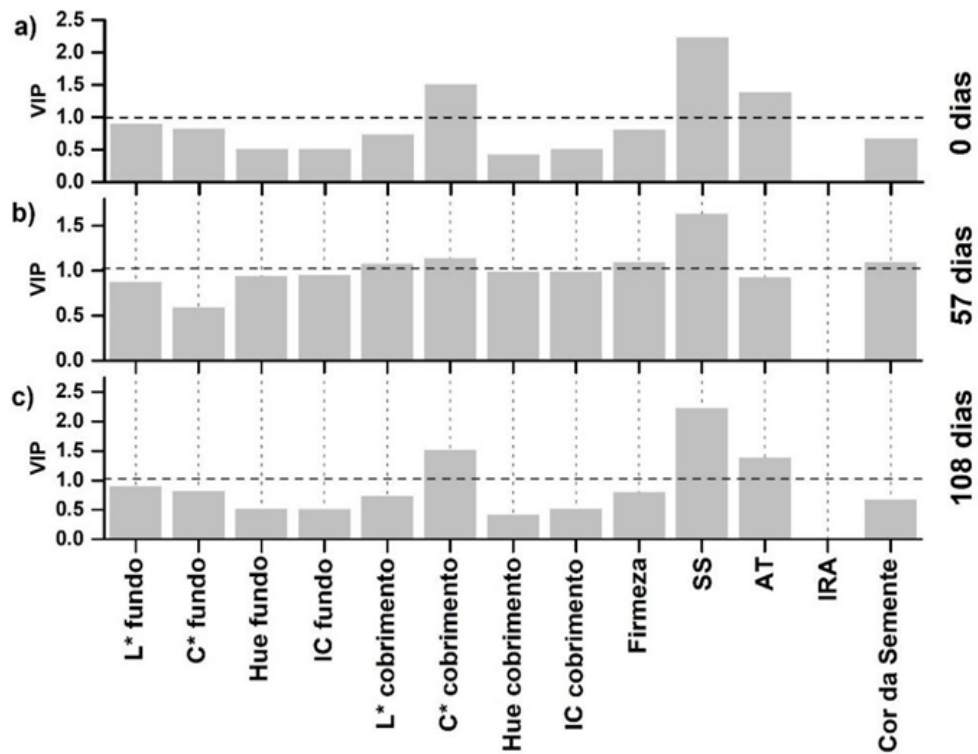


amarela, apesar de apresentar *scores* agrupados tanto em valores positivos quanto negativos de LV1, apresenta tendência maior de agrupamento em altos valores de *scores* positivos, indicando maior correlação positiva com L\*, C\* e Hue de cor de fundo, e L\* e Hue de cor de cobrimento da casca. As médias de luminosidade da coloração de fundo e cobrimento dos frutos sob tela amarela (69,60 e 50,87) foram classificadas entre as mais altas (Apêndice D).

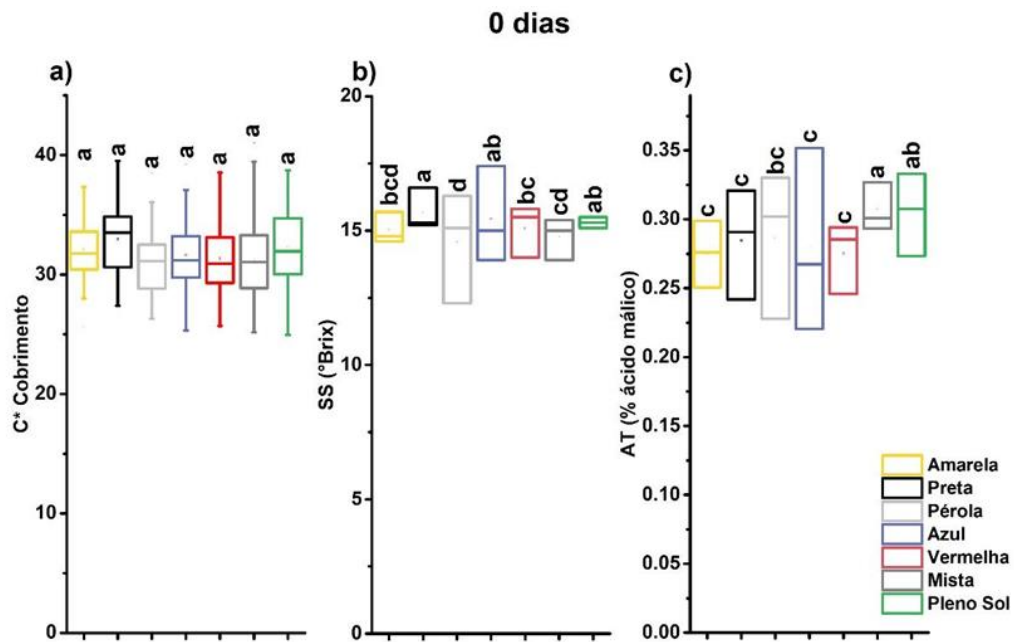
Após 108 dias de armazenamento refrigerado, 14,07% da variância foi representada pelos *scores* e *loadings* em LV1 (Figura 17e-f). A tela vermelha apresentou tendência de separação em altos valores de *scores* negativos de LV1, influenciando IC de cor de fundo e de cobrimento da casca, e cor da semente. A tela azul foi representada por dois agrupamentos claramente distintos, permanecendo em *scores* positivos e negativos de LV1, indicando desuniformidade no amadurecimento dessas maçãs. A condição de pleno sol e as telas pérola e mista permaneceram bem distribuídas entre os *scores*, ao passo que as telas amarela e preta mostraram tendência de agrupamento em *scores* positivos de LV1. Essas telas influenciaram, majoritariamente, altos valores dos *loadings* de L\*, C\*, Hue de cor de fundo e de cobrimento da casca, firmeza, SS e AT.

A Figura 18 ilustra a análise VIP, indicando os atributos mais relevantes na variância dos dados, para cada período de avaliação. Na colheita, o C\* da cor de cobrimento da casca, SS e AT apresentaram maior influência sobre a variância das amostras (Figura 18a). Já aos 57 dias de refrigeração, as variáveis mais relevantes foram o L\* e o C\* da cor de cobrimento da casca, a firmeza, SS e cor da semente (Figura 18b). Por fim, após 108 dias de armazenamento refrigerado, as variáveis C\* de cor de cobrimento, SS e AT novamente foram as mais relevantes (Figura 18c).

A ANOVA e o teste de Tukey das variáveis destacadas pela análise VIP na colheita indicaram que não houve diferença entre os frutos provenientes dos diferentes tratamentos quanto ao C\* da cor de cobrimento (Figura 19a). Maçãs provenientes de cultivo sob a tela preta apresentaram maior valor médio (15,7 °Brix) de SS, sem diferirem, entretanto, daquelas provenientes das áreas protegidas com as telas azul e em pleno sol. Maçãs provenientes dos tratamentos com as telas pérola, amarela e mista apresentaram os menores valores médios de SS (14,57, 15,03 e 14,77 °Brix, respectivamente) (Figura 19b). A AT foi maior nas maçãs provenientes do tratamento de tela mista (0,31 % de ácido málico), sem diferir daquelas produzidas sob pleno sol; e menor nos frutos das áreas de tela amarela, vermelha, azul e preta, com médias de 0,27; 0,27; 0,28 e 0,28 % de ácido málico, respectivamente (Figura 19c).



