

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**Erani Eliseu Schultz**

**FITORREGULADORES EM PRÉ-COLHEITA E ARMAZENAMENTO  
DE MAÇÃ 'GALAXY' EM ATMOSFERA CONTROLADA COM E SEM  
APLICAÇÃO DE 1-METILCICLOPROPENO**

Santa Maria, RS  
2017

**Erani Eliseu Schultz**

**FITORREGULADORES EM PRÉ-COLHEITA E ARMAZENAMENTO DE MAÇÃ  
'GALAXY' EM ATMOSFERA CONTROLADA COM E SEM APLICAÇÃO DE  
1-METILCICLOPROPENO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Auri Brackmann

Santa Maria, RS  
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo (a) autor (a).

Schultz, Erani Eliseu

FITORREGULADORES EM PRÉ-COLHEITA E ARMAZENAMENTO DE  
MAÇÃ 'GALAXY' EM ATMOSFERA CONTROLADA COM E SEM APLICAÇÃO  
DE 1-METILCICLOPROPENO / Erani Eliseu Schultz.- 2017.  
88 p.; 30 cm

Orientador: Auri Brackmann

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia, RS, 2017

1. Aminoetoxivinilglicina 2. Etileno 3. Firmeza de  
polpa 4. Malus domestica 5. Queda de frutos I.  
Brackmann, Auri II. Título.


**Erani Eliseu Schultz**

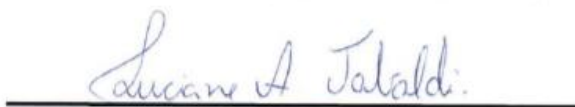
**FITORREGULADORES EM PRÉ-COLHEITA E ARMAZENAMENTO DE MAÇÃ  
'GALAXY' EM ATMOSFERA CONTROLADA COM E SEM APLICAÇÃO DE  
1-METILCICLOPROPENO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia.**

**Aprovado em 19 de julho de 2017:**

  
\_\_\_\_\_  
**Auri Brackmann, Prof. Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Adriano Arriél Saquet, Prof. Dr. (IFFAR)

  
\_\_\_\_\_  
Luciane Almeri Tabaldi, Prof. Dra. (UFSM)

Santa Maria, 19 de julho de 2017

## DEDICATÓRIA

*Dedico essa dissertação à minha família,  
em especial aos meus pais Claudio (in memoriam) e Renate Schultz pela educação, apoio e  
exemplo de vida, bem como, aos meus irmãos Enéias, Elis e Emerson pelo companheirismo  
durante esse período.*

DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por me guiar durante a Graduação e Pós-Graduação;

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realizar este estudo;

Ao professor Dr. Auri Brackmann, pela orientação e ensinamentos durante a minha Graduação e Pós-Graduação;

Aos colegas de Pós-Graduação Fabio Rodrigo Thewes e Rogerio de Oliveira Anese, pelas contribuições ao tema estudado;

A todos os colegas de iniciação científica do Núcleo de Pesquisa em Pós-colheita, pela ajuda na condução dos experimentos;

À Empresa Agropecuária Schio e seus funcionários, pela disponibilização da área experimental, equipamentos, produtos, colaboração na condução dos experimentos e fornecimento dos frutos, em especial ao Eng. Agr. Andre Werner;

Ao Professor Dr. Vanderlei Both, pelas valiosas contribuições ao trabalho.

A todos os familiares e amigos que, de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADO.**

## RESUMO

### FITORREGULADORES EM PRÉ-COLHEITA E ARMAZENAMENTO DE MAÇÃ ‘GALAXY’ EM ATMOSFERA CONTROLADA COM E SEM APLICAÇÃO DE 1-METILCICLOPROPENO

AUTOR: Erani Eliseu Schultz  
ORIENTADOR: Auri Brackmann

A redução das perdas pré- e pós-colheita de maçãs é necessária tanto para fins econômicos como para a diminuição quantitativa de alimento. Nesse sentido, buscou-se avaliar o efeito da aplicação pré-colheita de combinações de fitorreguladores sobre as perdas pré- e pós-colheita da maçã ‘Galaxy’. A dissertação é composta de dois capítulos (artigos). No primeiro, foi avaliado o efeito da aplicação isolada ou combinada de aminoetoxivinilglicina (AVG), ácido naftaleno acético (ANA) e ácido 2-cloroetil fosfônico (Ethephon - ETH) na queda pré-colheita e na qualidade de maçã ‘Galaxy’ após a colheita. Os tratamentos aplicados foram: [1] Controle (somente água); [2] ANA (20 g ha<sup>-1</sup>); [3] AVG (125 g ha<sup>-1</sup>); [4] ETH (0,16 L ha<sup>-1</sup>); [5] AVG+ANA; [6] AVG+ETH; [7] ANA+ETH; [8] ANA+ETH (0,48 L ha<sup>-1</sup>); [9] AVG+ANA (aplicados 15 dias antes da colheita – DAC) e [10] AVG+ANA+ETH. No segundo, frutos oriundos dos tratamentos: Controle; AVG; AVG+ANA [5]; AVG+ETH e AVG+ANA+ETH foram armazenados em atmosfera controlada (AC com 1,2 kPa O<sub>2</sub> + 2,0 kPa CO<sub>2</sub>) e em AC com aplicação de 1-metilciclopropeno (AC + 1-MCP). No primeiro artigo, a aplicação combinada de AVG+ANA (35 e 15 DAC, respectivamente) foi mais eficiente na redução da queda de frutos do que a aplicação isolada. A aplicação de AVG e AVG+ANA mantiveram maior qualidade dos frutos durante a vida de prateleira, pela redução da atividade da enzima ACC oxidase, da concentração interna de etileno (CIE), da produção de etileno, da taxa respiratória, do efluxo de eletrólitos e mantiveram maior firmeza de polpa. A aplicação de AVG isolada ou combinada com ANA não retardou o desenvolvimento da coloração vermelha de maçã ‘Galaxy’. A aplicação isolada ou combinada de ANA com Ethephon causou elevada produção de etileno, taxa respiratória e redução da firmeza de polpa dos frutos. No segundo artigo, no armazenamento em AC, frutos de plantas tratadas com AVG, AVG+ANA e AVG+ANA+Ethephon, apresentaram menor produção de etileno, incidência de polpa farinácea, maior firmeza de polpa e porcentagem de frutos sadios, comparado ao tratamento controle (sem fitorregulador) e àqueles tratados com AVG+Ethephon. No armazenamento em AC com aplicação de 1-MCP, frutos oriundos de plantas tratadas com AVG ou AVG+ANA, apresentam menor produção de etileno, taxa respiratória, efluxo de eletrólitos, incidência de polpa farinácea, podridões e apresentaram maior firmeza de polpa e percentual de frutos sadios, comparado ao tratamento controle (somente 1-MCP) ou AVG+Ethephon. Levando em consideração a queda de frutos e as análises físico-químicas na colheita e após oito meses de armazenamento mais sete dias de vida de prateleira a 20 °C, a aplicação combinada de AVG+ANA (35 e 15 DAC, respectivamente) foi o tratamento que mais reduziu perdas em pré- e pós-colheita da maçã ‘Galaxy’.

**Palavras-chave:** Aminoetoxivinilglicina. Etileno. Firmeza de polpa. *Malus domestica*. Queda de frutos.

## ABSTRACT

### PRE-HARVEST GROWTH REGULATORS AND STORAGE OF 'GALAXY' APPLE IN CONTROLLED ATMOSPHERE WITH AND WITHOUT APPLICATION OF 1-METHYLCYCLOPROPENE

AUTHOR: Erani Eliseu Schultz

ADVISOR: Auri Brackmann

Reduction of pre and postharvest losses in apples is necessary for the producers and storers to have a higher economic return. In this context, we aimed to evaluate the effect of pre-harvest spraying of different combinations of growth regulators on pre and postharvest losses. This dissertation is composed of two research works (articles). In the first one, the effect of the isolated or combined spraying of aminoethoxyvinylglycine (AVG), naphthalene acetic acid (NAA) and 2-chloroethyl phosphonic acid (Ethephon) on the pre-harvest fruit drop and the quality of 'Galaxy' apple after the harvest was evaluated. In the second, five treatments were selected which resulted in better quality of the fruits after harvesting and after stored in controlled atmosphere (CA) and CA plus 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment, to evaluate the effect of growth regulators on post storage fruit quality. In the first work, the spraying of AVG+NAA (sprayed 35 and 15 days before harvest - DBH, respectively) reduced fruit drop as compared to other treatments, in addition, it maintained higher fruit quality during the shelf life, by reducing the ACC oxidase enzyme activity, internal ethylene concentration (IEC), ethylene production, respiration rate, electrolyte leakage and maintained high flesh firmness. AVG applied alone or combined with other growth regulators did not delay the development of the red skin color. AVG spray alone reduced less the fruit drop as compared to AVG+NAA (sprayed 35 and 15 DBH, respectively), but maintained similar fruit quality. The isolated or combined spraying of NAA with Ethephon decreases fruit quality during shelf life, by high IEC, ethylene production, respiration rate and reduced fruit flesh firmness. In the second work, fruit stored in CA (1.2 kPa O<sub>2</sub> + 2.0 kPa CO<sub>2</sub>), sprayed in pre-harvest with AVG alone or combined with NAA or NAA+Ethephon, resulted in low ethylene production, mealiness incidence, higher flesh firmness and healthy fruit amount as compared to the control (without growth regulator) and AVG+Ethephon. When fruit were storage in CA with 1-MCP application, fruit from plants sprayed with AVG and AVG+NAA had reduced ethylene production, respiration rate, electrolyte leakage, mealiness incidence, decay and maintained higher flesh firmness and healthy fruit, compared to control (only 1-MCP application) and AVG+Ethephon. Combined AVG+NAA+Ethephon spraying in pre-harvest and postharvest 1-MCP application resulted in fruit with low decay incidence, high percentage of healthy fruit, but with lower flesh firmness and higher mealiness incidence as compared to AVG and AVG+NAA. Taking into account the fruit drop and the physical-chemical analyzes at harvest and post-storage, the spraying of AVG+NAA (sprayed 35 and 15 DBH, respectively) was the treatment which more reduced losses in pre and postharvest in 'Galaxy' apple.

**Keywords:** Aminoethoxyvinylglycine. Ethylene. Flesh firmness. *Malus domestica*. Fruit drop.



## LISTA DE FIGURAS

- ARTIGO 1.....30
- Figura 1. Queda de frutos em % (a) e em t ha<sup>-1</sup> (b), índice de cor vermelha da epiderme (c), croma (d), luminosidade (e) e ângulo hue (f) em maçã ‘Galaxy’ tratada com fitorreguladores. Barras com a mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo. \*Dose de Ethephon 0,48 L ha<sup>-1</sup>, nos outros tratamentos foi utilizado 0,16 L ha<sup>-1</sup>. \*\* AVG e ANA foram aplicados 15 dias antes da colheita, nos outros tratamentos a AVG foi aplicada 35 dias antes da colheita.....39
- Figura 2. Atividade da enzima ACC oxidase (a), concentração interna de etileno sete dias de vida de prateleira a 20 °C (b), produção de etileno um dia (c) e sete dias de vida de prateleira a 20 °C (d), taxa respiratória um dia (e) e sete dias de vida de prateleira a 20 °C (f) em maçã ‘Galaxy’ tratada com fitorreguladores. Barras com a mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. \*Dose do Ethephon 0,48 L ha<sup>-1</sup>, nos outros tratamentos foram utilizados 0,16 L ha<sup>-1</sup>. \*\* AVG e ANA foram aplicados 15 dias antes da colheita, nos outros tratamentos a AVG foi aplicada 35 dias antes da colheita..... 43
- Figura 3. Efluxo de eletrólitos (a), firmeza de polpa (b), acidez titulável (c), sólidos solúveis (d) e suculência, após sete dias de vida de prateleira a 20 °C (e) em maçã ‘Galaxy’ tratada com fitorreguladores. Barras com a mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% probabilidade de erro. ns: não significativo. \*Dose de Ethephon 0,48 L ha<sup>-1</sup>, nos outros tratamentos foram utilizados 0,16 L ha<sup>-1</sup>. \*\* AVG e ANA foram aplicados 15 dias antes da colheita, nos outros tratamentos AVG foi aplicada 35 dias antes da colheita.....45
- ARTIGO 2.....51
- Figura 1. Atividade da enzima ACC oxidase (a) e concentração interna de etileno após sete dias de vida de prateleira a 20 °C, (b) produção de etileno na saída da câmara (c) e após sete dias de vida de prateleira a 20 °C (d), taxa respiratória na saída da câmara (e) e após sete dias de vida de prateleira a 20 °C (f) de maçã ‘Galaxy’ tratada com fitorreguladores em pré-colheita e armazenada em AC durante oito meses. Controle: apenas aplicação de água 15 dias antes da colheita. AVG: aplicada 35 dias antes da colheita. ANA: aplicação de auxina e Ethephon 15 dias antes da colheita. Barras com a mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. ....61
- Figura 2. Efluxo de eletrólitos (a) degenerescência de polpa (b), polpa farinácea (c), podridão (d) frutos sadios (e), firmeza de polpa (f), acidez titulável (g), sólidos solúveis (h) e suculência (i) após sete dias de vida de prateleira a 20 °C em maçã ‘Galaxy’ tratada com fitorreguladores em pré-colheita e armazenada em AC durante oito meses. Controle: apenas aplicação de água 15 dias antes da colheita. AVG: aplicada 35 dias antes da colheita. ANA: aplicação de auxina e Ethephon (ETH) 15 dias antes da

colheita. Barras com a mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. .... 64

Figura 3. Atividade da enzima ACC oxidase (a) e concentração interna de etileno após sete dias de vida de prateleira a 20 °C, (b) produção de etileno na saída da câmara (c) e após sete dias de vida de prateleira a 20 °C (d), taxa respiratória na saída da câmara (e) e após sete dias de vida de prateleira a 20 °C (f) em maçã ‘Galaxy’ tratada com fitoreguladores em pré-colheita e armazenada em AC+1-MCP durante oito meses. Controle: apenas aplicação de água 15 dias antes da colheita. AVG: aplicada 35 dias antes da colheita. ANA: aplicação de auxina e Ethephon 15 dias antes da colheita. Barras com a mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. .... 67

Figura 4. Efluxo de eletrólitos (a) degenerescência de polpa (b), polpa farinácea (c), podridão (d) frutos sadios (e), firmeza de polpa (f), acidez titulável (g), sólidos solúveis (h) e suculência (i) após sete dias de vida de prateleira a 20 °C em maçã ‘Galaxy’ tratada com fitoreguladores em pré-colheita e armazenada em AC+1-MCP durante oito meses. Controle: apenas aplicação de água 15 dias antes da colheita. AVG: aplicada 35 dias antes da colheita. ANA: aplicação de auxina e Ethephon 15 dias antes da colheita. Barras com a mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. .... 69