**Figura 18.** *Loadings* mais relevantes para a discriminação das amostras obtidos pela análise VIP de amostras de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas, no momento da colheita (0 dias) e após 57 e 108 dias de armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de retenção do amido.

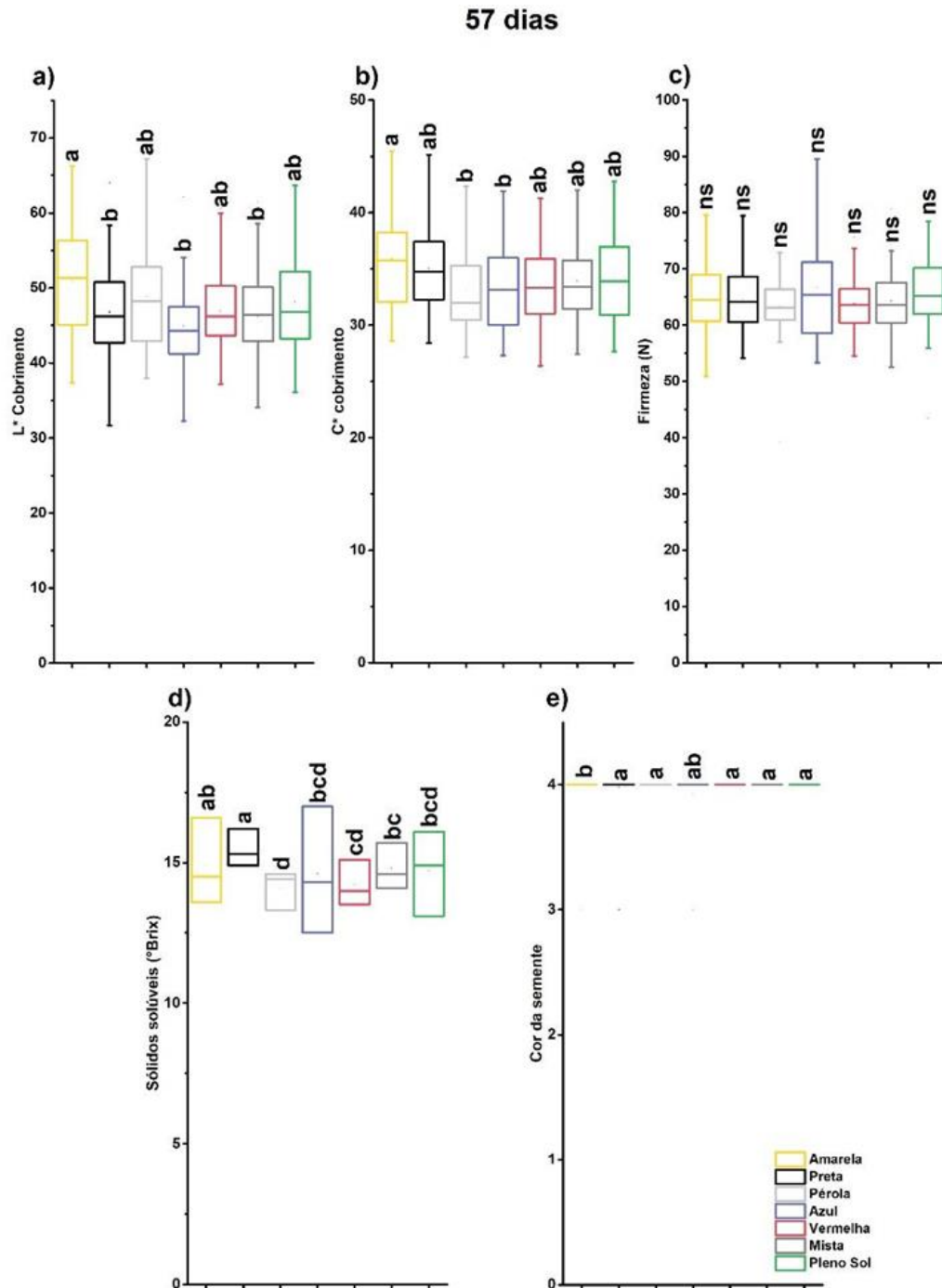


**Figura 19.** Box plot das médias dos atributos mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a análise VIP de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes telas antigranizo fotosseletivas, no momento da colheita (0 dias). a) L\* da cor de cobrimento; b) teor de sólidos solúveis

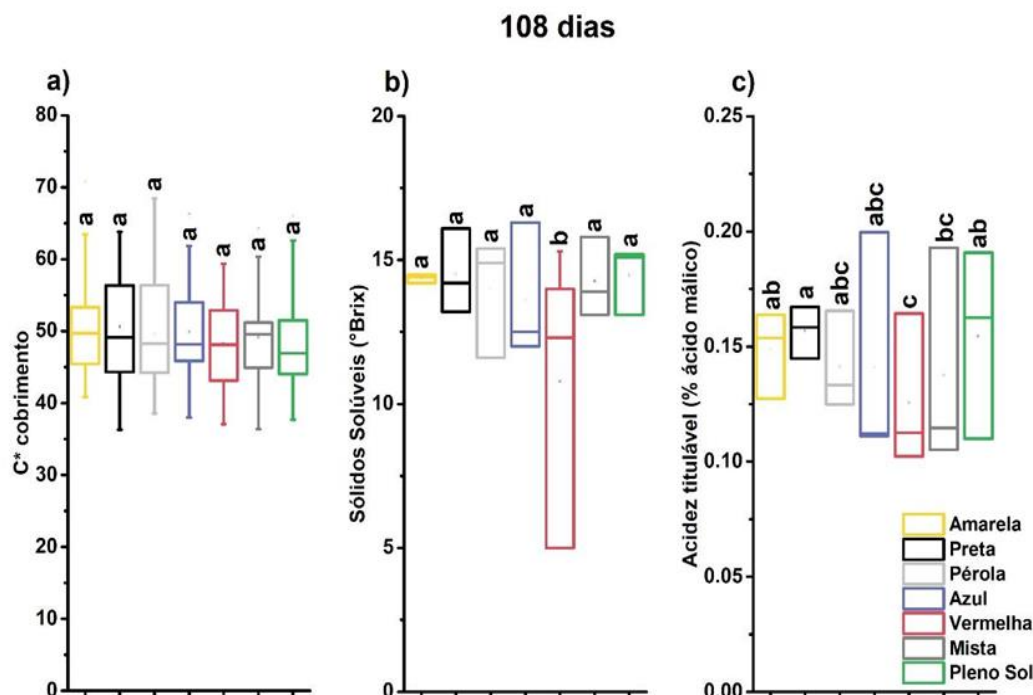
(°Brix); c) acidez titulável (% ácido málico). Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey 5% ( $p < 0,05$ ).

Aos 57 dias de armazenamento, frutos das áreas sob tela amarela apresentaram valor médio de luminosidade da cor de cobrimento de 50,88, superior ao dos frutos provenientes das telas preta, azul e mista, com valores médios de 46,79, 44,92 e 46,26, respectivamente (Figura 20a). No entanto, os frutos produzidos sob as telas pérola e vermelha, bem como em pleno sol não diferiram dos demais tratamentos. A tela amarela apresentou frutos com saturação da cor de cobrimento ( $C^*$ ) em torno de 35,91, superior aos frutos provenientes dos tratamentos com tela pérola e azul, os quais apresentaram médias de 32,97 e 33,29, respectivamente (Figura 20b). Os tratamentos com tela preta, vermelha, mista e pleno sol foram intermediários, sem diferir dos demais. A firmeza da polpa, apesar de destacada pela análise VIP, não apresentou significância pela ANOVA (Figura 20c). O teor de SS foi maior nos frutos produzidos sob tela preta (15,74 °Brix), sem diferir, entretanto, daquele encontrado nos frutos produzidos em tela amarela (14,90 °Brix) (Figura 20d). A tela pérola apresentou frutos com menor valor médio de SS (14,10 °Brix), sem diferir daqueles produzidos sob tela azul, vermelha e pleno sol. As sementes se mostraram mais claras nas maçãs produzidas sob tela amarela (3,87) quando comparadas àquelas sob as telas preta, pérola, vermelha, mista e pleno sol (3,98 sob tela amarela e 4,00 para as demais) (Figura 20e). A coloração das sementes das maçãs sob a tela azul não diferiu das demais.

Após 108 dias de armazenamento refrigerado observou-se que as principais alterações que ocorreram nos frutos dos diferentes tratamentos foram quanto aos teores de SS e AT. Não houve diferença quanto ao  $C^*$  da cor de cobrimento da casca (Figura 21a). O teor de SS foi menor somente nos frutos produzidos sob tela vermelha, com valor médio de 10,79 °Brix, ao passo que o valor médio nos demais tratamentos variou entre 13,00 a 15,00 °Brix (Figura 21b). As maçãs produzidas sob tela preta apresentaram valores médios de AT de 0,16 % de ácido málico, maiores do que aqueles encontrados nos frutos sob telas vermelha e mista (0,13 e 0,14 % de ácido málico, respectivamente) (Figura 21c). As telas amarela, pérola, azul e a condição de pleno sol proveram frutos com acidez média semelhante àquela observada nas maçãs sob tela preta (valores médios entre 0,14 e 0,15% de ácido málico), ao passo a que as telas pérola, azul e mista proveram maçãs com acidez intermediária (0,14 % de ácido málico para as três telas).

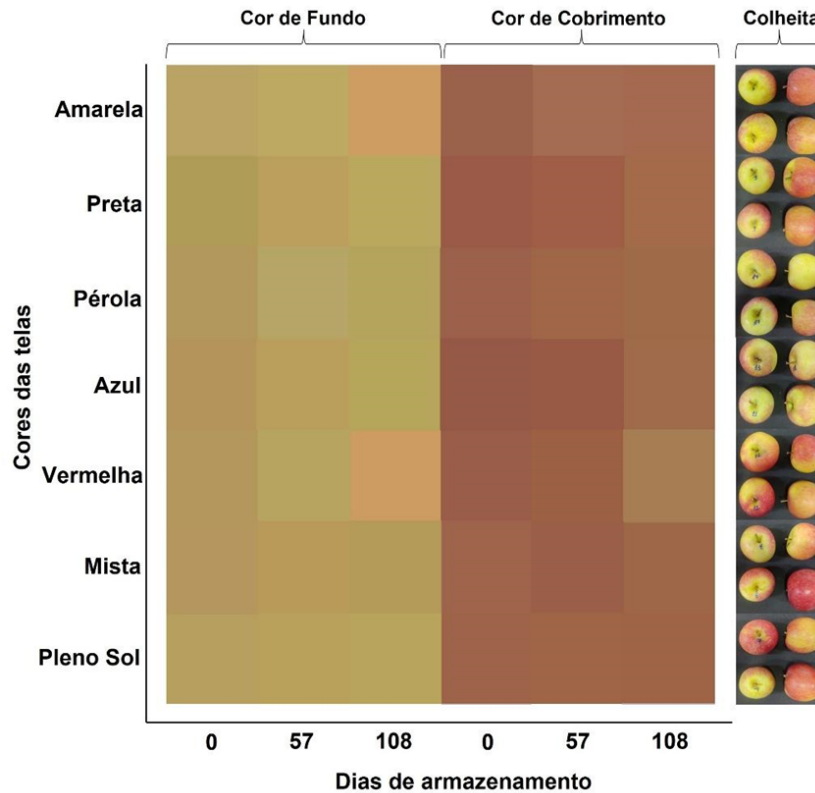


**Figura 20.** Box plot das médias mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a análise VIP de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosseletivas, após 57 dias de armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. a) L\* da cor de cobertura; b) C\* da cor de cobertura; c) firmeza da polpa (N); d) teor de sólidos solúveis (°Brix); e) cor da semente. Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey 5% ( $p < 0,05$ ). ns: não significativo pela ANOVA.



**Figura 21.** Box plot das médias mais relevantes para a discriminação das amostras segundo a análise VIP de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas, aos 108 dias de armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. a) C\* da cor de cobrimento; b) teor de sólidos solúveis (°Brix); c) acidez titulável (% ácido málico). Médias seguidas por letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey 5% ( $p < 0,05$ ).

A Figura 22 mostra a mudança de cor dos frutos de cada tratamento ao longo do período de armazenamento. Apesar de apenas os parâmetros C\* (todos os períodos) e L\* (57 dias) da cor de cobrimento da casca terem sido destacados pela análise VIP, é possível observar que, visualmente, as telas amarela e vermelha parecem apresentar frutos com coloração de fundo amarela/alaranjada ao final do período de armazenamento. Nesse mesmo período, maçãs provenientes da área coberta com tela vermelha tenderam a perder a coloração vermelho-vívido de cobrimento, apesar do teste de Tukey ter apontado diferença apenas na saturação e IC da cor de fundo dos frutos sob tela vermelha com os frutos da tela azul (Apêndice D). Plantas sob pleno sol produziram maçãs com maior estabilidade da cor de casca até o final do armazenamento refrigerado, que foram visualmente semelhantes aos da colheita. Comparada às demais telas, a de cor pérola proporcionou maior estabilidade da cor de casca das maçãs durante o armazenamento.



**Figura 22.** Representação da cor de fundo e de cobertura da casca (parâmetros  $L^*$ ,  $C^*$  e Hue) de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosseletivas, na colheita (0 dias) e após 57 e 108 dias de armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum.

#### 5.4. Discussão

As telas fotosseletivas alteram a qualidade da luz transmitida às plantas (Boini et al., 2022), modificando processos metabólicos ligados à radiação solar. Os fotorreceptores criptocromos, fototropinas e fitocromos, são responsáveis pela captação da luz nas plantas e respondem de maneira diferente aos diferentes comprimentos de onda de luz (Gussakovsky et al., 2007). Criptocromos e fototropinas detectam a luz azul e ultravioleta (UV), à medida que os fitocromos respondem aos comprimentos de onda do vermelho e vermelho distante (Sullivan e Deng, 2003).