## LISTA DE ABREVIATURAS

1-MCP	1-Metilciclopropeno
AC	Atmosfera controlada
ACC	Ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico
ACC oxidase	Ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico oxidase
ACC sintase	Ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico sintase
Ag <sup>+</sup>	Íon de prata
ANA	Ácido naftaleno acético
ANOVA	Análise de variância
AOA	Ácido aminoxiácético
AR	Armazenamento refrigerado
CA	Controlled atmosphere
CHI	Enzima chalcona isomerase
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Fórmula molecular do etileno
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
Co <sup>2+</sup>	Íon cobalto
CTR1	Proteína de resposta tríplice constitutiva 1
DAC	Dias antes da colheita
EIN2	Proteína transmembrana ETHYLENE-INSENSITIVE2
EIN3	Proteína de transcrição ETHYLENE-INSENSITIVE3
ERF1	Proteína promotora de genes ETHYLENE RESPONSE FACTOR1
Ethephon	Ácido 2-cloroetil fosfônico
ETH	Ethephon
ETR1/ETR1b/ETR101/ ERS1/ERS2/ETR2/ ETR102, ETR5, ETR105	Receptores de etileno em maçã
EXP	Enzima expansina
FID	Flame ionization detector
GC	Cromatógrafo a gás
i.a	Ingrediente ativo
IEC	Internal ethylene concentration
MACC	N-Malonil ácido 1-ciclopropano carboxílico
GACC	γ-L-Glutamilamino ácido 1-ciclopropano carboxílico
<i>MdACO1</i>	Gene para ACC oxidase em maçã
<i>MdACS1/MdACS3a</i>	Genes para ACC sintase em maçã
<i>MdACS5A/MdACS5B</i>	
<i>MdACS6/MdACS9</i>	
<i>MdERS1/MdERS2/ MdETR2</i>	Genes para receptores de etileno em maçã
<i>MdPG1/MdPG2</i>	Gene para enzima poligalacturonase
<i>MdEG1</i>	Gene para enzima celulase
N	Newton ou Normal
NAA	Naphthalene acetic acid
N <sub>2</sub>	Nitrogênio
NaOH	Hidróxido de sódio
O <sub>2</sub>	Oxigênio
PAL	Enzima Fenilalanina amônia-liase
PG	Enzima poligalacturonase

pH	Potencial hidrogenionico
PME	Enzima Pectina metil esterase
R\$	Reais
<i>SlERF1</i>	Gene de fator resposta ao etileno em tomate
XET	Enzima Xiloglucano endotransglucosilase
°Brix	Graus brix
°C	Temperatura em graus Celsius
%	Porcentagem

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA</b> .....	16
1.1	HIPÓTESES .....	18
1.2	OBJETIVOS .....	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	19
2.1	BIOSSÍNTESE E AÇÃO DO ETILENO.....	19
2.2	FITORREGULADORES .....	21
<b>2.2.1</b>	<b>Aminoetoxivinilglicina</b> .....	22
<b>2.2.2</b>	<b>Ácido-naftaleno-acético</b> .....	23
<b>2.2.3</b>	<b>Ácido 2-cloro-etil-fosfônico</b> .....	24
<b>2.2.4</b>	<b>1-Metilciclopropeno</b> .....	25
<b>2.2.5</b>	<b>Aplicação combinada de fitorreguladores</b> .....	26
<b>2.2.6</b>	<b>Armazenamento em atmosfera controlada</b> .....	27
<b>3</b>	<b>ARTIGO 1</b> .....	30
3.1	APLICAÇÃO DE AMINOETOXIVINILGLICINA COMBINADA COM ÁCIDO NAFTELENO ACÉTICO REDUZ A QUEDA PRÉ-COLHEITA DE FRUTOS E MANTÉM A QUALIDADE DE MAÇÃ ‘GALAXY’ DURANTE A VIDA DE PRATELEIRA .....	30
<b>3.1.1</b>	<b>Introdução</b> .....	32
<b>3.1.2</b>	<b>Material e métodos</b> .....	33
3.1.2.1	<i>Material experimental e preparo das amostras</i> .....	33
3.1.2.2	<i>Queda de frutos, metabolismo e análises de qualidade</i> .....	34
3.1.2.2.1	Queda de frutos.....	35
3.1.2.2.2	Índice de cor vermelha da epiderme.....	35
3.1.2.2.3	Cor da epiderme.....	35
3.1.2.2.4	Produção de etileno .....	35
3.1.2.2.5	Concentração interna de etileno .....	36
3.1.2.2.6	Taxa respiratória.....	36
3.1.2.2.6	Atividade da enzima ACC oxidase.....	36
3.1.2.2.7	Efluxo de eletrólitos.....	36
3.1.2.2.8	Firmeza de polpa .....	36
3.1.2.2.9	Suculência.....	37
3.1.2.2.10	Sólidos solúveis .....	37
3.1.2.2.11	Acidez titulável.....	37

3.1.2.3	<i>Análise estatística</i> .....	37
<b>3.1.3</b>	<b>Resultados e discussão</b> .....	37
3.1.3.1	<i>Queda de frutos</i> .....	38
3.1.3.2	<i>Coloração da epiderme</i> .....	40
3.1.3.3	<i>Atividade da enzima ACC oxidase e concentração interna de etileno</i> .....	41
3.1.3.4	<i>Produção de etileno e taxa respiratória</i> .....	41
3.1.3.5	<i>Efluxo de eletrólitos</i> .....	44
3.1.3.6	<i>Firmeza de polpa</i> .....	44
3.1.3.7	<i>Acidez titulável, sólidos solúveis e suculência</i> .....	46
<b>3.1.4</b>	<b>Conclusões</b> .....	47
<b>4</b>	<b>ARTIGO 2</b> .....	51
4.1	AMINOETOXIVINILGLICINA ISOLADA OU COMBINADA COM OUTROS FITORREGULADORES EM PRÉ-COLHEITA E ARMAZENAMENTO EM ATMOSFERA CONTROLADA COM OU SEM APLICAÇÃO DE 1-MCP NA QUALIDADE DE MAÇÃ ‘GALAXY’.....	51
<b>4.1.1</b>	<b>Introdução</b> .....	52
<b>4.1.2.</b>	<b>Material e métodos</b> .....	55
4.1.2.1	<i>Material experimental e preparo das amostras</i> .....	55
4.1.2.3	<i>Temperatura e umidade relativa</i> .....	57
4.1.2.4	<i>Aplicação de 1-MCP</i> .....	57
4.1.2.5	<i>Metabolismo e análises de qualidade</i> .....	57
4.1.2.5.1	<i>Atividade da enzima ACC oxidase</i> .....	57
4.1.2.5.2	<i>Produção de etileno</i> .....	57
4.1.2.5.3	<i>Taxa respiratória</i> .....	58
4.1.2.5.4	<i>Concentração interna de etileno</i> .....	58
4.1.2.5.5	<i>Efluxo de eletrólitos</i> .....	58
4.1.2.5.6	<i>Polpa farinácea</i> .....	58
4.1.2.5.7	<i>Degenerescência de polpa</i> .....	59
4.1.2.5.8	<i>Podridão e podridão carpelar</i> .....	59
4.1.2.5.9	<i>Frutos sadios</i> .....	59
4.1.2.5.10	<i>Firmeza de polpa</i> .....	59
4.1.2.5.11	<i>Sólidos solúveis</i> .....	59
4.1.2.5.12	<i>Acidez titulável</i> .....	60
4.1.2.5.13	<i>Suculência</i> .....	60
4.1.2.6	<i>Análise estatística</i> .....	60
<b>4.1.3</b>	<b>Resultados e discussão</b> .....	60

4.1.3.1	<i>Experimento 1 - Armazenamento em atmosfera controlada</i> .....	60
4.1.3.1.1	ACC oxidase, concentração interna de etileno, produção de etileno e taxa respiratória .....	60
4.1.3.1.2	Efluxo de eletrólitos, degenerescência de polpa e polpa farinácea .....	63
4.1.3.1.3	Podridão e frutos sadios.....	63
4.1.3.1.4	Firmeza de polpa, acidez titulável, sólidos solúveis e suculência.....	65
4.1.3.2	<i>Experimento 2 – Armazenamento em atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP</i> .....	66
<b>4.1.4</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>70</b>
<b>4.1.5</b>	<b>Referências bibliográficas</b> .....	<b>71</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO GERAL</b> .....	<b>76</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>79</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>80</b>

## 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A maçã (*Malus x domestica* Borkh.) é uma das frutas mais produzidas em todo mundo, ocupando a terceira colocação no ano de 2014, com cerca de 84,6 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2014). No Brasil ela foi a oitava mais produzida, com cerca de 1,163 milhões de toneladas na safra 2014/2015, sendo que um percentual de 55% corresponde à cultivar ‘Gala’ e suas mutantes e 40% à cultivar Fuji e mutantes (KIST et al., 2015). Dentre as mutantes da ‘Gala’, a maçã ‘Galaxy’ é uma das mais cultivadas no Brasil, principalmente pelo alto recobrimento vermelho da epiderme, firmeza de polpa, suculência e bom equilíbrio entre ácidos e açúcares.

A maior parte da produção brasileira de maçãs depende de poucas cultivares, o que acaba concentrando a época de colheita e um curto espaço de tempo, o que favorece o aumento das perdas de frutos e de sua qualidade. Essas perdas iniciam na fase pré-colheita e continuam na pós-colheita. Uma das principais perdas de maçãs em pré-colheita é a queda de frutos, principalmente em mutantes da cultivar ‘Gala’ (PETRI et al., 2007). Isso se deve ao fato da maturação das sementes ocorrer antes da conclusão do crescimento do fruto. E assim, deixando de produzir auxinas necessárias para inibir a síntese do etileno, fito-hormônio que atua na zona de abscisão, desencadeando a queda pré-colheita dos frutos (ROBERTS; ELLIOTT; GONZALEZ-CARRANZA, 2002). Além disso, o produtor, às vezes, retarda a colheita para que os frutos atinjam maior coloração vermelha da epiderme, o que agrega maior valor no momento da comercialização, mas isso favorece o aumento na abscisão de frutos.

As perdas de frutos em pré-colheita podem chegar a 30%, dependendo da cultivar e das condições climáticas durante o crescimento (ARSENEAULT; CLINE, 2016), sendo que essa perda aumenta com o atraso da colheita (BYERS, 1997; SCHUPP, GREENE, 2004). Para diminuir a queda pré-colheita de frutos, os produtores muitas vezes lançam mão de fitorreguladores, mas dependendo do produto utilizado, pode haver um estímulo muito forte da maturação, reduzindo o período de armazenamento e aumentando a perda de qualidade (BRACKMANN et al., 2014, 2015a).

Como a maturação da maçã ‘Gala’ e mutantes é muito rápida, há dificuldade dos produtores em realizar a colheita no momento em que os frutos apresentam maior qualidade, em função da falta de mão de obra para realizar a colheita, que é realizada toda de forma manual no Brasil. Por isso, é necessário a adoção de técnicas que visem retardar ou adiantar a maturação das maçãs, para que o produtor consiga escalonar a colheita e, assim, diminuir as perdas



ocasionadas pela queda pré-colheita e retardar a maturação dos frutos, que influenciará no tempo de armazenamento e na qualidade pós-armazenamento.

A forma de minimizar a queda pré-colheita de frutos mais utilizada atualmente é pela aplicação de fitorreguladores (AGLAR et al., 2016; ARSENEAULT; CLINE, 2016; PETRI et al., 2010). Um dos fitorreguladores mais usados em cultivos comerciais é a AVG, que atua na inibição da biossíntese do etileno, hormônio que promove a maturação e abscisão dos frutos (YUAN; CARBAUGH, 2007). Com isso, ocorre o retardamento na maturação, menor queda de frutos, redução da perda de firmeza da polpa e da degradação de amido (SCOLARO et al., 2015). No entanto, a AVG reduz o desenvolvimento da coloração vermelha na epiderme de maçãs ‘Gala’ (SCOLARO et al., 2015), sendo este um atributo importante na qualidade visual no momento da comercialização dos frutos. Porém, esse efeito pode ser compensado pela aplicação do ethephon. Este produto é utilizado com o objetivo de adiantar a maturação dos frutos e, conseqüentemente, a colheita. Outro fitorregulador, utilizado para retardar a queda pré-colheita de maçãs é o ANA, uma auxina sintética, que retarda a abscisão de frutos (LI; YUAN, 2008), porém favorece o aumento da produção de etileno, acelerando o amolecimento dos frutos.

Uma alternativa para atenuar os efeitos negativos dos produtos, e ainda diminuir as perdas em pré e pós-colheita, pode ser a aplicação combinada desses compostos. Estudos mostraram que a aplicação combinada da AVG e do ANA, proporcionou redução na produção de etileno e na queda de frutos, comparada com a aplicação isolada dos mesmos (YUAN; CARBAUGH, 2007; YUAN; LI, 2008). Já, quando a AVG foi combinada com o ethephon, verificou-se que o efeito retardador no desenvolvimento da coloração vermelha da epiderme da AVG foi inibido, sendo que a intensidade da coloração vermelha foi semelhante ao tratamento controle (sem aplicação), em maçãs ‘Jonagold’ e ‘Gala’, respectivamente (STEFFENS et al, 2006; WANG; DILLEY, 2001). Em função disso, torna-se necessário avaliar o efeito da aplicação de diferentes combinações de AVG, ANA e ethephon, para diminuir a queda pré-colheita, favorecer o desenvolvimento da coloração vermelha e a manutenção da qualidade pós-colheita de maçã ‘Galaxy’, visto que, não foram encontrados estudos na literatura sobre o efeito da combinação desses fitorreguladores com essa cultivar de maçã.

Além disso, é importante conhecer os efeitos dos fitorreguladores na conservação e qualidade dos frutos em pós-colheita, para que possam auxiliar o produtor na escolha do fitorregulador ou combinação dos mesmos a ser aplicada no pomar, com a finalidade de diminuir as perdas no pomar e manter boa qualidade após o armazenamento prolongado.

A forma de armazenamento de maçãs mais utilizada atualmente no Brasil é a atmosfera controlada convencional onde a pressão parcial de O<sub>2</sub> é reduzida e a de CO<sub>2</sub> é aumentada, o que reduz o metabolismo dos frutos, podendo-se armazenar maçãs por até oito ou nove meses (BRACKMANN et al., 2012; WEBER et al., 2013). Porém, durante o período de armazenamento ocorrem perdas, principalmente por podridões, degenerescência da polpa e surgimento de polpa farinácea, que podem ser influenciados pelo fitorregulador aplicado em pré-colheita (BRACKMANN et al., 2014; 2015a). As podridões são as principais causas de perdas durante o armazenamento, podendo chegar a 35% dos frutos armazenados (CORRENT et al., 2009). Segundo Duarte (2010), pequenas perdas durante a fase de pós-colheita da maçã já representam grandes perdas econômicas, em função do alto custo de instalação do pomar, produção, colheita e seleção de frutos. Uma forma de reduzir perdas durante o armazenamento em AC, é a aplicação do 1-MCP, o qual bloqueia a ação do etileno por ocupar o sítio ativo do mesmo (SISLER; SEREK, 1997) e, assim, retardar o amadurecimento e reduzir a incidência de distúrbios fisiológicos em maçãs, como escaldadura (GAGO et al., 2015) e degenerescência de polpa (WATKINS, 2008).

Estudo realizado com maçã 'Brookfield' mostrou que a aplicação da AVG em pré-colheita e 1-MCP em pós-colheita resultou em alta porcentagem de frutos sadios (> 95%) (BRACKMANN et al., 2015). Apesar do uso de fitorreguladores, tanto em pré- como em pós-colheita diminuírem perdas, elas ainda são consideráveis na produção de maçãs e precisam ser reduzidas e, assim, possibilitar maior retorno econômico ao setor produtivo e oferta de maçãs de maior qualidade. A aplicação combinada de AVG, ANA e ethephon pode auxiliar na diminuição dessas perdas, tanto em pré- como em pós-colheita, visto que, alguns estudos com outras cultivares, verificaram melhorias com o uso dessa técnica (YUAN; CARBAUGH, 2007; YUAN; LI, 2008).