Nesse contexto, observamos pouca diferença nos resultados entre os tratamentos, indicando que as telas fotosseletivas podem não ter efeito significativo sobre o comportamento fisiológico de maçãs ‘Fuji Suprema’. No entanto, o fato dessas maçãs terem sido colhidas 236 dias após a plena floração, período considerado já tardiamente para a cultivar, pode ter influenciado na falta de resposta durante o armazenamento. Em estudo realizado por Fioravanço et al. (2010) com ‘Fuji Suprema’, o maior período indicado entre a

plena floração e a colheita foi de 225 dias. Nossos resultados apresentados pelo conjunto entre as análises supervisionadas por O-PLS-DA e VIP, aliadas às análises univariadas, mostrou que as telas fotosselativas alteraram principalmente os atributos de saturação da cor ( $C^*$ ) de casca, SS e AT nas maçãs ‘Fuji Suprema’.

Segundo estudo feito por Fioravanço et al. (2010), a maçã ‘Fuji suprema’ se caracteriza por ter coloração de cobrimento vermelho escuro uniforme (valores de Hue em torno de  $45^\circ$ , coloração de fundo verde-amarelado (valores de Hue próximos a  $90^\circ$ ), o teor de SS em torno de  $15,87^\circ$ Brix, firmeza próxima a 81 N e IRA em 4,27. Dentre esses parâmetros, algumas diferenças entre a coloração dos frutos foram observadas, mas sobretudo houve alterações no teor de SS, destacados pela análise VIP nos três momentos de avaliação. Os valores de firmeza foram diferentes entre os tratamentos apenas na colheita, indicando que as telas não influenciaram na firmeza dos frutos ao longo do armazenamento. O IRA permaneceu em 5,00 desde a colheita para todos os tratamentos, não havendo alterações até o final do período avaliado.

As maçãs provenientes de cultivo em pleno sol apresentaram o mesmo comportamento desde a colheita até o final do período de armazenamento, sem apresentarem significativa degradação de açúcares, ácidos e amido, perda da firmeza ou mudanças na cor da casca, características desejáveis para comercialização. Moura et al. (2022) obtiveram melhores resultados em kiwis cultivados em área descoberta quando comparados àqueles provenientes de áreas com telas de coloração pérola, amarela e cinza.

Em linhas gerais, ao longo do armazenamento, os frutos cultivados a pleno sol não apresentaram diferença significativa das telas em relação à maioria dos atributos (Apêndice D). Maiores diferenças foram observadas entre os frutos produzidos sob as diferentes telas, entretanto após 108 dias em frios, apenas os atributos L,  $C^*$  e IC de fundo e AT apresentaram alguma diferença entre as telas.

A tela vermelha, apesar de apresentar no momento da colheita, frutos correlacionados com atributos que indicam coloração vermelha da casca, firmeza, doçura e menor acidez, a longo prazo se mostrou desfavorável. Ao longo do armazenamento, essas maçãs atingiram uma coloração de fundo opaca, próxima ao alaranjado e de cobrimento também opaca (Apêndice D). Além de terem apresentado redução tanto na doçura, quanto na acidez, indícios de frutos sobremaduros ao final do período. Durante o amadurecimento os frutos tendem a sintetizar açúcares e degradar os ácidos, à medida que na senescência esses açúcares são degradados (Sánchez-Rodríguez et al., 2019). Levando em consideração os parâmetros esperados da cultivar, esses frutos não se apresentavam ao final do armazenamento com a

qualidade comercial ideal, uma vez que visivelmente a coloração da casca não estava conforme esperado e as médias de SS em 10,79 °Brix.

Foi observado em maçãs ‘Granny Smith’ que a tela vermelha apresentou frutos com maiores teores de SS na colheita, à medida reduziu seus teores após o armazenamento de 4 meses (Vuković et al., 2020). A tela vermelha, eleva a radiação da luz que incide sobre o pomar pelo aumento do pico de transmitância para além do 590 nm (Nomura et al., 2009; Oren-Shamir et al., 2001). Atingindo os comprimentos de onda do vermelho e vermelho distante. Além de limitar os comprimentos de onda da luz verde (Kong et al., 2012). A relação entre vermelho/vermelho distante é crítica às respostas dos fitocromos (Shahak et al., 2004), ao passo que a luz verde inibe os fitocromos (Wang e Folta, 2013).

Na colheita, a malha azul apresentou distribuição dos *scores* em LV1 próxima à da vermelha. Essas maçãs, logo na colheita, se apresentaram com uma coloração mais opaca ( $L^*$  de fundo e cobrimento), coloração vermelho-alaranjada, mais firmes, doces e menos ácidas (Apêndice D). Ao final do armazenamento de 108 dias, esses frutos apresentaram distribuição dos *scores* heterogênea, apontando para desuniformidade na maturação. A maturação da ‘Fuji Suprema’ é desuniforme (Fioravanço et al., 2010), no entanto esse comportamento não foi visto nos demais tratamentos. O efeito da tela azul pode ser explicado por ela elevar o pico de transmitância para a região do azul e verde (400 a 540 nm) (Gussakovsky et al., 2007; Oren-Shamir et al., 2001), mas com potencial de radiação alto vermelha (Costa et al., 2018), assim como a tela vermelha.

As maçãs produzidas com tela amarela apresentaram brilho na casca ( $L^*$  de fundo e cobrimento), menos doces e ácidas logo na colheita (Apêndice D), com um comportamento de distribuição semelhante à tela preta. Aos 57 dias de armazenamento, a malha amarela foi a única que apresentou melhor separação dos *scores* apontando para frutos com uma coloração de cobrimento mais amarela, com brilho na casca, mas com maior saturação no cobrimento e as sementes estavam mais imaturas que as demais, com exceção dos frutos provenientes da tela azul (Apêndice D). Ao final do armazenamento a tela amarela mostrou novamente comportamento de distribuição semelhante a tela preta. Essas maçãs mantiveram a acidez constante desde a colheita, atingiram a coloração de fundo amarelada e perderam o tom avermelhado do cobrimento. Características não desejadas comercialmente.

Selahle et al. (2015) obtiveram pimentões cultivados sob tela amarela, com melhor qualidade comercializável após 91 dias de armazenamento. Já para Tinyane et al. (2013) o uso de tela amarela em tomates ‘AlfaV’ não foi efetivo à melhora da qualidade. Esses mesmos autores observaram interação entre as telas amarela e preta com relação aos teores de SS. A



tela amarela reduziu a taxa fotossintética em pimentões (Kong et al., 2012). Em concordância, Moura et al. (2022) observaram redução na produção e qualidade de kiwis 'Hayward' produzidos com tela amarela. No entanto, nossos resultados para a cv. Fuji Suprema não puderam ser conclusivos a respeito dessa tela.

A tela mista (preta com branca) foi a que mais se assemelhou com a área a pleno sol, em relação ao comportamento dos frutos. As maçãs produzidas sob essa tela se apresentaram brilhantes ( $L^*$ ), valores de Hue e acidez mais altos na colheita, mas menos doces (Apêndice D). Ao passo que ao longo do armazenamento mantiveram suas características organolépticas estáveis, mantendo-se comercializáveis. Shahak et al. (2004) relataram em maçãs 'Red Delicious' e 'Smothee Golden Delicious' que o uso de tela cinza melhorou a coloração de cobertura na colheita. Tanto a malha preta (Costa et al., 2018), quanto a branca (Henrique et al., 2011), que compõem a tela cinza não são fotosseletivas, são consideradas neutras por não alterar a qualidade da luz, apenas causar o efeito de sombreamento. Isso pode explicar as características semelhantes ao efeito da área a pleno sol.