## 1.1 HIPÓTESES

- a) a combinação de AVG e ANA proporciona maior redução da queda pré-colheita de maçãs 'Galaxy' do que a aplicação isolada de cada um dos compostos;
- b) o ethephon aplicado após a AVG, reduz o efeito deste no desenvolvimento da coloração vermelha em maçã 'Galaxy';
- c) a AVG quando associada ao ANA reduz o efeito deste no aumento da produção de etileno e maturação, mantendo elevada qualidade após o armazenamento prolongado;

- c) a aplicação combinada de ANA com ethephon reduz a queda pré-colheita;
- d) há um efeito sinérgico da AVG com o 1-MCP sobre a manutenção da qualidade das maçãs armazenadas em atmosfera controlada.

## 1.2 OBJETIVOS

- a) avaliar o efeito da aplicação isolada ou combinada dos da AVG, ANA e ethephon na queda pré-colheita de frutos, no desenvolvimento da coloração vermelha e da qualidade físico-química na colheita de maçã ‘Galaxy’;
- b) avaliar o efeito da aplicação de combinações de AVG, ANA e ethephon sobre a qualidade de maçã ‘Galaxy’ após oito meses de armazenamento em AC com ou sem a aplicação de 1-MCP.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 BIOSÍNTESE E AÇÃO DO ETILENO

O etileno é um fito-hormônio que regula o processo de maturação e amadurecimento em frutos e atua também na regulação do processo de abscisão de frutos. Além disso, o etileno participa de vários outros processos nos vegetais, como: germinação, expansão celular, florescimento, diferenciação celular, formação de pelos radiculares, senescência (YANG; HOFFMANN, 1984; TAIZ; ZAIGER, 2013). A síntese de etileno é promovida por vários fatores: ferimentos, auxina, etileno, falta ou excesso de água, amadurecimento de frutos, danos por resfriamento, senescência de flores, infecções fúngicas, estresse térmico (TAIZ; ZEIGER, 2013). Já a sua inibição ocorre em ambientes com baixas concentrações de oxigênio e altas de dióxido de carbono, por íons cobalto ( $\text{Co}^{2+}$ ), AVG e AOA (YANG; HOFFMANN, 1984). A ação do etileno pode ser inibida pela aplicação de 1-MCP (BLANKENSHIP; DOLE, 2003; SISLER; SEREK, 1997), produtos como íons prata ( $\text{Ag}^+$ ) e altas concentrações de  $\text{CO}_2$  (MATHOOKO, 1996).

A síntese do etileno inicia a partir do aminoácido metionina do ciclo de Yang (YANG; HOFFMANN, 1984). A metionina é convertida em SAM pela enzima S-adenosil metionina sintase. Em seguida, a enzima ácido ACC sintase catalisa a reação da SAM a ACC, composto intermediário necessário para que ocorra a produção de etileno (ADAMS; YANG, 1979). Por fim, o ACC é oxidado a etileno, pela enzima ACC oxidase. (KENDE, 1993; TAIZ; ZAIGER,

2013; YANG; HOFFMANN, 1984). Além disso, parte do ACC pode ser convertido a compostos conjugados, como *N*-malonil ACC (YANG; HOFFMANN, 1984) e o  $\gamma$ -L-glutamilamino ácido 1-ciclopropano carboxílico. A formação desses compostos pode ser importante no controle da biossíntese do etileno e regulação dos níveis de ACC.

A ACC sintase e ACC oxidase são as enzimas chave na produção de etileno. Essas enzimas são codificadas por uma ampla família de genes e sua expressão é regulada diferencialmente por vários fatores de desenvolvimento, ambientais e sinais hormonais (DAL CIN et al., 2005; LI et al., 2013; LI; YUAN, 2008; LI; ZHU; YUAN, 2010; WANG; LI; ECKER, 2002). Já foram identificados 19 genes em maçã, sendo que seis destes foram expressados no fruto (*MdACS1*, *MdACS3a*) (LI et al., 2013; VARANASI et al., 2011; WAKASA et al., 2006; WANG et al., 2009), *MdACS6* a *MdACS9* (LI et al., 2013).

A biossíntese de etileno em frutos é dividida em dois sistemas (1 e 2) (McMURCHIE et al., 1972). No sistema 1 ocorre uma baixa produção de etileno, sendo que a aplicação exógena de etileno tem efeito inibitório na sua síntese (OETIKER; YANG, 1995). No sistema 2 ocorre um aumento na produção de etileno durante o amadurecimento de frutos climatéricos, nesse caso o etileno tem efeito autoestimulatório (OETIKER; YANG, 1995). Frutos que não apresentam aumento na respiração e produção de etileno são chamados de frutos não-climatéricos (McMURCHIE et al., 1972). Já, os frutos que exibem um aumento na respiração precedido por um aumento na produção de etileno, antes da fase de amadurecimento, são chamadas de climatéricos (OETIKER; YANG, 1995). A alta produção de etileno (sistema 2), faz com que frutos amadureçam após serem destacados da planta. A partir dessa descoberta, várias aplicações práticas puderam ser desenvolvidas e adotadas, com o objetivo de uniformizar, acelerar e retardar o amadurecimento de frutos, visando a colheita de frutos com maior qualidade, além da possibilidade de escalonar a colheita, adaptando-se com a mão de obra disponível.

Após sua síntese, o etileno passa por algumas etapas para que ocorra sua ação na planta. A primeira etapa é a ligação do etileno a um receptor localizado na membrana do retículo endoplasmático por meio de um cofator de cobre (RODRIGUEZ et al., 1999). Essa ligação faz com que o receptor seja inativado, permitindo que a rota de sinalização prossiga (RODRIGUEZ et al., 1999). No genoma da maçã foram identificados nove receptores de etileno (ETR1, ETR1b, ETR101, ERS1, ERS2, ETR2, ETR102, ETR5, ETR105) (IRELAND et al., 2012). A inativação do receptor resulta na inativação da proteína de CONSTITUTIVE TRIPLICE REPNONSE 1 (CTR1), uma proteína quinase de serina ou treonina, que atua como um regulador negativo na via de transdução de sinal do etileno (KIEBER et al., 1993; TAI; ZEIGER, 2013;

WANG; LI; ECKER, 2002). A inativação da CTR1 permite a ativação da proteína transmembrana ETHYLENE-INSENSITIVE2 (EIN2), que auxilia na transdução do sinal do etileno até as proteínas de transcrição da família ETHYLENE-INSENSITIVE3 (EIN3) (CHAO et al., 1997), localizadas no núcleo. No núcleo, a proteína EIN3 se liga à família de proteínas promotoras de genes ETHYLENE RESPONSE FACTOR 1 (ERF1) (SOLANO et al., 1998), ativando a transcrição de genes que codificam várias enzimas responsáveis por desencadear alterações físicas e bioquímicas nos tecidos vegetais.

A parede celular é um componente importante no crescimento, metabolismo, transporte, forma, resistência e proteção da célula (PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007). Ela é composta principalmente por polissacarídeos de celulose, hemicelulose e pectinas (BRUMMELL, 2006; PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007). Durante a maturação, abscisão, amadurecimento e senescência dos frutos, várias enzimas dependentes do etileno, atuam na degradação desses componentes, como: a poligalacturonase (PG), celulases, pectina metil esterase (PME), expansina (EXP), xiloglucano endotransglucosilase (XET), entre outras enzimas (BRUMMELL, 2006; ROBERTS; ELLIOTT; GONZALEZ-CARRANZA, 2002; GOULAO et al., 2007; PAYASI et al., 2009; PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007; WANG et al., 2009; WARD et al., 1999).

Durante o processo de abscisão de frutos, o etileno atua de forma indireta, aumentando a expressão de genes e a atividade de enzimas relacionadas à degradação da parede celular na zona de abscisão, principalmente celulase e poligalacturonase. Essas enzimas atuam na dissolução das pectinas da lamela média entre as células na zona de abscisão, formando uma linha de separação celular e, posteriormente, desencadeando a abscisão de órgãos da planta (ROBERTS; ELLIOTT; GONZALEZ-CARRANZA et al., 2002; WARD et al., 1999).

## 2.2 FITORREGULADORES

A utilização de fitorreguladores na produção comercial de maçãs é uma prática comum na maioria dos países produtores (AGLAR et al., 2016; AMARANTE et al., 2002, ARAKAWA et al., 2004; SCHUPP; GREENE, 2004; YUAN; LI, 2008, YILDIZ; OZTURK; OZKAN, 2012;). Tem como finalidade reduzir a queda pré-colheita ou retardar a maturação, principalmente em cultivares sensíveis à queda pré-colheita, como, por exemplo a maçã ‘Red Delicious’ (SCHUPP; GREENE, 2004), ‘Golden Delicious’ (YUAN; CARBAUGH, 2007) e as mutantes da ‘Gala’ (PETRI et al., 2007). Com o retardo na maturação dos frutos o produtor

tem a possibilidade de escalonar melhor a colheita e, assim, reduzir as perdas que ocorrem em pré-colheita, aumentando sua produtividade e rentabilidade financeira.

Alguns fitorreguladores mais usados em pré-colheita são a AVG, o ANA e o ethephon. A AVG inibe a produção de etileno nos frutos ainda na planta, retardando a maturação. O ANA aumenta os níveis de auxina na planta, retardando a queda dos frutos e o ethephon, produto que libera etileno, promovendo sua síntese, sendo utilizado para antecipar a maturação dos frutos. Em pós-colheita, é muito utilizado o 1-MCP, produto que bloqueia a ação do etileno, retardando o amadurecimento durante o armazenamento (BRACKMANN et al., 2013; WATKINS; NOCK, 2012).

### 2.2.1 Aminoetoxivinilglicina

A AVG foi descoberta em 1970, ocorre na sua forma natural como um L-aminoácido não-proteico, encontrado como um metabólito secundário em um microrganismo do solo (*Streptomyces* spp.) (VENBURG, et al., 2008). O primeiro produto comercial registrado com a molécula de AVG ocorreu em 1997 e atualmente é o principal fitorregulador utilizado para retardar a maturação e a queda de frutos (ARSENEAULT; CLINE, 2016).

A AVG inibe a produção de etileno, pela supressão da expressão de genes da enzima ACC sintase (*MdACS5A* e *MdACS5B*) e da ACC oxidase (*MdACO1*) (LI; YUAN, 2008), reduzindo a formação de ACC a partir da S-adenosil-L-metionina. Além disso, reduz indiretamente a expressão de genes de enzimas que degradam a parede celular, na camada de abscisão, como a poligalacturonase (*MdPG2*) e celulase (*MdEG1*) (LI; YUAN, 2008; YUAN; LI, 2008). Também retarda o amolecimento do fruto por suprimir a expressão dos genes (*MdACS1*, *MdACO1*, *MdERS1* e *MdPG1*) no córtex do fruto (DAL CIN et al., 2008; LI; YUAN, 2008).

A aplicação da AVG em macieiras, ocorre geralmente quatro semanas antes do período pré-estabelecido para a colheita, obedecendo o período de carência do produto (VENBURG et al., 2008). A aplicação da AVG tem apresentado redução na queda pré-colheita em maçãs ‘Gala’ (AMARANTE et al., 2002), ‘McIntosh’ (SCHUPP; GRENEE, 2004), ‘Imperial Gala’ (PETRI; LEITE; ARGENTA, 2007; PETRI; HAWERROTH; LEITE, 2010), ‘Delicious’ (YUAN; LI, 2008), ‘Golden Delicious’ (DAL CIN et al., 2008), ‘Red Chief’ (YILDIZ; OZTURK; OZKAN, 2012) e ‘Jersey Mac apples’ (AGLAR et al., 2016). Além disso, retarda a maturação dos frutos, mantém maior firmeza da polpa e diminui a produção de etileno (PETRI; HAWERROTH; LEITE, 2010; SCHUPP; GRENEE, 2004; SCOLARO et al., 2015; YUAN;

LI, 2008; YILDIZ; OZTURK; OZKAN, 2012;). Porém, uma desvantagem do produto é o atraso no desenvolvimento da coloração vermelha da epiderme em maçã ‘Gala’ (AMARANTE; STEFFENS; BLUM, 2010; SCOLARO et al., 2015; STEFFENS et al., 2006).

Alguns estudos verificaram que a aplicação com doses de AVG (90 a 125 g ha<sup>-1</sup>) mais próximas à colheita aumentaram o controle da queda de frutos, firmeza da polpa e o tempo de maturação (AMARANTE, et al., 2002; PETRI et al., 2007; 2010; SCHUPP; GREENE, 2004; GREENE, 2005). Além dos benefícios em pré-colheita, a aplicação de AVG pode auxiliar na manutenção da qualidade e vida pós-colheita de maçãs armazenadas (BRACKMANN et al., 2015). Maçãs ‘Brookfield’ armazenadas em AC e tratadas com AVG em pré-colheita mantiveram maior firmeza da polpa, porcentagem de frutos sadios, menor incidência de polpa farinácea e produção de etileno comparado a frutos sem aplicação de AVG (BRACKMANN et al., 2015). Porém, com a redução da síntese de etileno pela AVG, pode ocorrer menor produção de compostos voláteis, importantes para o sabor e aroma da maçã, pois a produção contínua de etileno é necessária na síntese de ésteres (DEFILIPPI et al., 2005; FAN et al., 1998). Estudos constataram que a AVG reduziu a concentração de álcoois e ésteres em maçã ‘Golden Delicious’ (SALAS et al., 2011) e ésteres em ‘Super Red Delicious’ (FAN et al., 1998). A AVG também reduziu as perdas pós-armazenamento em pêra (WANG; XIE; SONG, 2016).

O uso da AVG tem apresentado melhores resultados no controle da queda pré-colheita de frutos comparado ao ANA (DAL CIN et al., 2008; UNRATH et al., 2009; YUAN; CARBAUGH, 2007). Conforme estudo realizado com maçã ‘Scarletspur Delicious’ durante dez anos, a AVG apresentou maior redução na queda pré-colheita do que o ANA (UNRATH et al., 2009). Resultado semelhante foi verificado com maçãs ‘Golden Delicious’ (DAL CIN et al., 2008; YUAN; CARBAUGH, 2007).

Além dos benefícios que a aplicação da AVG tem apresentado para a cultura da macieira, a AVG também mostrou resultados positivos em outras culturas frutíferas. A aplicação do produto em nectarina ‘Stark Red Gold’ reduziu a queda de frutos, a produção de etileno, perda de firmeza de polpa e manteve maior acidez titulável (TORRIGIANI et al., 2004). Em ameixa ‘Laetitia’ a AVG retardou a maturação dos frutos e perda de firmeza de polpa (STEFFENS et al., 2009, 2011).

### **2.2.2 Ácido-naftaleno-acético**

O ANA é outro fitorregulador utilizado no controle da queda pré-colheita de maçãs. Este é aplicado entre uma ou duas semanas antes da data prevista de colheita (BRACKMANN

et al., 2014, 2015a). O ANA é uma auxina sintética que reduz a abscisão de frutos, por reduzir a expressão de genes envolvidos na degradação da parede celular na zona de abscisão (*MdPG2* e *MdEG1*) (LI; YUAN, 2008). No entanto, o ANA aumenta a produção de etileno e o amolecimento do fruto (LI; YUAN, 2008; SCHUPP; GREENE, 2004; YUAN; LI, 2008), por aumentar a expressão de genes envolvidos na síntese de etileno (*MdACS1* e *MdACO1*) na percepção (*MdERS1*) e na degradação da parede celular da maçã (*MdPG1*) (LI; YUAN, 2008), o que diminui o potencial de armazenamento dos frutos (BRACKMANN et al., 2014, 2015).

A auxina é um hormônio responsável por promover o crescimento celular (TAIZ; ZIEGER, 2013). As sementes são uma grande fonte de auxina no fruto, sendo que ela é transportada para todo o fruto, promovendo o seu crescimento (TAIZ; ZIEGER, 2013). Quando inicia a maturação do fruto, a produção de auxina pela semente decresce e de etileno aumenta, reduzindo a relação de auxina e etileno. Com o nível de auxina baixo na zona de abscisão, aumenta a sensibilidade ao etileno, desencadeando a expressão de genes e a atividade de enzimas responsáveis pela degradação de componentes celulares da zona de abscisão, provocando a queda do fruto (YUAN; HARTMOND; KENDER, 2001; MEIR et al., 2006). Esse processo pode ser reduzido pelo aumento nos níveis de auxina na planta com a aplicação de ANA (YUAN; CARBAUGH, 2007).

A aplicação de ANA em macieiras ‘Bisbee Delicious’ reduziu a queda de frutos, mas reduziu também a firmeza de polpa, teor de sólidos solúveis e aumentou a produção de etileno (YUAN; LI, 2008). Segundo Yuan e Carbaugh (2007), duas aplicações de ANA retardaram a queda de frutos em até 20 dias. Já em maçãs ‘Braeburn’ a aplicação de ANA resultou em frutos com baixa acidez, baixo teor de sólidos solúveis totais e índice de amido comparado ao tratamento sem fitorregulador (OZKAN et al., 2012). Em pós-colheita, maçãs ‘Brookfield’ armazenadas durante oito meses em AC, mais sete dias mantidos na temperatura de 20 °C, apresentaram alta incidência de polpa farinácea com aplicação de ANA (BRACKMANN et al., 2014).

### 2.2.3 Ácido 2-cloro-etil-fosfônico

O ethephon é um produto que libera etileno. Quando o produto é aplicado em meio com  $\text{pH} > 3,5$ , o etileno é formado e liberado, sendo posteriormente absorvido pela planta e fruto (MENDES, 2010).

A aplicação com ethephon tem sido utilizado para promover a antecipação e uniformização na maturação dos frutos do cafeeiro (CARVALHO et al., 2003), acelerar a



maturação de kiwi (AMPA et al., 2016), maçã (STEFFENS et al., 2006), além de favorecer o desenvolvimento da coloração vermelha em maçã (AWAD; JAGER, 2002; STEFFENS et al., 2006; WANG; DILLEY, 2001) e morango (BAN et al., 2007). A coloração vermelha da epiderme de maçãs é um atributo importante na comercialização dos frutos, agregando maior valor na venda e aceitabilidade pelo consumidor. A coloração vermelha da epiderme de maçãs é conferida principalmente pela quantidade e tipos de antocianinas presentes (AWAD; JAGER, 2002). A radiação solar e temperatura são os principais fatores externos que influenciam na formação de antocianinas em maçãs (GOUWS; STEYN, 2014; REAY; LANCASTER, 2001; UBI et al., 2006). Dentre os fatores internos, a maturação avançada dos frutos e a atividade de enzimas envolvidas na síntese de antocianinas, como a fenilalanina amônia-liase (PAL) e a chalcona isomerase (CHI), favorecem o desenvolvimento da coloração dos frutos (LISTER; LANCASTER; WALKER, 1996; SHAFIQ; SINGH; KHAN, 2011). O etileno pode estar envolvido na atividade da enzima PAL, aumentando a síntese de antocianinas (FARAGHER; BROHIER, 1984). A aplicação de Ethephon aumentou a atividade da PAL (LARRIGAUDIÈRE; PINTO; VENDRELL, 1996; LI et al., 2002).

A síntese de fenóis e lignina é importante na resistência contra a infecção por fungos (YAO; TIAN, 2005). A PAL é uma enzima importante na síntese de fenóis e lignina, sendo que sua maior atividade contribui na resposta de resistência à infecção fúngica em frutos (SU et al., 2011). Segundo Pan et al. (2013), o etileno aumentou a expressão do gene de fator resposta de etileno (*SIERF1*) envolvido na defesa contra infecção de *Rhizopus nigricans* em tomate.

No entanto, a aplicação com Ethephon aumenta a queda de frutos, pelo aumento na produção de etileno, que promove a síntese e atividade de enzimas que atuam na zona de abscisão (BROWN, 1997). Além disso, diminui a qualidade dos frutos e o tempo de armazenamento, principalmente pela maior perda de firmeza da polpa (STEFFENS et al., 2005). Segundo Drake et al. (2006), Ethephon aumentou a degradação de amido, produção de etileno e reduziu a firmeza da polpa em maçãs ‘Scarletspur Delicious’. Estudos concluíram que o etileno regula o transporte de auxina, o metabolismo e processos de sinalização, afetando os padrões de expressão de genes que codificam proteínas portadoras de auxina, como a aldeído desidrogenase e proteínas primárias responsivas às auxinas (SHIN et al., 2016; 2017). O menor transporte de auxina na planta pode favorecer a ação do etileno durante o processo de abscisão e maturação dos frutos (BROWN, 1997).

#### **2.2.4 1-Metilciclopropeno**

Com o objetivo de retardar o amadurecimento e prolongar a vida pós-colheita de frutos climatéricos durante o armazenamento, as empresas armazenadoras de maçãs vêm utilizando o 1-MCP (BRACKMANN et al., 2009a; FAWBUSH et al., 2009).

O 1-MCP inibe a ação de etileno, por se ligar de forma irreversível aos receptores de etileno localizados na membrana do retículo endoplasmático e, assim, impedindo que o etileno se ligue ao receptor (BLANKENSHIP; DOLE, 2003; SISLER; SEREK, 1997; WATKINS, 2006). A ligação do 1-MCP ao receptor de etileno evita a ocorrência dos eventos posteriores desencadeados pelo etileno, que irão culminar com a antecipação do amadurecimento e senescência dos frutos. O 1-MCP também atua na redução da expressão de genes que codificam as enzimas ACC oxidase (*MdACO1*), ACC sintase (*MdACS1*) e receptores de etileno (*MdERS1* e *MdERS2*) (TATSUKI et al., 2007; YANG et al., 2013), com isso, retarda a senescência e mantém a qualidade dos frutos (BULENS et al., 2012).

Vários trabalhos têm mostrado os benefícios da aplicação de 1-MCP em maçã comparado com maçãs armazenadas em AC sem aplicação do produto. Entre elas, mantém alta a firmeza de polpa dos frutos (BRACKMANN et al., 2013; THEWES et al., 2015; 2017; WATKINS; NOCK, 2012), a acidez titulável (LU et al., 2012), reduz a taxa respiratória (BRACKMANN et al., 2010; BOTH et al., 2014; THEWES et al., 2017; WATKINS; NOCK, 2012) e a incidência de polpa farinácea (BRACKMANN et al., 2014; THEWES et al., 2017). A aplicação de 1-MCP em maçã ‘Golden Delicious’ preveniu a formação de escaldadura, reduziu o amolecimento e a permeabilidade da membrana (GAGO et al., 2016).

A aplicação de 1-MCP é uma tecnologia utilizada tanto no armazenamento em AC quanto em AR. A aplicação em maçãs ‘Royal Gala’, armazenadas em AR por oito meses, resultou em menor perda de firmeza de polpa, reduziu a produção de etileno e manteve maior acidez titulável (CORRENT et al., 2004). Trabalhos demonstraram que a eficácia da aplicação de 1-MCP diminuiu, em frutos colhidos em estágio avançado de maturação (índice de iodo amido 8,53) (AMARANTE et al., 2010). Por outro lado, o 1-MCP aumentou a ocorrência de degenerescência de polpa em maçã ‘Braeburn’ (ARGENTA et al., 2010) e em maçã ‘Empire’ (NOCK; WATKINS, 2013).

### **2.2.5 Aplicação combinada de fitorreguladores**

Uma forma de reduzir os efeitos prejudiciais que cada fitorregulador (AVG, ANA, Ethephon) causa na qualidade e conservação de maçãs pode ser a aplicação combinado desses

fitorreguladores (LI; YUAN, 2008; STEFFENS et al., 2006; YUAN; CARBAUGH, 2007; YUAN; LI, 2008).

A combinação de uma aplicação com AVG e duas de ANA resultou na menor queda de frutos em maçã ‘Golden Suprema’ comparado à aplicação isolada dos produtos (LI; YUAN, 2008; YUAN; CARBAUGH, 2007; YUAN; LI, 2008). Yuan; Carbaugh, (2007) verificaram menor queda de frutos e produção de etileno em maçãs ‘Golden Delicious’ com a combinação de 1-MCP, AVG e ANA em pré-colheita. Em maçãs ‘Pink Lady’ a aplicação de Ethephon após a AVG favoreceu o desenvolvimento da coloração vermelha na epiderme dos frutos (WHALE et al., 2008). Em maçã ‘Gala’ o Ethephon anulou o efeito da AVG sobre o menor desenvolvimento da coloração vermelha (STEFFENS et al., 2006). De acordo com Drake et al. (2006), a aplicação de AVG seguido de Ethephon em maçã ‘Scarletspur Delicious’, reduziu a degradação de amido, produção de etileno e manteve alta firmeza da polpa. Em pós-colheita, a combinação de AVG com ou sem Ethephon não afetou a cor vermelha em maçãs ‘Brookfield’ (BRACKMANN et al., 2015a). Os mesmos autores verificaram baixa incidência de polpa farinácea e porcentagem de frutos sadios maior que 90% com uso combinado de AVG com ANA ou 1-MCP. A aplicação de ANA combinado com Ethephon manteve a mesma qualidade dos frutos, comparado ao tratamento controle em maçã ‘Brookfield’ (BRACKMANN et al., 2015b). Diante desses resultados, é importante realizar estudos com outras variedades de maçã, avaliando o efeito de diferentes combinações de fitorreguladores, na redução de perdas de pré- e pós-colheita.

### **2.2.6 Armazenamento em atmosfera controlada**

Devido ao período de colheita de maçã no Brasil restringir-se aos primeiros quatro meses do ano, cerca de 70% da produção precisa ser armazenada, para que o produto possa ser ofertado no mercado durante quase todos os meses do ano. A capacidade de armazenagem de maçã no Brasil está entorno de 900 mil toneladas, destes, cerca de 600 mil toneladas são armazenadas em AC, sendo o restante em AR (KIST et al., 2016). A maior utilização da AC para o armazenamento de maçãs, se deve à melhor manutenção da qualidade dos frutos aliado ao prolongamento significativo do período de armazenamento comparado ao AR.

O armazenamento em AC se caracteriza pela utilização de baixas temperaturas, baixa pressão parcial de O<sub>2</sub> e altas pressões parciais de CO<sub>2</sub>, além do controle da umidade relativa do ar (BRACKMANN et al., 2005; 2008; 2009b; SAQUET; BRACKMANN; STORCK, 1997). As pressões parciais utilizadas para maçãs variam conforme a cultivar. As pressões parciais

indicadas para maçãs do grupo ‘Gala’ variam de 1,0 a 1,2 kPa de O<sub>2</sub> e 1,5 a 3,0 kPa de CO<sub>2</sub> (BRACKMANN et al., 2008, 2009b; WEBER et al., 2013). Essa técnica, permite prolongar o período de armazenamento em até oito meses, enquanto que no AR, esse período pode ser de até cinco meses (BRACKMANN et al., 2000).

O uso de baixas pressões de O<sub>2</sub> e altas de CO<sub>2</sub> reduz o metabolismo dos frutos, e com isso prolonga a vida pós-colheita. A redução de O<sub>2</sub> diminui a respiração dos frutos, pelo fato do O<sub>2</sub> ser o substrato final na cadeia transportadora de elétrons (STEFFENS et al., 2007; TAIZ; ZEIGER, 2013). A menor disponibilidade de O<sub>2</sub> reduz a atividade da enzima citocromo oxidase, localizada na cadeia transportadora de elétrons (WRIGHT et al., 2015). Além disso, o O<sub>2</sub> também é necessário para que ocorra a produção de etileno, pois a enzima ACC oxidase requer O<sub>2</sub> para converter o ACC em etileno, na última etapa da rota de biossíntese do etileno (YANG; HOFFMANN, 1984). Com a menor produção de etileno, diminui também a expressão e atividade de enzimas dependentes do etileno, responsáveis pela degradação da parede celular (GOULAO et al., 2007; PAYASI et al., 2009; PRASSANA; PRABHA; THARANATHAN, 2007) e, assim, prolongando a vida pós-colheita dos frutos.

O emprego de altas pressões parciais de CO<sub>2</sub> também reduz o metabolismo dos frutos (GORNY; KADER, 1996; LIU et al., 2004; MATHOOKO, 1996). Sendo que o CO<sub>2</sub> diminui a atividade de enzimas da rota glicolítica, como a fosfofrutoquinase e do ciclo dos ácidos tricarbóxicos, atuando na succinato desidrogenase e isocitrato desidrogenase (LIU et al., 2004). Além disso, o CO<sub>2</sub> também atua na biossíntese do etileno, reduzindo a atividade da enzima ACC sintase e competindo com o etileno pelos receptores de etileno (GORNY; KADER, 1996; MATHOOKO, 1996).

Com a redução do metabolismo dos frutos armazenados em AC, a qualidade é superior comparado ao AR. Os principais benefícios da AC, dizem respeito à maior firmeza de polpa, acidez titulável, menor incidência de podridões e degenerescência da polpa, principalmente a degenerescência senescente (BRACKMANN et al., 2000; 2008).

A manutenção da qualidade dos frutos durante o armazenamento em AC depende do estágio de maturação na colheita. Frutos colhidos após o ponto ideal de maturação são mais suscetíveis a perdas durante o armazenamento em AC, que são devido à maior perda de firmeza de polpa, distúrbios fisiológicos e podridões (BRACKMANN et al., 2002; VILANOVA et al., 2014). Por outro lado, frutos colhidos muito precocemente são mais suscetíveis à ocorrência de escaldadura (ARGENTA; MONDARDO, 1994).

Para maçã ‘Galaxy’, não foram encontrados trabalhos na literatura avaliando o efeito de fitorreguladores (AVG, ANA, Ethephon) aplicados em pré-colheita sobre a qualidade dos frutos

armazenados em AC. Portanto, é importante avaliar o efeito desses fitorreguladores na conservação de maçãs em AC para auxiliar os armazenadores na tomada de decisões, principalmente com respeito ao tempo que os frutos tratados com determinado fitorregulador podem ser armazenados sem que ocorram perdas significativas.

### 3 ARTIGO 1

#### 3.1 APLICAÇÃO DE AMINOETOXIVINILGLICINA COMBINADA COM ÁCIDO NAFTALENO ACÉTICO REDUZ A QUEDA PRÉ-COLHEITA DE FRUTOS E MANTÉM A QUALIDADE DE MAÇÃ ‘GALAXY’ DURANTE A VIDA DE PRATELEIRA

##### Resumo

O objetivo do trabalho foi de avaliar o efeito da aplicação isolada ou combinada de aminoetoxivinilglicina e ácido naftaleno acético sobre a queda pré-colheita de frutos e na conservação da qualidade de maçã ‘Galaxy’ durante a vida de prateleira a 20 °C. O experimento foi conduzido em pomar comercial, no delineamento blocos ao acaso. Cada tratamento foi composto por quatro repetições de oito plantas por repetição. Os tratamentos avaliados foram: [1] Controle (aplicação de água); [2] ácido naftaleno acético (ANA – 20 g ha<sup>-1</sup>); [3] aminoetoxivinilglicina (AVG – 125 g ha<sup>-1</sup>); [4] ácido 2-cloro-etil-fosfônico (Ethephon – 0,16 L ha<sup>-1</sup>); [5] AVG+ANA; [6] AVG+Ethephon; [7] ANA+Ethephon; [8] ANA+Ethephon (0,48 L ha<sup>-1</sup>); [9] AVG+ANA (aplicados 15 dias antes da colheita - DAC) e [10] AVG+ANA+Ethephon. Para as análises físico-químicas após a colheita, foram utilizados 100 frutos por tratamento, divididos em quatro repetições de 25 frutos. O tratamento das macieiras com AVG+ANA (35 e 15 DAC, respectivamente) resultou na maior redução da queda pré-colheita de frutos, além disso, diminuiu a atividade da enzima ACC oxidase, a concentração interna de etileno, a produção de etileno, a taxa respiratória, o efluxo de eletrólitos e manteve maior acidez e firmeza de polpa. A aplicação de AVG isolada ou combinada com outros fitorreguladores não teve efeito sobre o desenvolvimento da coloração vermelha da epiderme dos frutos. A aplicação de ANA isolado ou combinado com Ethephon, diminuiu a qualidade dos frutos durante a vida de prateleira, pois, aumentou a concentração interna de etileno, a produção de etileno, a taxa respiratória e acelerou a perda de firmeza dos frutos. A aplicação isolada da AVG resultou em menor redução na queda de frutos, comparado à AVG+ANA (35 e 15 DAC, respectivamente), mas, manteve qualidade dos frutos semelhante após sete dias de vida de prateleira. A aplicação de AVG+ANA (35 e 15 DAC, respectivamente), é o tratamento mais eficiente na redução da queda pré-colheita de frutos e na manutenção da qualidade durante a vida de prateleira de maçã ‘Galaxy’.