Por fim, os frutos provenientes da tela pérola apresentaram, na colheita, brilho na casca, coloração de cobertura vermelho-alaranjada e firmes, mas menos doces e ácidas (Apêndice D). Os teores de SS estavam em torno de 1,30 °Brix abaixo do ideal, segundo os parâmetros descritos por Fioravanço et al. (2010) para a cultivar. Após 108 dias em frio, as maçãs mantiveram a coloração da casca alaranjada, SS semelhante aos demais tratamentos, com exceção da tela vermelha que apresentou menores médias, e acidez intermediária, representando frutos comercializáveis.

Foi constatado que a tela pérola não só melhorou a qualidade, como manteve condições mais estáveis em tomate 'AlfaV' e pimentão vermelho (Selahle et al., 2015; Tinyane et al., 2013). Bastías et al. (2011) e Moura et al. (2022) relataram que a malha pérola reduziu a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em maçãs 'Fuji' e kiwis 'Hayward', respectivamente. A regulação da quantidade de radiação impede a ocorrência de danos pela radiação excessiva, como queimadura solar e desidratação, e fornece também quantidade ideal à planta de radiação utilizada para a fotossíntese, mantendo melhores condições de desenvolvimento. A malha pérola aumenta a luz difusa disponível ao pomar (Umanzor et al., 2017). Por ser menos intensa, a luz difusa reduz as condições de estresse causados pela radiação, é melhor distribuída pela planta e pode abaixar a temperatura no pomar, inclusive favorecendo a abertura estomática (Umanzor et al., 2017; Urban et al., 2007).

## 5.5. Conclusão

As telas antigranizo fotosseletivas não representaram modificações expressivas na qualidade inicial e pós-armazenamento de maçãs ‘Fuji Suprema’. Maiores mudanças entre as telas foram observadas apenas em relação aos atributos de saturação da cor ( $C^*$ ), SS e AT.

A área a pleno sol apresentou os frutos estáveis e comercializáveis ao final do armazenamento, mantendo a maturação constante desde a colheita. Ao passo que a tela vermelha representou frutos com tendência a se tornarem sobremaduros após 108 dias de armazenamento. As maçãs produzidas sob tela azul, além de apresentarem frutos mais maduros na colheita, tiveram comportamento de maturação desuniforme ao final do período avaliado na pós-colheita. Dentre as telas, a mista apresentou frutos com comportamento mais semelhante aos provenientes da área de cultivo a pleno sol podendo ser utilizadas como alternativa a substituição da área descoberta em situações de ocorrências frequentes de granizo.

## Referências

- Amarante, C.V.T. do, Steffens, C.A., Argenta, L.C., 2011. Yield and fruit quality of “Gala” and “Fuji” apple trees protected by white anti-hail net. *Sci Hort* 129, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.010>
- Aoun, M., Manja, K., 2020. Effects of a photosensitive netting system on Fuji and Jonagold apples in a Mediterranean orchard. *Sci Hort* 263, 109104. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109104>
- Bastías, R.M., Losciale, P., Chieco, C., Rossi, F., Corelli-Grappadelli, L., 2011. Physiological aspects affected by photosensitive nets in apples: Preliminary studies. *Acta Hort* 907, 217–220. <https://doi.org/10.17660/ActaHort.2011.907.32>
- Blanke, M., 2009. The structure of coloured hail nets affects light transmission, light spectrum, phytochrome and apple fruit colouration. *Acta Hort* 817, 177–184. <https://doi.org/10.17660/ActaHort.2009.817.17>
- Boini, A., Casadio, N., Bresilla, K., Perulli, G.D., Manfrini, L., Grappadelli, L.C., Morandi, B., 2022. Early apple fruit development under photosensitive nets. *Sci Hort* 292. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110619>
- Castellano, S., Russo, G., Mugnozza, G.S., 2006. The influence of construction parameters on radiometric performances of agricultural nets. *Acta Hort* 718, 283–290. <https://doi.org/10.17660/ActaHort.2006.718.32>
- COSTA, B.N.S., COSTA, I.J.S., SOUZA, G.A. DE, SANTOS, D.N. DOS, SILVEIRA, F.A. DA, MELO, E.T. DE, MARTINS, A.D., PASQUAL, M., SETOTAW, T.A., RODRIGUES, F.A., 2018. Anatomical modifications of *Butia capitata* propagated under colored shade nets. *An Acad Bras Cienc* 90, 3615–3624. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820170347>
- Fioravanço, J.C., Girardi, C.L., Czermainski, A.B.C., Silva, G.A. da, Nachtigall, G.R., Oliveira, P.R.D. de, 2010. *Cultura da macieira no Rio Grande do Sul: análise situacional e descrição varietal*, 1st ed. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves.
- Fruk, G., Fruk, M., Vuković, M., Buhin, J., Jatoi, M.A., Jemrić, T., 2016. Colouration of Apple cv. ‘Braeburn’ Grown Under Anti-Hail Nets in Croatia. *Acta Horticulturae et Regiotecturae* 19, 1–4. <https://doi.org/10.1515/ahr-2016-0013>