**Palavras-chave:** Ácido naftaleno acético. Ácido 2-chloro-etil-fosfônico. Aminoetoxivinilglicina. Firmeza de polpa. *Malus domestica*. Queda de frutos.

## APPLICATION OF AMINOETHOXYVINYLGLYCINE COMBINED WITH NAPHTHALENE ACETIC ACID REDUCES THE PRE-HARVEST FRUIT DROP AND MAINTAINS THE QUALITY OF 'GALAXY' APPLE DURING THE SHELF LIFE

### Abstract

The objective of this work was to evaluate the effect of the isolated or combined application of aminoethoxyvinylglycine and naphthalene acetic acid on the preharvest fruit drop and the conservation of the 'Galaxy' apple quality during a shelf life at 20 °C. The experiment was conducted in a commercial orchard, in the randomized block design. Each treatment consisted of 4 replicates of 8 plants per replicate. The treatments were: [1] Control (water application); [2] naphthalene acetic acid (NAA - 20 g ha<sup>-1</sup>); [3] aminoethoxyvinylglycine (AVG-125 g ha<sup>-1</sup>); [4] 2-chloro-ethyl-phosphonic acid (Ethephon - 0.16 L ha<sup>-1</sup>); [5] AVG+NAA; [6] AVG+Ethephon; [7] NAA+Ethephon; [8] NAA+Ethephon (0.48 L ha<sup>-1</sup>); [9] AVG+NAA (applied 15 days before harvest - DBH) and [10] AVG+NAA+Ethephon. For the post-harvest physical-chemical analyzes, 100 fruits per treatment were used, divided into four replicates of 25 fruits. The treatment of apple trees with AVG+NAA (35 and 15 DBH, respectively) resulted in a greater reduction of the pre-harvest fruit drop, in addition, decreased ACC oxidase enzyme activity, internal ethylene concentration, respiration rate, electrolyte leakage and maintained high titratable acidity and flesh firmness. The application of AVG alone or combined with other growth regulators had no effect on the development of the red skin color. The application of NAA alone or combined with Ethephon, decreased fruit quality during shelf life, for, increased the internal ethylene concentration, ethylene production, respiration rate and accelerated the flesh firmness loss of the fruits. The isolated application of AVG resulted in a lower reduction in fruit drop, compared to AVG+NAA (35 and 15 DBH, respectively), but, maintained similar fruit quality after seven days of shelf life. The application of AVG+NAA (35 and 15 DBH, respectively), is the most efficient treatment in reducing the preharvest fruit drop and maintaining quality during the shelf life of 'Galaxy' apple.

**Keywords:** Naphthalene acetic acid. 2-Chloro-ethyl-phosphonic acid. Aminoethoxyvinylglycine. Flesh firmness. *Malus domestica*. Fruit drop.

### 3.1.1 Introdução

Um dos principais desafios que os produtores de maçãs no mundo enfrentam é a acentuada queda pré-colheita de frutos, podendo as perdas atingirem 30% da produção, dependendo da sensibilidade do cultivar e das condições climáticas durante a estação de crescimento (ARSENEAULT; CLINE, 2016). Mas, essa perda pode aumentar com o atraso da colheita (BYERS, 1997; SCHUPP; GREENE, 2004), que ocorre devido à falta de mão de obra disponível para realizar a colheita antes da queda dos frutos.

Esse problema é comum em maçã do cultivar ‘Gala’ e suas mutantes (ARGENTA, 1992). Isso se deve ao fato da maturação das sementes ocorrer antes da conclusão do crescimento do fruto e, assim, deixando de produzir auxinas necessárias para inibir a síntese do etileno, o qual atua na zona de abscisão, antecipando a queda pré-colheita dos frutos. Também, a rápida maturação da maçã ‘Galaxy’, aliada à falta de mão de obra, dificulta a realização da colheita quando possuem maturação próxima do ideal (firmeza, cor e tamanho) para o armazenamento prolongado, causando atraso na colheita e, com isso, aumentando a queda de frutos (SCHUPP; GREENE, 2004) e a perda de qualidade (BRACKMANN et al., 2004)

Uma das estratégias adotadas pelos produtores de maçã para diminuir essas perdas é a aplicação de fitorreguladores nas macieiras. Um fitorregulador bastante usado é a AVG, a qual é um inibidor da biossíntese do etileno (VERBURG et al., 2008), que retarda a maturação e a queda de frutos. A AVG atua na supressão da expressão de genes da enzima ACC sintase (*MdACS5A* e *MdACS5B*) e da ACC oxidase (*MdACO1*) (LI; YUAN, 2008), reduzindo a formação de ACC a partir da S-adenosil-L-metionina. Além disso, reduz indiretamente, em função da redução da produção de etileno a expressão de genes de enzimas que degradam a parede celular na camada de abscisão, como a poligalacturonase (*MdPG2*) e celulase (*MdEG1*) (LI; YUAN, 2008; YUAN; LI, 2008). Também, retarda o amolecimento do fruto por suprimir a expressão dos genes (*MdACS1*, *MdACO1*, *MdERS1* e *MdPG1*) no córtex do fruto (DAL CIN et al., 2008; LI; YUAN, 2008).

Estudos demonstraram que a aplicação da AVG reduziu a queda de maçã, manteve alta firmeza de polpa e baixa produção de etileno (SCHUPP; GREENE, 2004; SCOLARO et al., 2015; PETRI; HAWERROTH; LEITE, 2010; YILDIZ; OZTURK; OZKAN, 2012; YUAN; LI, 2008). Porém, alguns trabalhos comprovaram que a AVG diminuiu o desenvolvimento da coloração vermelha da epiderme da maçã (AMARANTE; STEFFENS; BLUM, 2010; SCOLARO et al., 2015; STEFFENS et al., 2006), atributo importante de qualidade, que agrega maior valor na venda e preferência do consumidor.



Outro fitorregulador aplicado para retardar a queda de maçã é o ANA (YUAN; CARBAUGH, 2007; YUAN; LI, 2008). Porém, esse composto estimula a produção de etileno, por aumentar a expressão de genes relacionados com a sua síntese (*MdACS5A*, *MdACS5B* e *MdACO1*), percepção (*MdETR1*, *MdETR1b*, *MdETR2*, *MdERS1* e *MdERS2*) e na degradação da parede celular (*MdPG2*), reduzindo a firmeza de polpa dos frutos (YUAN; LI, 2008; ZHU; BYERS; YUAN, 2008).

Além da aplicação de fitorreguladores para retardar a maturação e a queda de maçã, existem produtos que estimulam a maturação, como o caso do Ethephon, que aumenta a produção de etileno. O Ethephon é usado para antecipar a colheita, favorecendo a otimização da mão de obra durante o período de colheita da maçã. Além disso, pode favorecer o desenvolvimento da coloração vermelha da epiderme de maçã (AWAD; JAGER, 2002; STEFFENS et al., 2006; WANG; DILLEY, 2001). No entanto, devido ao aumento da produção de etileno, pode ocorrer maior queda de frutos e acelerar o amolecimento dos frutos (DRAKE et al., 2006; STEFFENS et al., 2005).

A combinação de fitorreguladores pode ser uma alternativa para amenizar os efeitos indesejáveis que cada produto causa na qualidade da maçã. Estudos apresentaram resultados positivos quando esses fitorreguladores foram combinados. Menor queda de frutos foi obtida quando a AVG foi aplicada em combinação com o ANA (LI; YUAN, 2008; YUAN; CARBAUGH, 2007; YUAN; LI, 2008). A aplicação de Ethephon após a AVG anulou o efeito da AVG no retardamento do desenvolvimento da coloração vermelha da epiderme (STEFFENS et al., 2006; WHALE et al., 2008). Além disso, a aplicação de AVG seguida de Ethephon, reduziu a produção de etileno e manteve os frutos mais firmes (DRAKE et al., 2006; STEFFENS et al., 2006).

Portanto, o objetivo do trabalho foi de avaliar o efeito da aplicação isolada ou combinada de AVG, ANA ou Ethephon sobre a queda pré-colheita e qualidade de maçã ‘Galaxy’ após sete dias de vida de prateleira em ar à temperatura de 20 °C.

### **3.1.2. Material e métodos**

#### *3.1.2.1 Material experimental e preparo das amostras*

O experimento foi conduzido em pomar comercial, (28°48’21” S; 50°81’16” W; 971 m) localizado no município de Vacaria, RS. Os compostos foram aplicados em macieiras de maçã ‘Galaxy’, enxertadas sobre o porta-enxerto M9, com densidade de 3.571 plantas ha<sup>-1</sup>. Os

fitorreguladores aplicados foram: AVG, produto comercial Retain<sup>®</sup> (Valent BioScience, USA, 15% de i.a.); ANA (Fruitone<sup>®</sup>, AMVAC Chemical Corporation, USA, 80% i.a.) e Ethephon, Ethrel<sup>®</sup> (Bayer Crop Science, Germany, 24% de i.a.). Junto com a aplicação de AVG, foi usado um espalhante adesivo não iônico, produto comercial Break-Thru<sup>®</sup> (Evonik Degussa Brasil Ltda), na dose 0,05 %. A aplicação dos produtos nas macieiras foi realizada com um turbo atomizador com capacidade de 2.000 L de calda acoplado a um trator. O volume da calda utilizado foi de 1.000 L ha<sup>-1</sup>. O experimento foi conduzido no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições, com oito plantas por repetição. Foram aplicados 10 tratamentos conforme tabela 1.

Antes da colheita, foi avaliada a queda de frutos, e em seguida, os frutos foram colhidos e transportados para o Núcleo de Pesquisa em Pós-colheita da Universidade Federal de Santa Maria (NPP/UFSM), onde foi realizada a seleção e homogeneização dos frutos, eliminando àqueles com danos mecânicos ou sintomas de doenças. Logo após, foram formadas amostras experimentais com 25 frutos, totalizando 100 frutos por tratamento, divididos em quatro repetições, que foram utilizadas para a realização das análises físico-químicas.

**Tabela 1** - Tratamentos, momento da aplicação e dose de fitorreguladores em maçã ‘Galaxy’.

Tratamentos	Aplicação (dias antes da colheita) *	Dose (i.a.)
Controle	15	Somente água
ANA	15	20 g ha <sup>-1</sup>
AVG	35	125 g ha <sup>-1</sup>
Ethephon	15	0,16 L ha <sup>-1</sup>
AVG+ANA	35+15	125 g ha <sup>-1</sup> + 20 g ha <sup>-1</sup>
AVG+Ethephon	35+15	125 g ha <sup>-1</sup> + 0,16 L ha <sup>-1</sup>
ANA+Ethephon	15+15	20 g ha <sup>-1</sup> + 0,16 L ha <sup>-1</sup>
ANA+Ethephon	15+15	20 g ha <sup>-1</sup> + 0,48 L ha <sup>-1</sup>
AVG+ANA	15+15	125 g ha <sup>-1</sup> + 20 g ha <sup>-1</sup>
AVG+ANA+Ethephon	35+15+15	125 g ha <sup>-1</sup> + 20 g ha <sup>-1</sup> + 0,16 L ha <sup>-1</sup>

\*Os fitorreguladores foram aplicados em tanque separado, sem mistura no tanque.

### 3.1.2.2 Queda de frutos, metabolismo e análises de qualidade

As análises das variáveis físico-químicas foram realizadas sete dias após a colheita dos frutos. Os frutos permaneceram por esse período à temperatura de 20 °C ± 2 °C e umidade relativa de 80 ± 2%, simulando a vida de prateleira.

### 3.1.2.2.1 Queda de frutos

No início, antes da aplicação dos fitorreguladores, dentro de cada repetição foram marcadas cinco plantas, sendo que nelas foram contados todos os frutos. No momento da colheita foi realizada uma nova contagem dos frutos nas mesmas plantas, e por diferença foi calculado o número de frutos que caíram da planta. A partir desses dados foi calculada a porcentagem de queda pré-colheita. Também, foram pesados 100 frutos de cada tratamento e, com a massa obtida, foi calculada a queda pré-colheita em  $t\ ha^{-1}$  para cada tratamento avaliado.

### 3.1.2.2.2 Índice de cor vermelha da epiderme

Determinada pela avaliação subjetiva da área do fruto com coloração vermelha, de acordo com a escala (1 a 4), 1 = até 25% cobertura de coloração vermelha na epiderme; 2 = 26 a 50% cobertura; 3 = 51 a 75% de cobertura; e 4 = 76 a 100% de coloração vermelha na epiderme. A média foi calculada pela seguinte fórmula:  $X = (NFI \cdot I) / NTFA$ , onde X = média, NFI = número de frutos do índice, I = índice (1 a 4) e NTFA = número total de frutos da amostra.

### 3.1.2.2.3 Cor da epiderme

Determinado com calorímetro da marca Minolta (modelo CR 310, Tóquio, Japão), que mede pelo sistema CIE  $L^*a^*b^*$ , onde L = luminosidade (0 = preto e 100 = branco),  $a^*$  indica a variação da cor verde ( $-a^*$ ) ao vermelho ( $+a^*$ ) e  $b^*$  é a variação da cor azul ( $-b^*$ ) ao amarelo ( $+b^*$ ). A partir dos valores  $a^*$  e  $b^*$  foi calculada a intensidade da cor (croma) e o ângulo de matiz da cor vermelha (ângulo hue).

### 3.1.2.2.4 Produção de etileno

Determinada pelo acondicionamento de aproximadamente 1,5 kg de frutos em um frasco de 5 L, o qual foi fechado hermeticamente durante uma hora. Após este tempo, duas amostras de ar com 1 mL foram retiradas do frasco e injetadas em um cromatógrafo a gás da marca Varian® (modelo Star CX3400, Palo Alto, CA, USA), equipado com detector de ionização por chama (FID) e coluna Porapak N80/100. As temperaturas da coluna, do injetor e

do detector foram de 90, 140 e 200 °C, respectivamente. Os resultados foram expressos em  $\text{ng C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .

#### 3.1.2.2.5 Concentração interna de etileno

Foi retirado o ar de fatias de frutos de acordo com a metodologia proposta por Mannapperuma et al. (1991). Foram retiradas duas amostras de 1 mL desse ar e injetadas no mesmo cromatógrafo utilizado para determinação da produção de etileno (item 3.1.2.2.4). Os resultados foram expressos em  $\mu\text{g L}^{-1}$  de ar extraído das fatias.