- Gussakovsky, E.E., Shahak, Y., Schroeder, D.F., 2007. Color of illumination during growth affects LHCII chiral macroaggregates in pea plant leaves. *J Photochem Photobiol B* 86, 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2006.08.013>
- Henrique, P.C., Alves, J.G., Deuner, S., Goulart, P.F.P., Livramento, D.E., 2011. Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de mudas de café cultivadas sob telas de diferentes colorações. *Pesqui Agropecu Bras* 46, 458–465.
- Kong, Y., Avraham, L., Ratner, K., Shahak, Y., 2012. Response of photosynthetic parameters of sweet pepper leaves to light quality manipulation by photoselective shade nets. *Acta Hort* 956, 501–506. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.59>
- Leite, G.B., Petri, J.L., Mondardo, M., 2002. Efeito da tela antigranizo em algumas características dos frutos de macieira. *Rev Bras Frutic* 24, 714–716. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000300037>
- Moura, L., Pinto, R., Rodrigues, R., Brito, L.M., Rego, R., Valin, I., Mariz-Ponte, N., Santos, C., Mourão, I., 2022. Effect of Photo-Selective Nets on Yield, Fruit Quality and Psa Incidence in a ‘Hayward’ Kiwi Orchard. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4159808>
- Mupambi, G., Anthony, B.M., Layne, D.R., Musacchi, S., Serra, S., Schmidt, T., Kalcsits, L.A., 2018. The influence of protective netting on tree physiology and fruit quality of apple: A review. *Sci Hortic* 236, 60–72. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.03.014>
- Nomura, E.S., Lima, J.D., Rodrigues, D.S., Garcia, V.A., Fuzitani, E.J., Silva, S.H.M.-G. da, 2009. Crescimento e produção de antúrio cultivado sob diferentes malhas de sombreamento. *Ciência Rural* 39, 1394–1400. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782009000500014>
- Oren-Shamir, M., Gussakovsky, E.E., Shpiegel, E., Nissim-Levi, A., Ratner, K., Ovadia, R., Giller, Y.E., Shahak, Y., 2001. Coloured shade nets can improve the yield and quality of green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 76, 353–361. <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511377>
- Petri, J.L., Leite, G.B., 2008. Macieira. *Rev Bras Frutic* 30, 857–1166. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000400001>
- Racsko, J., Schrader, L.E., 2012. Sunburn of apple fruit: Historical background, recent advances and future perspectives. *CRC Crit Rev Plant Sci* 13, 455–504. <https://doi.org/doi.org/10.1080/07352689.2012.696453>
- Retamales, J., Montecino, J. M., Lobos, G.A., Rojas, L.A., 2008. Coloured shading nets increase yields and profitability of highbush blueberry in Chile. *Acta Horticulture* 770, 193–199.
- Sánchez-Rodríguez, L., Ali, N.S., Cano-Lamadrid, M., Noguera-Artiaga, L., Lipan, L., Carbonell-Barrachina, Á.A., Sendra, E., 2019. Flavors and Aromas, in: Yahia, E.M., Carrillo-López, A. (Eds.), *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. Elsevier, pp. 385–404.
- Selahle, K.M., Sivakumar, D., Jifon, J., Soundy, P., 2015. Postharvest responses of red and yellow sweet peppers grown under photo-selective nets. *Food Chem* 173, 951–956. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.034>
- Shahak, Y., 2008. Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. *Acta Hort* 770, 161–168. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.770.18>
- Shahak, Y., Gussakovsky, E.E., Cohen, Y., Lurie, S., Stern, R., Kfir, S., Naor, A., Atzmon, I., Doron, I., Greenblat-Avron, Y., 2004. ColorNets: A new approach for light manipulation in fruit trees. *Acta Hort* 636, 609–616. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.636.76>
- Solomakhin, A., Blanke, M., 2010a. The microclimate under coloured hailnets affects leaf and fruit temperature, leaf anatomy, vegetative and reproductive growth as well as fruit colouration in apple. *Annals of Applied Biology* 156, 121–136. <https://doi.org/0.1111/j.1744-7348.2009.00372.x>
- Solomakhin, A., Blanke, M.M., 2010b. Can coloured hailnets improve taste (sugar, sugar: acid ratio), consumer appeal (colouration) and nutritional value (anthocyanin, vitamin C) of apple fruit? *LWT - Food Science and Technology* 43, 1277–1284. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.020>
- Stroka, M.A., Ayub, R.A., da Silva, D.M., Pessenti, I.L., Pereira, A.B., Barbosa, E.A.A., 2021. Effect of anti-hail nets with different colors on ‘Eva’ apple trees agronomical responses. *Rev Bras Frutic* 43, 0–2. <https://doi.org/10.1590/0100-29452021157>

- Sullivan, J.A., Deng, X.W., 2003. From seed to seed: The role of photoreceptors in Arabidopsis development. *Dev Biol* 260, 289–297. [https://doi.org/10.1016/S0012-1606\(03\)00212-4](https://doi.org/10.1016/S0012-1606(03)00212-4)
- Tessmer, M.A., Appezzato-da-Glória, B., Antonioli, L.R., 2016. Influence of growing sites and physicochemical features on the incidence of lenticel breakdown in “Gala” and “Galaxy” apples. *Sci Hortic* 205, 119–126. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.04.027>
- Tezotto-Uliana, J.V., Berno, N.D., Saji, F.R.Q., Kluge, R.A., 2013. Gamma radiation: An efficient technology to conserve the quality of fresh raspberries. *Sci Hortic* 164, 348–352. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.026>
- Tinyane, P.P., Sivakumar, D., Soundy, P., 2013. Influence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars. *Sci Hortic* 161, 340–349. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.024>
- Umanzor, C., Bastias, R.M.B., Wilckens, R., Quezado, C., 2017. Influencia del uso de malla perla y roja en las condiciones micro-climáticas, daño por sol y desarrollo de color de frutos en huertos de manzanas cvs. Gala y Fuji. *Rev Bras Frutic* 39. <https://doi.org/10.1590/0100-29452017930>
- Urban, O., Janous, D., Acosta, M., Czerny, R., Markova, I., Navatil, M., Pavelka, M., Pokorny, R., Špřtova, M., Zhang, R., Špunda, v., Grace, J., MAREK, M. V., 2007. Ecophysiological controls over the net ecosystem exchange of mountain spruce stand. Comparison of the response in direct vs. diffuse solar radiation. *Glob Chang Biol* 13, 157–168. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01265.x>
- Vuković, M., Buhin, J., Brkljača, M., Jatoi, M.A., Jemrić, T., 2020. Postharvest quality of “granny smith” apple grown under photo-selective red net. *Journal of Central European Agriculture* 21, 124–128. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/21.1.2777>
- Wang, Y., Folta, K.M., 2013. Contributions of green light to plant growth and development. *Am J Bot* 100, 70–78. <https://doi.org/10.3732/ajb.1200354>
- Werner, R.A., 1989. Current status of controlled atmosphere storage in Brazil, in: *International Controlled Atmosphere Research Conference*, 5. Wenatchee, Washington, pp. 509–515.



## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de telas antigranizo fotosseletivas em substituição às telas tradicionais não fotosseletivas se mostrou favorável, principalmente para maçãs ‘Galaxy’, em ganhos de qualidade dos frutos em regiões onde há necessidade de uso de telas protetoras contra granizo. A cv. Galaxy apresentou bons resultados quanto às telas, tanto no mitoramento do amadurecimento dos frutos em campo, quanto durante o armazenamento refrigerado na pós-colheita. A cv. Fuji Suprema, por outro lado, apresentou menores diferenças entre as telas.

A avaliação dos frutos de ‘Galaxy e ‘Fuji Suprema’ na colheita, mostrou que as telas pérola e vermelha foram promissoras, mas com efeitos diferentes. A tela vermelha apresentou desempenho semelhante a área a pleno sol. Os frutos apresentaram melhores características organolépticas, e na ‘Galaxy’, melhor deposição de ceras e espessura de cutícula, agregando uma boa qualidade comercial. Ao passo que a tela pérola, levou a frutos em estádios de maturação menos avançados, que pode ser vantajoso a longo prazo na pós-colheita. Entretanto, esses frutos também apresentaram presença de oleosidade da casca, que pode vir a ser agravada durante o armazenamento.

O estudo de monitoramento do amadurecimento a campo e armazenamento refrigerado das maçãs ‘Galaxy’ indicou que tanto a tela vermelha, quanto a área a pleno sol proporcionaram frutos que atingiram a maturação comercial mais cedo. Entretanto, em estádios mais avançados de amadurecimento, que levou a uma baixa capacidade de armazenamento a longo prazo, sob atmosfera comum. Por outro lado, a tela pérola também proporcionou frutos em maturação comercial mais cedo, mas com amadurecimento mais retardado, que levou a um bom potencial de armazenamento. A colheita antecipada proporcionada pelas telas pode ser utilizada como estratégia de manejo para aproveitamento de janelas de mercado onde há menor oferta do produto.