#### 3.1.2.2.6 Taxa respiratória

A taxa respiratória dos frutos foi expressa através da liberação de  $\text{CO}_2$ . Aproximadamente 1,5 kg de frutos foram acondicionados em um frasco de 5 L e fechado hermeticamente durante uma hora. Após este período, o ar do frasco foi circulado através de um analisador eletrônico de gases (Isolcell Itália, modelo Oxycarb 6), o qual determinou a concentração de  $\text{CO}_2$  no ar. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{g CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .

#### 3.1.2.2.6 Atividade da enzima ACC oxidase

Foi determinada de acordo com metodologia desenvolvida por Bufler (1986) e os resultados expressos em  $\text{ng C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .

#### 3.1.2.2.7 Efluxo de eletrólitos

Determinação realizada de acordo com Gago et al. (2015), com modificações. Foram retirados 10 discos da polpa de 10 frutos, com diâmetro de 7 mm e espessura de 5 mm. Os discos foram excisados da região do córtex. Posteriormente, os discos foram imersos em um tubo falcon com 25 mL de água destilada, e deixadas durante uma hora, expostas a  $20 \pm 1$  °C. Após, foi determinada a condutividade elétrica da solução. Em seguida, a amostra foi fervida durante 30 min e posteriormente resfriada até 20 °C. Logo em seguida, foi medido o efluxo de eletrólitos novamente. Os resultados foram expressos em porcentagem.

#### 3.1.2.2.8 Firmeza de polpa

A firmeza de polpa foi determinada com auxílio de um penetrômetro com ponteira de 11 mm de diâmetro. A ponteira foi inserida em dois lados opostos da polpa, na região equatorial dos frutos, onde previamente a epiderme havia sido removida. Os resultados foram expressos em Newton (N).

#### *3.1.2.2.9 Suculência*

Determinada através da prensagem de aproximadamente 20 g de polpa durante 1 min. A amostra foi submetida ao peso de 1.500 kg, numa prensa pneumática, desenvolvida no NPP/UFSM. A quantidade de suco foi obtida pela diferença do peso inicial da amostra (20 g) e o peso final (após a prensagem). A suculência foi expressa em porcentagem.

#### *3.1.2.2.10 Sólidos solúveis*

Foi extraída uma amostra de suco dos 25 frutos de cada repetição, com um extrator de suco (Philips Walita®). Três gotas de suco foram colocadas sobre o prisma do refratômetro para a determinação do teor de sólidos solúveis. Resultados foram expressos em °Brix.

#### *3.1.2.2.11 Acidez titulável*

Determinada com a mesma amostra de suco extraída para determinação de sólidos solúveis. Foi realizada a titulação, com NaOH a 0,1 N, de uma solução com 10 mL de suco diluídos em 100 mL água destilada até pH 8,1. Os resultados foram expressos em meq 100 mL<sup>-1</sup>.

#### *3.1.2.3 Análise estatística*

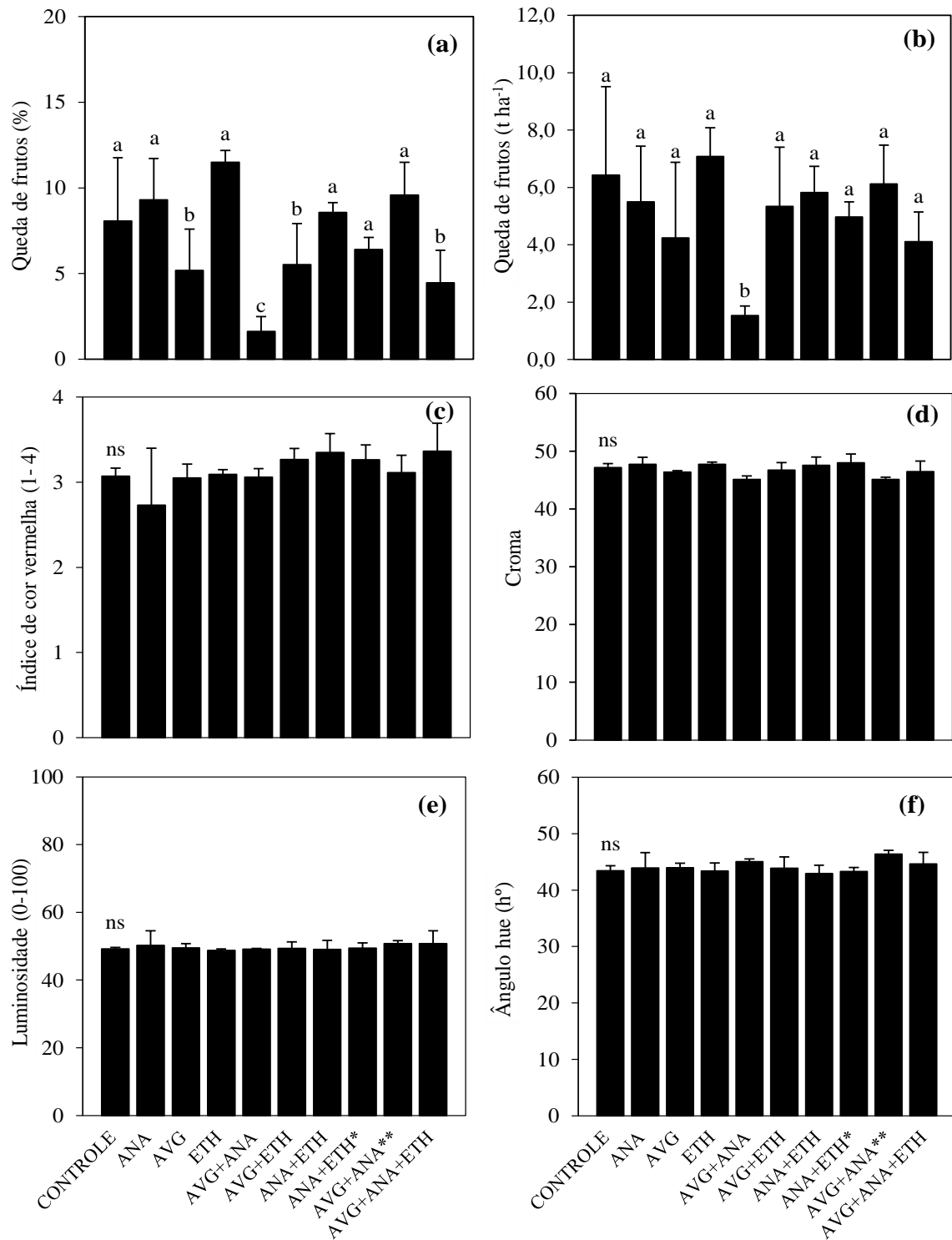
Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade de erro. Os dados expressos em porcentagem foram previamente transformados pela fórmula  $\text{arc. sen } \sqrt{(x+0,5)/100}$ , para posteriormente serem submetidas a análise estatística.

### **3.1.3 Resultados e discussão**

### 3.1.3.1 Queda de frutos

A queda pré-colheita de frutas causa importantes perdas econômicas na produção de maçãs, por isso é necessária adoção de técnicas que controlem esse problema. Plantas que foram tratadas com a combinação de AVG+ANA (aplicados 35 e 15 DAC, respectivamente), apresentaram menor porcentagem de queda de frutos, sendo mais eficaz do que a aplicação isolada de AVG e ANA (Figura 1a). A inibição da síntese de etileno pela AVG, somado com o possível aumento do fluxo de auxina na zona de abscisão pela aplicação de ANA, pode ter diminuído a expressão e atividade de enzimas que degradam a parede celular na zona de abscisão, resultando em menor queda de frutos (MEIR et al., 2006). A AVG e o ANA reduzem a expressão de genes de enzimas, como a poligalacturonase (*MdPG2*) e a celulase (*MdEG1*) as quais atuam na zona de abscisão dos frutos (LI; YUAN, 2008; LI; ZHU; YUAN, 2010; ROBERTS; ELLIOTT; GONZALEZ-CARRANZA, 2002; YUAN; LI, 2008) e, com isso, previnem de forma mais eficiente a queda de frutos do que a aplicação isolada. Esse resultado está de acordo com o encontrado por (YUAN; CARBAUGH, 2007), em maçãs ‘Golden Supreme’ e ‘Golden Delicious’ e por (YUAN; LI, 2008) em maçãs ‘Delicious’. Quando a AVG foi aplicada isolada ou combinada com Ethephon ou ANA+Ethephon, apresentou uma resposta intermediária na porcentagem de queda de frutos. Esse resultado pode ser atribuído a AVG, que minimizou o efeito do Ethephon na síntese autocatalítica de etileno, e assim, reduzindo a produção de etileno e a atividade de enzimas que promovem a queda de frutos. A queda de frutos com a aplicação isolada de ANA não diferiu do tratamento controle. Isso pode ser devido à colheita ter sido realizada 15 dias após a aplicação do ANA, sendo que o ANA é geralmente aplicado sete dias antes da colheita (BRACKMANN et al., 2014, 2015b), e com isso, o produto não teve mais efeito no controle da queda de frutos. Yildiz et al. (2012) verificaram que após 14 dias da aplicação com ANA, a queda de frutos em maçã ‘Red Chief’ não diferiu do tratamento controle.

A aplicação combinada de AVG+ANA (aplicados 15 DAC), não foi eficiente na redução da queda de frutos. Isso pode ser atribuído à aplicação muito próxima à colheita, quando a AVG não teve mais efeito na redução da queda de frutos, possivelmente pelo fato da planta já estar com uma concentração alta de etileno e, assim, já ter ocorrido a síntese de enzimas que promovem a queda de frutos. Com o avanço da maturação, aumenta a expressão



**Figura 1.** Queda de frutos em % (a) e em t ha<sup>-1</sup> (b), índice de cor vermelha da epiderme (c), cromia (d), luminosidade (e) e ângulo hue (f) em maçã ‘Galaxy’ tratadas com fitoreguladores. Barras com a mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo. \*Dose de Ethephon 0,48 L ha<sup>-1</sup>, nos outros tratamentos foi utilizado 0,16 L ha<sup>-1</sup>. \*\*AVG e ANA foram aplicados 15 dias antes da colheita, nos outros tratamentos a AVG foi aplicada 35 dias antes da colheita.

de genes que codificam enzimas envolvidas na degradação da parede celular na zona de abscisão (*MdPG2* e *MdEGI*) (LI; ZHU; YUAN, 2010).

A maior porcentagem de queda de frutos ocorreu em plantas tratadas com Ethephon, ANA, ANA+Ethephon e AVG+ANA (15 DAC) e controle. Ethephon libera etileno, o qual acelera a maturação do fruto e contribui para o aumento da síntese e atividade de enzimas na zona de abscisão, provocando a queda antecipada de frutos (WARD et al., 1999). Estudos verificaram maior queda de frutos em maçã ‘McIntosh’ e ‘Gala’ com a aplicação isolada de Ethephon (STEFFENS et al., 2005; STOVER et al., 2003), respectivamente.

A queda de frutos estimada em  $t\ ha^{-1}$  para os tratamentos (Figura 1b), foi menor na combinação de AVG+ANA (35 e 15 DAC, respectivamente), com queda de  $1,53\ t\ ha^{-1}$ . Se compararmos esse resultado com o tratamento sem aplicação de fitorreguladores, que teve uma queda de frutos de  $6,53\ t\ ha^{-1}$ , a diferença na queda de frutos foi de  $5,0\ t\ ha^{-1}$ . Considerando um preço médio de R\$ 0,90 pago ao produtor pelo quilo de maçã, o produtor estaria perdendo R\$ 4.500,00 por hectare. Considerando apenas o custo dos produtos na safra 2016/2017 pago pelo produtor na qual foi realizado o experimento (AVG = R\$ 1.330,00  $ha^{-1}$  e ANA= R\$ 12,00  $ha^{-1}$ ), o produtor estaria perdendo R\$ 3.158,00  $ha^{-1}$ , sem contar com a diminuição de alimento que estaria sendo perdido. A aplicação isolada de AVG e ANA é uma prática comum realizada principalmente pelos produtores de maçã que possuem grandes áreas de macieiras, para retardar a queda de frutos, pois não possuem mão de obra suficiente no pico da colheita. No presente trabalho a aplicação isolada de AVG e ANA reduziu a queda de frutos em 2,19 e 0,93  $t\ ha^{-1}$  respectivamente, comparado com o tratamento sem aplicação. Essa redução foi muito menor quando comparado com a aplicação combinada de AVG+ANA.

### 3.1.3.2 Coloração da epiderme

A coloração vermelha da epiderme é um fator importante para classificação de maçãs e aceitabilidade pelo consumidor. A aplicação isolada e combinada de diferentes fitorreguladores não afetaram o índice de cor vermelha da epiderme dos frutos (1-4), que foi maior que 75% (índice 4) em todos os tratamentos, exceto com ANA isolado (Figura 1c). O fato dos fitorreguladores não terem influenciado a coloração vermelha da epiderme pode ser devido à maçã ‘Galaxy’ naturalmente possuir grande quantidade de pigmentação vermelha. Brackmann et al. (2015) também não verificaram diferença na coloração vermelha da epiderme em maçã ‘Brookfield’ tratadas com fitorreguladores. No entanto, outros trabalhos encontraram menor índice de cor vermelha na epiderme de frutos de maçã ‘Gala’, quando as plantas foram tratadas



com AVG isoladamente (AMARANTE et al., 2001; AMARANTE; STEFFENS; BLUM, 2010; STEFFENS et al., 2006; WANG; DILLEY, 2001), mas esse efeito foi atenuado pela aplicação de Ethephon (STEFFENS et al., 2006).

Com relação à avaliação das variáveis luminosidade, intensidade da cor (croma) e o ângulo de matiz da cor vermelha (ângulo hue), não houve diferença significativa entre os frutos dos tratamentos avaliados (Figura 1d, e, f), estando de acordo com o resultado verificado para o índice de cor vermelha (Figura 1c).

### 3.1.3.3 Atividade da enzima ACC oxidase e concentração interna de etileno

Analisando a atividade da enzima ACC oxidase, verificou-se maior atividade da enzima nos frutos onde as plantas foram tratadas com Ethephon isolado ou combinado com outros fitorreguladores (Figura 2a). Essa enzima é muito importante na maturação e amadurecimento de frutos climatéricos, pois é responsável pela oxidação do ACC a etileno. A atividade da ACC oxidase pode ser aumentada pela aplicação exógena de etileno (KENDE, 1993; YANG; HOFFMAN, 1984). Isso demonstra que a liberação de etileno pelo Ethephon foi responsável pelo aumento da atividade dessa enzima. Por outro lado, a aplicação isolada ou combinada de AVG com ANA resultou na menor atividade da enzima ACC oxidase, não diferindo do controle e ANA. AVG inibe a atividade de genes da enzima ACC sintase (*MdACS1*) e ACC oxidase (*MdACO1*) no fruto, reduzindo a atividade da enzima ACC oxidase (DAL CIN et al., 2008; LI; YUAN, 2008; YUAN; LI, 2008). No entanto, Brackmann et al. (2015) encontraram alta atividade da enzima ACC oxidase com a aplicação de AVG+ANA em maçã 'Brookfield'.