O armazenamento de maçãs ‘Fuji Suprema’ não mostrou modificações expressivas. Maiores mudanças entre as telas foram observadas apenas em relação aos atributos de saturação da cor ( $C^*$ ), teor de sólidos solúveis e acidez titulável. As maçãs produzidas em pleno sol tiveram uma melhor estabilidade e durabilidade durante o armazenamento. A tela vermelha apresentou frutos sobremaduros aos final do período de refrigeração, à medida que a tela mista apresentou frutos com comportamento mais semelhante aos provenientes da área de cultivo a pleno sol e pode ser utilizada como alternativa a proteção contra o granizo.



## APÊNDICES

**Apêndice A.** Área experimental de pomar de macieira com implantação de telas antigranizo fotosselativas de diferentes cores adaptadas ao ‘sistema de capela’. Local: Monte Alegre dos Campos, RS. Foto: Fernando José Hawerth, 2016.

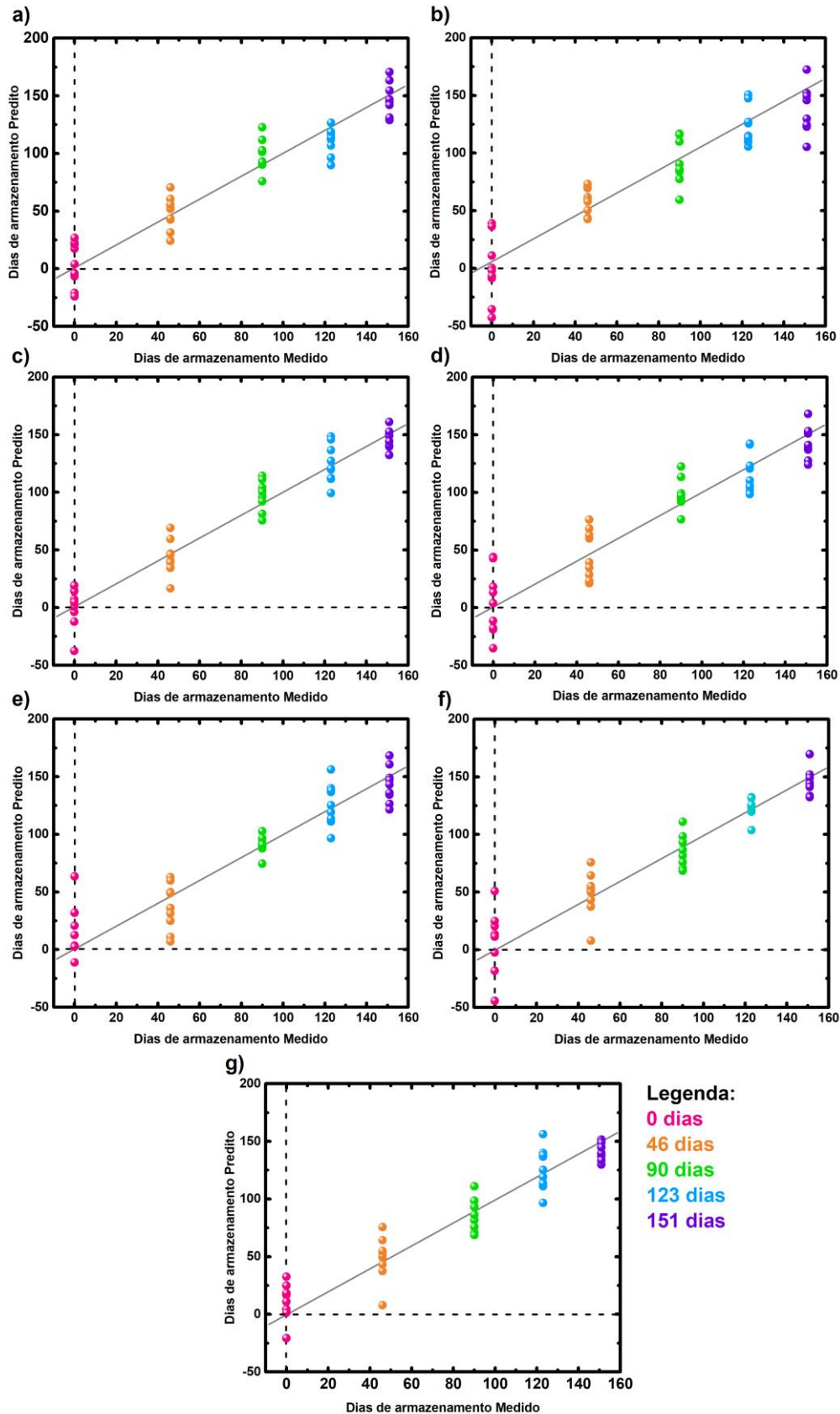




**Apêndice B.** Valores médios mensais de temperatura máxima (Temp. Máx), temperatura mínima (Temp. Mín.), temperatura média (Temp. Méd.), umidade relativa máxima (UR Máx.), umidade relativa mínima (UR Mín.), umidade relativa média (UR Méd.), radiação líquida (Radiação Líq.) e precipitação diária durante o período entre a plena florada e a colheita dos frutos de macieira ‘Galaxy’ (safra 2020/2021) e ‘Fuji Suprema’ (safra 2021/2022) na estação meteorológica de Vacaria-RS, a 39 Km de Monte Alegre dos Campos-RS. Fonte: Série de dados climáticos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), estação A880, Vacaria-RS.

Mês	Temp. Máx.	Temp. Mín. (°C)	Temp. Méd.	UR Máx.	UR Mín. (%)	UR Méd.	Radiação Líq. (KJ m <sup>-2</sup> )	Precipitação (mm)
<b>‘Galaxy’ - Safra 2020/2021</b>								
Setembro/20	15,82	14,58	15,20	83,05	77,48	80,27	1151,56	0,17
Outubro/20	17,68	16,21	16,94	76,90	69,97	73,43	1509,68	0,05
Novembro/20	17,78	16,22	17,00	79,57	72,50	76,04	1554,04	0,13
Dezembro/20	19,77	18,38	19,08	83,35	76,70	80,03	1455,22	0,24
Janeiro/21	19,96	18,77	19,36	87,99	82,44	85,22	1253,00	0,45
Fevereiro/21	19,25	17,76	18,51	84,48	77,29	80,88	1680,27	0,14
<b>‘Fuji Suprema’ - Safra 2021/2022</b>								
Setembro/21	15,57	14,43	15,00	87,23	82,14	84,69	1103,74	0,30
Outubro/21	15,75	14,53	15,14	83,83	77,90	80,87	1351,71	0,19
Novembro/21	18,65	17,19	17,92	79,43	72,61	76,02	1652,54	0,15
Dezembro/21	19,92	18,26	19,09	76,86	69,22	73,04	1735,92	0,10
Janeiro/22	21,79	20,18	20,99	79,70	72,49	76,10	1542,00	0,21
Fevereiro/22	20,52	19,00	19,76	80,96	73,32	77,14	1655,91	0,12
Março/22	18,58	17,44	18,01	89,08	84,03	86,56	1170,34	0,22
Abril/22	15,72	14,60	15,16	87,70	82,63	85,17	1079,78	0,25

**Apêndice C.** Regressões multivariadas por PLS de maçãs ‘Galaxy’ produzidas sob telas antigranizo nas cores a) amarela; b) preta; c) pérola; d) azul; e) vermelha; f) mista e, h) em pleno sol, durante o armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. A linha cinza representa a relação linear ideal (relação linear predita) entre os atributos medidos.



**Apêndice D.** Valores médios dos atributos de coloração de fundo e de cobrimento (L\*, C\*, Hue e IC) da casca, firmeza da polpa (N), teor de sólidos solúveis (°Brix), acidez titulável (% ácido málico), índice de regressão do amido e cor da semente de maçãs ‘Fuji Suprema’ produzidas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosseletivas, no momento da colheita (0 dias) e após 57 e 108 dias de armazenamento a  $0 \pm 1$  °C 90  $\pm$  5% UR em atmosfera comum. IC: índice de cor; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido.

(continua)

Atributos	Amarela	Preta	Pérola	Azul	Vermelha	Mista	Pleno Sol
	0 dias						
L* fundo	67,62 a	64,64 ab	63,83 ab	63,01 b	63,81 ab	63,75 ab	66,47 ab
C* fundo	35,58 ns	35,49 ns	34,44 ns	35,06 ns	34,58 ns	34,24 ns	36,22 ns
Hue fundo	90,38 ns	84,36 ns	86,62 ns	82,54 ns	85,61 ns	83,97 ns	89,58 ns
IC fundo	0,42 ns	2,61 ns	2,08 ns	3,34 ns	2,30 ns	2,89 ns	1,18 ns
L* cobrimento	47,25 ab	45,23 ab	46,86 ab	43,96 b	45,65 ab	48,15 a	48,02 a
C* cobrimento	32,12 a	32,98 a	31,07 a	31,63 a	31,33 a	31,23 a	32,30 a
Hue cobrimento	48,15 ab	42,58 ab	47,22 ab	41,21 b	44,62 ab	8,95 ab	50,22 a
IC cobrimento	23,18 ab	28,32 ab	24,76 ab	28,97 a	24,20 ab	20,74 b	21,08 ab
Firmeza	64,96 ab	65,11 ab	65,67 ab	68,48 a	65,05 ab	64,50 b	66,11 ab
SS	15,03 bcd	15,70 a	14,57 d	15,43 ab	15,10 bc	14,77 cd	15,30 ab
AT	0,27 c	0,28 c	0,29 bc	0,28 c	0,27c	0,31 a	0,30 ab
IRA	5,00 ns	5,00 ns	5,00 ns	4,99 ns	5,00 ns	4,98 ns	5,00 ns
Cor da semente	3,80 ns	3,87 ns	3,82 ns	3,84 ns	3,95 ns	3,84 ns	3,95 ns
57 dias							
L* fundo	69,60 a	66,89 ab	67,79 ab	66,39 ab	67,66 ab	64,94 b	66,93 ab
C* fundo	39,23 ns	38,58 ns	38,72 ns	3,27 ns	37,89 ns	38,54 ns	38,73 ns
Hue fundo	93,27 a	86,79 a	94,70 a	88,04 a	93,52 a	84,99 a	89,83 a
IC fundo	-0,74 ab	1,60 ab	-0,85 b	1,29 ab	-60 ab	2,92 a	0,79 ab
L* cobrimento	50,87 a	46,79 b	48,85 ab	44,92 b	46,92 ab	46,26 b	48,15 ab
C* cobrimento	35,91 a	35,03 ab	32,97 b	33,29 b	33,60 ab	33,92 ab	34,19 ab
Hue cobrimento	56,46 a	46,79 b	55,07 ab	45,85 b	51,06 ab	46,68 b	51,83 ab
IC cobrimento	16,25 b	23,26 ab	17,85 ab	24,78 a	19,40 ab	25,43 a	20,04 ab
Firmeza	64,79 ns	64,58 ns	63,28 ns	66,73 ns	68,81 ns	64,28 ns	65,62 ns
SS	14,90 ab	15,47 a	14,10 d	14,60 bcd	14,20 cd	14,80 bc	14,70 bcd
AT	0,20 ab	0,21 a	0,18 b	0,20 ab	0,18 b	0,20 ab	0,20 ab
IRA	5,00 ns	5,00 ns	5,00 ns	5,00 ns	5,00 ns	5,00 ns	5,00 ns
Cor da semente	3,87 b	3,98 a	4,00 a	9,93 ab	4,00 a	4,00 a	4,00 a
108 dias							
L* fundo	68,08 ab	69,09 a	67,66 ab	67,86 ab	65,35 b	64,96 b	67,58 ab
C* fundo	39,8 ab	40,22 ab	39,79 ab	40,28 a	38,58 ab	38,06 b	39,98 ab
Hue fundo	93,31 ns	96,61 ns	96,32 ns	96,76 ns	90,97 ns	88,22 ns	92,87 ns
IC fundo	-0,61 ab	-1,08 ab	-1,45 ab	-1,52 b	0,04 ab	1,44 a	-0,52 ab
L* cobrimento	50,20 ns	50,64 ns	49,62 ns	49,88 ns	48,50 ns	49,14 ns	48,07
C* cobrimento	33,67 a	33,26 a	32,21 a	31,85 a	31,94 a	32,09 a	33,69 a
Hue cobrimento	54,65 ns	56,00 ns	57,90 ns	57,28 ns	54,64 ns	56,48 ns	52,50 ns
IC cobrimento	16,26 ns	16,45 ns	16,39 ns	15,40 ns	17,60 ns	16,41 ns	19,06 ns
Firmeza	67,78 ns	63,69 ns	61,89 ns	64,45 ns	62,56 ns	62,96 ns	63,92 ns

**Apêndice D.** Valores médios dos atributos de coloração de fundo e de cobrimento ( $L^*$ ,  $C^*$ , Hue e IC) da casca, firmeza da polpa (N), teor de sólidos solúveis ( $^{\circ}$ Brix), acidez titulável (% ácido málico), índice de regressão do amido e cor da semente de maçãs 'Fuji Suprema' produzidas sob diferentes cores de telas antigranizo fotosselativas, no momento da colheita (0 dias) e após 57 e 108 dias de armazenamento a  $0 \pm 1$  °C  $90 \pm 5\%$  UR em atmosfera comum. IC: índice de cor; SS: sólidos solúveis; AT: acidez titulável; IRA: índice de regressão do amido.

Atributos	(conclusão)						
	Amarela	Preta	Pérola	Azul	Vermelha	Mista	Pleno Sol
	<b>108 dias</b>						
SS	14,37 a	14,50 a	13,97 a	13,60 a	10,79 b	14,27 a	14,47 a
AT	0,15 ab	0,16 a	0,14 abc	0,14 abc	0,12 c	0,13 bc	0,15 ab
IRA	5,00 ns	5,00 ns	5,00 ns	5,00 ns	5,00 ns	5,00 ns	5,00 ns
Cor da semente	4,00 ns	3,93 ns	4,00 ns	3,95 ns	4,00 ns	3,98 ns	3,89 ns

\* Médias seguidas por letras diferentes, indicam diferença entre os tratamentos pelo teste de Tukey 5% ( $p < 0,05$ ). ns: não significativo pela ANOVA.