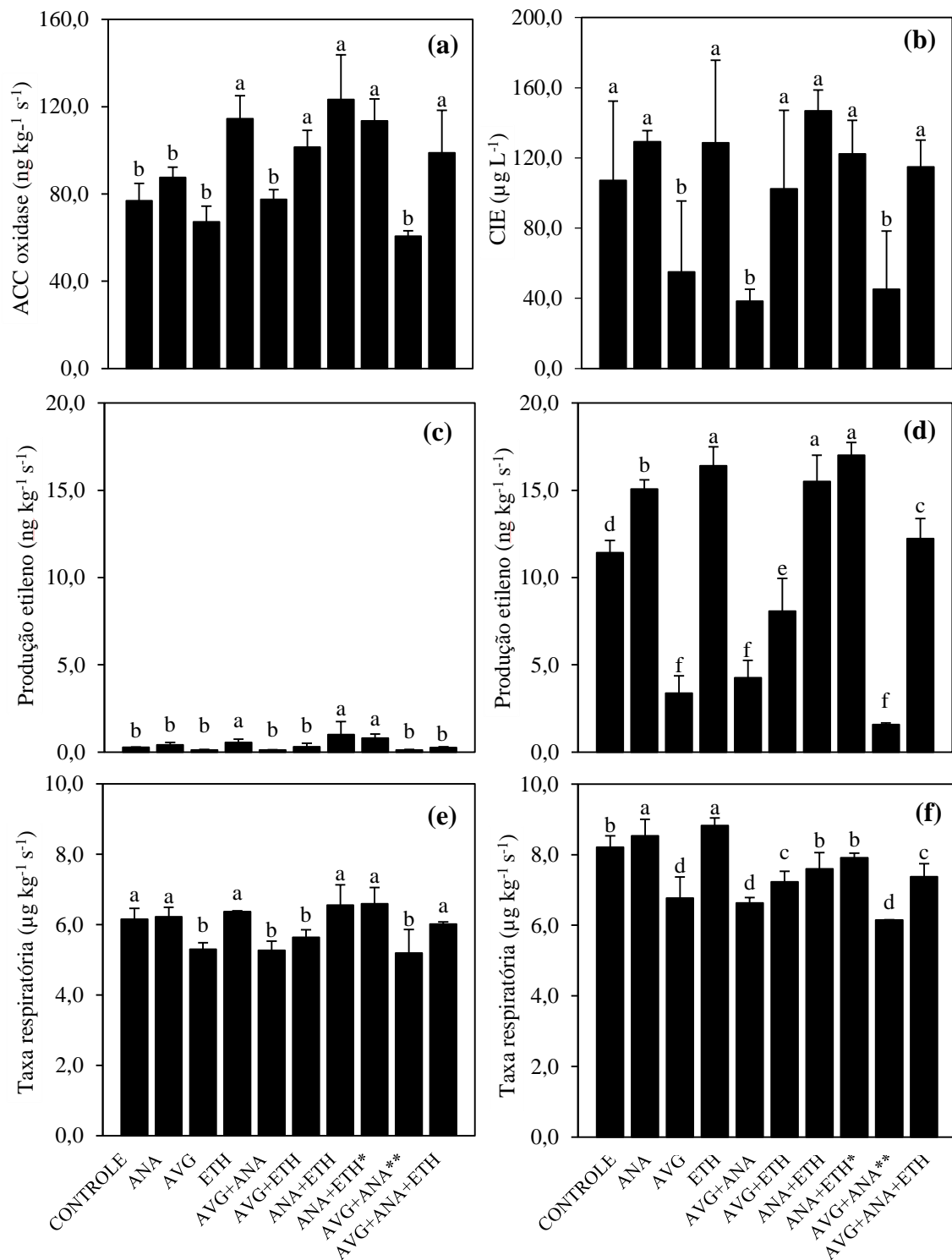
A concentração interna de etileno no fruto foi menor nos tratamentos com aplicação de AVG e AVG+ANA (Figura 2b). Isso está relacionado com baixa atividade da enzima ACC oxidase (Figura 2a), necessária para conversão de ACC a etileno (YANG; HOFFMAN, 1984). Por outro lado, plantas tratadas com Ethephon isolado ou combinado com outros fitorreguladores, apresentaram frutos com alta concentração interna de etileno, o que está relacionado com a alta atividade da enzima ACC oxidase nos frutos tratados com esses fitorreguladores. No entanto, em maçã 'Cripp's Pink' ocorreu menor concentração interna de etileno, quando AVG precedeu a aplicação de Ethephon, comparado com Ethephon isolado (WHALE et al., 2008).

### 3.1.3.4 Produção de etileno e taxa respiratória

A produção de etileno apresentou grande variação entre os tratamentos avaliados (Figura 2c, d). A aplicação de Ethephon isolado e combinado com ANA, resultou em maior produção de etileno, tanto no primeiro quanto no sétimo dia após a colheita (Figura 2c, d). Steffens et al. (2006) verificaram maior produção de etileno em maçã ‘Gala’ tratadas apenas com Ethephon, comparado com os tratamentos AVG, AVG+Ethephon e controle. A alta produção de etileno no presente trabalho está relacionada com a alta atividade da enzima ACC oxidase e concentração interna de etileno verificada nesses tratamentos (Figura 2a, b). A aplicação isolada de ANA resultou numa produção de etileno similar ao controle um dia após a colheita, mas aos sete dias, a produção de etileno foi maior. Isso pode ter ocorrido, porque o ANA aumenta a expressão de genes envolvidos na síntese de etileno (*MdACS1* e *MdACO1*) (LI; YUAN, 2008; YUAN; LI, 2008).

A aplicação de AVG e AVG+ANA foi eficaz na redução da produção de etileno, principalmente sete dias após a colheita (Figura 2d). Isso está relacionado com a baixa atividade da enzima ACC oxidase e concentração interna de etileno medidas (Figura 2a, b). A baixa produção de etileno verificada mostra que a AVG é um potente inibidor da síntese de etileno, anulando, inclusive o efeito do ANA no aumento da produção de etileno. O que está de acordo com os resultados verificados em outros trabalhos (YUAN; CARBAUGH, 2007; YUAN; LI, 2008). Os frutos do tratamento com AVG+Ethephon, apresentaram uma produção intermediária de etileno sete dias após a colheita. Isso demonstra que a AVG atenuou o efeito do Ethephon na produção autocatalítica de etileno. Outros trabalhos também verificaram menor produção de etileno quando a AVG precedeu a aplicação de Ethephon (STEFFENS et al., 2006; WANG; DILLEY, 2001).

O estágio de amadurecimento dos frutos pode ser avaliado a partir da determinação da taxa respiratória (STEFFENS et al., 2007). Os frutos de plantas tratadas com AVG, AVG+ANA e AVG+Ethephon apresentaram menor taxa respiratória um dia após a colheita (Figura 2e). No entanto, aos sete dias, somente os frutos dos tratamentos com AVG e AVG+ANA continuaram com a menor taxa respiratória (Figura 2f). Isso pode estar relacionado com a baixa produção de etileno verificada nos frutos com esses tratamentos (Figura 2c, d). A inibição da síntese do etileno pela AVG, pode ser responsável pela menor taxa respiratória, pois a respiração parece ser dependente do etileno (PRE-AYMARD et al., 2003). Outros autores também verificaram menor taxa respiratória em maçãs com aplicação de AVG (BRACKMANN et al., 2015; STEFFENS et al., 2006; WHALE et al., 2008).



**Figura 2.** Atividade da enzima ACC oxidase (a), concentração interna de etileno sete dias de vida de prateleira a 20 °C (b), produção de etileno um dia (c) e sete dias de vida de prateleira a 20 °C (d), taxa respiratória um dia (e) e sete dias de vida de prateleira a 20 °C (f) em maçã ‘Galaxy’ tratada com fitorreguladores. Barras com a mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. \*Dose do Ethephon 0,48 L ha<sup>-1</sup>, nos outros tratamentos foram utilizados 0,16 L ha<sup>-1</sup>. \*\* AVG e ANA foram aplicados 15 dias antes da colheita, nos outros tratamentos a AVG foi aplicada 35 dias antes da colheita.

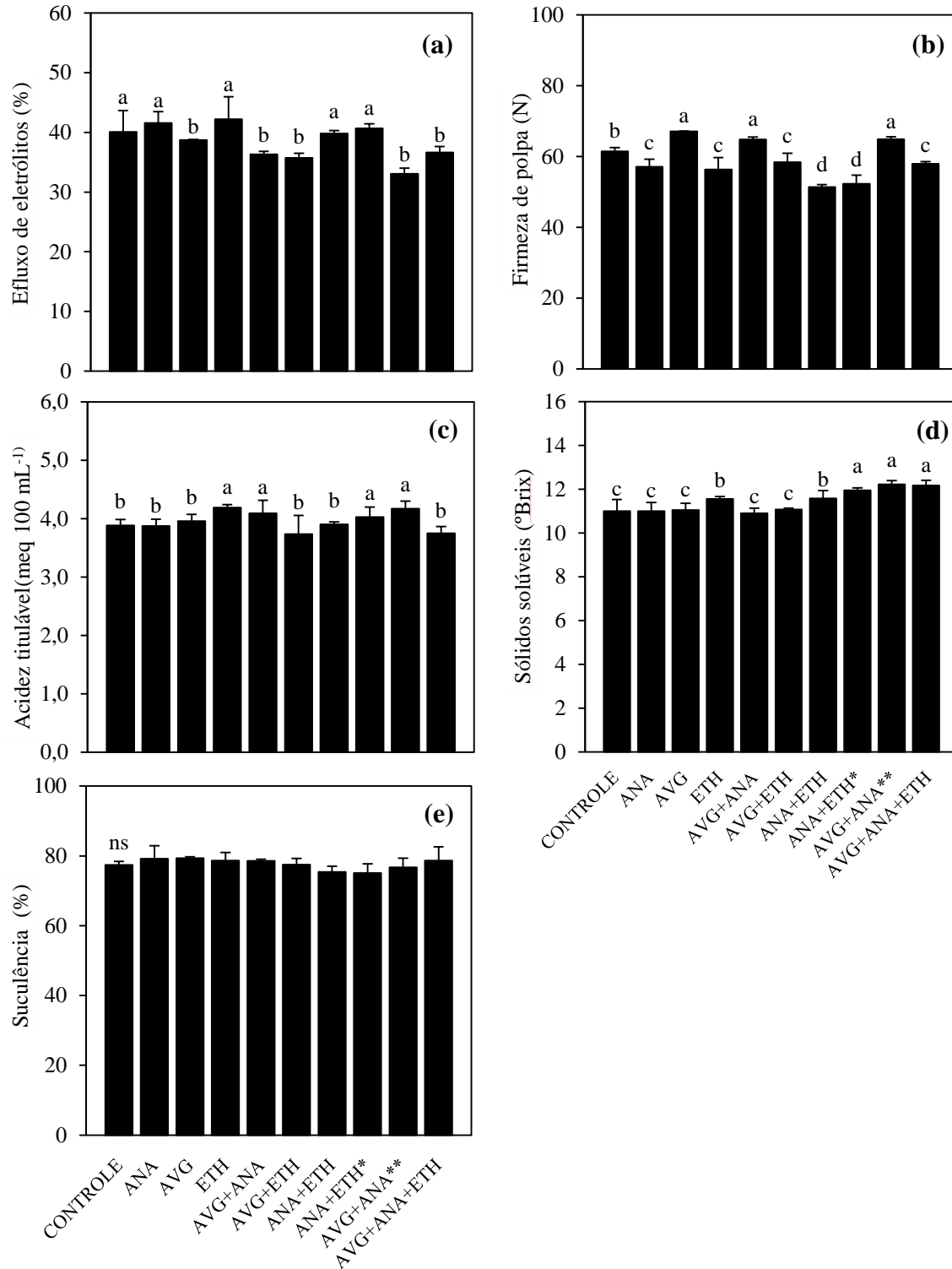
As maiores taxas respiratórias um dia após a colheita, foram verificadas nos tratamentos com aplicação de Ethephon, ANA, ANA+Ethephon, AVG+ANA+Ethephon e no tratamento controle. Isso indica que os frutos foram colhidos próximas do pico climatérico, que pode diminuir sua vida pós-colheita (MANOLOPOULOU; PAPADOPOULOU, 1998). Porém, sete dias após a colheita, a maior taxa respiratória ocorreu apenas nos frutos oriundos de plantas tratadas com ANA e Ethephon isolados. A aplicação de AVG+Ethephon e AVG+ANA+Ethephon resultou numa taxa respiratória intermediária aos sete dias após a colheita. Isso mostra que a AVG diminui o efeito do ANA e Ethephon no aumento da taxa respiratória, que está relacionado com a menor produção de etileno encontrada (Figura 2c, d).

#### *3.1.3.5 Efluxo de eletrólitos*

A análise do efluxo de eletrólitos é um bom indicador da integridade da membrana celular (GAGO et al., 2015). Frutos oriundos de plantas tratadas com ANA e Ethephon, isolados ou combinados, e do tratamento controle apresentaram maior efluxo de eletrólitos (Figura 3a). Esse resultado indica que os frutos possuíam uma menor integridade da membrana celular e, por isso, apresentaram maior efluxo de eletrólitos. Isso pode estar relacionado com o maior metabolismo dos frutos, verificado pela alta produção de etileno e taxa respiratória (Figura 2d, f). O etileno aumenta a expressão e a atividade de enzimas responsáveis pela degradação da membrana celular (GOULAO et al., 2007; PAYASI et al., 2009; PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007). Outros trabalhos verificaram aumento no efluxo de eletrólitos com o avanço do amadurecimento (ANTUNES; SFAKIOTAKIS, 2008; THEWES et al., 2017). Por outro lado, a aplicação de AVG isolado ou combinado com outros fitorreguladores, diminuiu o efluxo de eletrólitos. Isso pode estar relacionado com a baixa produção de etileno verificada nos frutos desses tratamentos (Figura 2c, d) e, com isso, diminuiu a degradação da membrana e, conseqüentemente, o extravasamento de eletrólitos.

#### *3.1.3.6 Firmeza de polpa*

A firmeza de polpa é um parâmetro importante na qualidade de maçãs, que influencia diretamente no período de armazenamento dos frutos (GWANPUA et al., 2012). A aplicação da AVG ou AVG+ANA nas plantas resultou em frutos com maior firmeza de polpa, comparado com os frutos de plantas tratadas com outros fitorreguladores (Figura 3b). Isso está relacionado com a baixa atividade da enzima ACC oxidase, concentração interna de etileno, produção de



**Figura 3.** Efluxo de eletrólitos (a), firmeza de polpa (b), acidez titulável (c), sólidos solúveis (d) e suculência após sete dias de vida de prateleira a 20°C (e) em maçã ‘Galaxy’ tratada com fitorreguladores. Barras com a mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% probabilidade de erro. ns: não significativo. \*Dose de Ethephon 0,48 L ha<sup>-1</sup>, nos outros tratamentos foram utilizados 0,16 L ha<sup>-1</sup>. \*\* AVG e ANA foram aplicados 15 dias antes da colheita, nos outros tratamentos, AVG foi aplicada 35 dias antes da colheita.

etileno e taxa respiratória nos frutos com esses fitorreguladores. A AVG inibe a síntese da enzima ACC sintase, necessária para que ocorra produção de etileno. O etileno atua na expressão e atividade de enzimas que degradam a parede celular (GOULAO et al., 2007; PAYASI et al., 2009; PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007) e, conseqüentemente, diminuem a firmeza de polpa. Outros trabalhos também verificaram maior firmeza de polpa com aplicação de AVG ou AVG+ANA (LI; YUAN, 2008; STEFFENS et al., 2006; YUAN; CARBAUGH, 2007; YUAN; LI, 2008). A combinação de ANA+Ethephon resultou na menor firmeza de polpa, o que está relacionado com a alta atividade da enzima ACC oxidase (Figura 2a) e produção de etileno (Figura 2c, d). Já, as plantas tratadas com ANA e Ethephon isolados, resultaram em frutos com menor firmeza de polpa comparado ao controle, mas não diferiram dos tratamentos com AVG+Ethephon e AVG+ANA+Ethephon. A menor firmeza de polpa dos frutos nos tratamentos com ANA e Ethephon comparado ao controle, está relacionado com a maior produção de etileno e taxa respiratória encontrada (Figura 2d, f). Steffens et al. (2006) não encontraram diferença na firmeza de polpa entre os tratamentos controle e Ethephon.

### 3.1.3.7 Acidez titulável, sólidos solúveis e suculência

A acidez titulável e sólidos solúveis são componentes qualitativos que conferem sabor aos frutos, influenciando na aceitabilidade pelo consumidor (HARKER et al., 2008). A aplicação com Ethephon, AVG+ANA, ANA+Ethephon (0,48 L ha<sup>-1</sup>), resultaram em acidez titulável mais elevada (Figura 3c). A maior acidez titulável verificada com AVG+ANA está relacionada com a baixa taxa respiratória dos frutos (Figura 2d, f). Com menor taxa respiratória, o consumo de ácidos orgânicos no ciclo de Krebs é reduzido (STEFFENS et al., 2007; TAIZ; ZEIGER, 2013). Por outro lado, alta acidez verificada nos frutos com Ethephon e ANA+Ethephon (0,48 L ha<sup>-1</sup>) pode estar relacionado com a solubilização de componentes da parede celular, como as pectinas, que são constituídas de ácido galacturônico, conferindo maior acidez ao suco (PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007). Brackmann et al. (2015) encontraram baixa acidez titulável com aplicação de AVG+ANA em maçãs 'Brookfield' e em maçã 'Gala' não houve diferença entre estes fitorreguladores (STEFFENS et al., 2006).

Com relação à avaliação dos sólidos solúveis, plantas tratadas com ANA+Ethephon (0,48 L ha<sup>-1</sup>), AVG+ANA (aplicados aos 15 DAC) e AVG+ANA+Ethephon resultaram em frutos com concentrações mais elevadas de sólidos solúveis (Figura 3d). Plantas tratadas com Ethephon e ANA+Ethephon (0,16 L ha<sup>-1</sup>), apresentaram frutos com teor de sólidos solúveis

intermediário. Frutos dos tratamentos com ANA, AVG, AVG+ANA (35 ou 15 DAC), AVG+Ethephon e controle resultaram em menor concentração de sólidos solúveis. Menor teor de sólidos solúveis foi verificado em maçã ‘Brookfield’ com aplicação de AVG e AVG+ANA, comparado ao controle e AVG+Ethephon (BRACKMANN et al., 2015).

A suculência é um parâmetro importante na preferência do consumidor, ou seja, frutos com maior suculência são preferidos pelos consumidores (DAILLANT-SPINLER et al., 1996; PÉNEAU et al., 2006). Nos tratamentos avaliados não houve diferença na porcentagem de suculência dos frutos (Figura 3e). Em todos os tratamentos os frutos apresentaram suculência acima de 75%.

### 3.1.4 Conclusões

A aplicação de AVG+ANA (35 e 15 DAC, respectivamente) em macieiras do cultivar ‘Galaxy’ foi mais eficiente na redução da queda de frutos do que a aplicação isolada de AVG ou ANA.

A aplicação com AVG isolada ou combinada com outros fitorreguladores não teve efeito sobre o retardamento do desenvolvimento da coloração vermelha da epiderme de maçãs ‘Galaxy’.

A aplicação de AVG e AVG+ANA (35 e 15 DAC, respectivamente) mantêm qualidade superior dos frutos durante a vida de prateleira, por diminuir a atividade da enzima ACC oxidase, concentração interna de etileno, produção de etileno, taxa respiratória, efluxo de eletrólitos e mantêm alta acidez e firmeza de polpa.

A aplicação de ANA isolado ou combinado com Ethephon diminui a qualidade dos frutos durante a vida de prateleira, por resultar em alta concentração interna de etileno, produção de etileno, taxa respiratória e maior perda de firmeza de polpa.

### 3.1.5 Referências bibliográficas

AMARANTE, C. V. T. do; STEFFENS, C. A.; BLUM, L. E. B. Coloração do fruto, distúrbios fisiológicos e doenças em maçãs ‘Gala’ e ‘Fuji’ pulverizadas com aminoetoxivinilglicina. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.32, n.1, p.9-18, mar. 2010.

AMARANTE, C. V. T. et al. Effect of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on preharvest fruit drop and maturity of apples. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, n.3, p.661-664, 2002.

ANTUNES, M. D. C., SFAKIOTAKIS, E. M. Changes in fatty acid composition and electrolyte leakage of 'Hayward' kiwifruit during storage at different temperatures. **Food Chemistry**, v.110, p.891-896, 2008.

ARSENEAULT, M. A., CLINE, J. A. A review of apple preharvest fruit drop and practices for horticultural management. **Scientia Horticulturae**, v.211, p.40-52, 2016.

AWAD, M. A.; JAGER, A. Formation of flavonoids, especially anthocyanin and chlorogenic acid in 'Jonagold' apple skin: influences of growth regulators and fruit maturity. **Scientia Horticulturae**, v.93, p.257-266, 2002.

BRACKMANN et al. Aminoethoxyvinylglycine: isolated and combined with other growth regulators on quality of 'Brookfield' apples after storage. **Scientia Agricola**, v.72, n.3, p.221-228, 2015.

BUFLER, G. Ethylene-promoted conversion of 1-aminocyclopropene-1-carboxylic acid to ethylene in peel of apple at various stages of fruit development. **Plant Physiology**, v.80, n.2, p.539-543, 1986.

BYERS, R. E. Effects of Aminoethoxyvinylglycine (AVG) on Preharvest Fruit Drop, Maturity, and Cracking of Several Apple Cultivars. **Journal of Tree Fruit Production**, v.2, n.1, p.77-97, 1997.

DAL CIN et al. 2008. Ethylene and preharvest drop: the effect of AVG and NAA on fruit abscission in apple (*Malus domestica* L. Borkh). **Plant Growth Regulation**, v.56, p.317-325, 2008.

DAILLANT-SPINNLER, B. et al. Relationships between perceived sensory properties and major preference directions of 12 varieties of apples from the Southern Hemisphere. **Fruit Quality and Preference**, p.113-126, 1996.

DRAKE, S. R. et al. Effects of Aminoethoxyvinylglycine, Ethephon, and 1-Methylcyclopropene on Apple Fruit Quality at Harvest and after Storage. **HortTechnology**, v.16, p.16-23, 2006.

GAGO, C. M. L. et al. Effect of harvest date and 1-MCP (SmartFresh™) treatment on 'Golden Delicious' apple cold storage physiological disorders. **Postharvest Biology and Technology**, v.110, p.77-85, 2015.

GOULAO, L. F. et al. Patterns of enzymatic activity of cell wall-modifying enzymes during growth and ripening of apples. **Postharvest Biology and Technology**, v.43, p.307-318, 2007.

GWANPUA, S. G. et al. Kinetic modeling of firmness breakdown in 'Braeburn' apples stored under different controlled atmosphere conditions. **Postharvest Biology and Technology**, v.67, p.68-74, 2012.

HARKER, F. R. et al. Eating quality standards for apples based on consumer preferences. **Postharvest Biology and Technology**, v.50, p.70-78, 2008.



KENDE, H. Ethylene biosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology, Plant Molecular Biology*, v.44, p.283-307, 1993.

LI, J.; YUAN, R. NAA and ethylene regulate expression of genes related to ethylene biosynthesis, perception, and cell wall degradation during fruit abscission and ripening in 'Delicious' apples. *Journal Plant Growth Regulation*, v.27, n.3 p.283-295, 2008.

LI, J.; ZHU, H.; YUAN, R. Profiling the expression of genes related to ethylene biosynthesis, ethylene perception, and cell wall degradation during fruit abscission and fruit ripening in apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.135, p.391-401, 2010.

MANNAPPERUMA, J. D.; SINGH, R. P.; MONTERO, M. E. Simultaneous gas diffusion and chemical reaction in foods stored in modified atmosphere. *Journal of Food Engineering*, v.14, p.167-183, 1991.

PETRI, J. L.; HAWERROTH, F. J.; LEITE, G. B. Maturação, qualidade e queda pré-colheita de maçãs 'Imperial Gala' em função da aplicação de aminoetoxivinilglicina. *Bragantia*, v.69, n.3, p.599-608, 2010.

PAYASI, A. et al. Biochemistry of fruit softening: an overview. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, v.15, p.103-113, 2009.

PÉNEAU, S. et al. Importance and consumer perception of freshness of apples. *Food Quality and Preference*, v.17, p.9-19, 2006.

PRASANNA, V.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Fruit Ripening Phenomena-An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.47, n.1, p.1-19, 2007.

PRE-AYMARD, C. et al. Responses of 'Anna', a rapidly ripening summer apple, to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, v.27, n.2, p.163-170, 2003.

SCHUPP, J. R.; GREENE, D. W. Effect of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on preharvest drop, fruit quality, and maturation of 'McIntosh' apples. I. Concentration and timing of dilute applications of AVG. *HortScience*, v.39, n.5, p.1030-1035, 2004.

SCOLARO, A. M. T. et al. Controle da maturação pré-colheita de maçãs 'Royal Gala' pela inibição da ação ou síntese do etileno. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.37, n.1, p.38-47, 2015.

STEFFENS, C. A. et al. Maturação da maçã 'Gala' com a aplicação pré-colheita de aminoetoxivinilglicina e ethephon. *Ciência Rural*, v.36, n.2, p.434-440, 2006.

STEFFENS, C. A. et al. Taxa respiratória de frutos de clima temperado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, n.3, p.313-321, 2007.

STEFFENS, C. A.; SESTARI, I.; BRACKMANN, A. Controle da queda pré-colheita de maçãs 'Gala' e 'Fuji' com aminoetoxivinilglicina e ethephon. *Revista Brasileira de Agrociência*, v.11, n.3, p.329-332, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*, 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

THEWES, F. R. et al. Effect of dynamic controlled atmosphere monitored by respiratory quotient and 1-methylcyclopropene on the metabolism and quality of 'Galaxy' apple harvested in three maturity stages. **Food Chemistry**, v.222, p.84-93, 2017.

UNRATH, C. R. et al. The effects of aminoethoxyvinylglycine and naphthaleneacetic acid treatments on abscission and firmness of 'Scarletspur Delicious' apples at normal and delayed harvests. **HortTechnology**, v.19, n.3, p.620-625, 2009.

WANG, Z.; DILLEY, D. R. Aminoethoxyvinylglycine, combined with ethephon, can enhance red color development without over-ripening apples. **HortScience**, v.36, n.2, p.328-331, 2001.

WHALE, S. K. et al. Fruit quality in 'Cripp's Pink' apple, especially colour, as affected by preharvest sprays of aminoethoxyvinylglycine and ethephon. **Scientia Horticulturae**, v.115, n.4, p.342-351, 2008.

YILDIZ, K.; OZTURK, B.; OZKAN, Y. Effects of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of 'Red Chief' apple. **Scientia Horticulturae**, v.144, n.1, p.121-124, 2012.

YANG, S. F.; HOFFMAN, N. E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.35, p.155-189, 1984.

YUAN, R.; CARBAUGH, D. H. Effects of NAA, AVG, and 1-MCP ethylene biosynthesis, preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of 'Golden Supreme' and 'Golden Delicious' apples. **HortScience**, v.42, n.1, p.101-105, 2007.

YUAN, R.; LI, J. Effect of spray-able 1-MCP, AVG, and NAA on ethylene biosynthesis, preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of 'Delicious' apples. **HortScience**, v.43, n.5, p.1454-1460, 2008.

ZHU, H.; BEERS, E. P.; YUAN, R. C. Aminoethoxyvinylglycine Inhibits Fruit Abscission Induced by Naphthalene acetic acid and Associated Relationships with Expression of Genes for Ethylene Biosynthesis, Perception, and Cell Wall Degradation in 'Delicious' Apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.133, n.6, p.727-734, 2008.

## 4 ARTIGO 2

### 4.1 AMINOETOXIVINILGLICINA ISOLADA OU COMBINADA COM OUTROS FITORREGULADORES EM PRÉ-COLHEITA E ARMAZENAMENTO EM ATMOSFERA CONTROLADA COM OU SEM APLICAÇÃO DE 1-METILCICLOPROPENO NA QUALIDADE DE MAÇÃ ‘GALAXY’

#### Resumo

O objetivo do trabalho foi verificar a eficácia da aplicação isolada ou combinada de AVG com outros fitorreguladores em pré-colheita na manutenção da qualidade de maçã ‘Galaxy’ armazenadas em AC ou em AC com aplicação de 1-MCP após oito meses de armazenamento mais sete dias de vida de prateleira a 20 °C. Foram conduzidos dois experimentos com frutos oriundos de plantas tratadas com fitorreguladores em pré-colheita. No experimento 1, os frutos foram armazenados apenas em AC e, no experimento 2, em AC com aplicação de 1-MCP (0,625  $\mu\text{L L}^{-1}$ ). A pressão parcial dos gases em AC, nos dois experimentos, foi de 1,2 kPa  $\text{O}_2$  + 2,0 kPa  $\text{CO}_2$ . Os tratamentos com fitorreguladores aplicados a campo foram: [1] Controle (água); [2] AVG (125 g  $\text{ha}^{-1}$ ); [3] AVG+ANA (20 g  $\text{ha}^{-1}$ ); [4] AVG+Ethephon (0,16 L  $\text{ha}^{-1}$ ) e [5] AVG+ANA+Ethephon. No armazenamento em AC, a aplicação em pré-colheita com AVG isolada ou combinada com ANA ou ANA+Ethephon, resultou em frutos com baixa produção de etileno e incidência de polpa farinácea, e maior firmeza de polpa e porcentagem de frutos sadios, comparado com o tratamento controle ou com AVG+Ethephon. A aplicação de 1-MCP nos frutos oriundos de plantas tratadas com AVG ou com AVG+ANA, reduziu a produção de etileno, a taxa respiratória, o efluxo de eletrólitos, a incidência de polpa farinácea e as podridões, e manteve maior firmeza de polpa e porcentagem de frutos, comparado ao tratamento controle ou com AVG+Ethephon. A aplicação combinada de AVG+ANA+Ethephon em pré-colheita e aplicação de 1-MCP em pós-colheita, resultou em frutos com baixa incidência de podridão, alta porcentagem de frutos sadios, mas com menor firmeza de polpa e maior incidência de polpa farinácea, comparado com os frutos dos tratamentos com AVG e AVG+ANA. Considerando o armazenamento em AC e AC+1-MCP, frutos oriundos de plantas tratados em pré-colheita com AVG e AVG+ANA apresentaram melhor conservação após oito meses de armazenamento mais sete dias a 20 °C.

**Palavras-chave:** *Malus domestica*. Aminoetoxivinilglicina. Etileno. Firmeza de polpa. Polpa farinácea.

## AMINOETHOXYVINYLGLYCINE ISOLATED OR COMBINED WITH OTHER GROWTH REGULATORS IN PRE-HARVEST AND STORAGE IN CONTROLLED ATMOSPHERE WITH OR WITHOUT 1-METILCICLOPROPENE APPLICATION ON THE QUALITY OF 'GALAXY' APPLE

### Abstract

The objective of this work was to verify the effectiveness of the isolated or combined application of AVG with other pre-harvest growth regulators in the maintenance of the 'Galaxy' apple stored in controlled atmosphere (CA) or in CA with application of 1-MCP after 8 months of storage plus 7 days of shelf life at 20 °C. Two experiments were carried out with fruits from plants treated with growth regulators in pre-harvest. In experiment 1, the fruit were stored only in CA and in experiment 2, in CA with application of 1-MCP (0.625  $\mu\text{L L}^{-1}$ ). The gas partial pressure of the CA in the two experiments was 1.2 kPa O<sub>2</sub> + 2.0 kPa CO<sub>2</sub>. The treatments with growth regulators applied to the field were: [1] Control (water); [2] AVG (125 g ha<sup>-1</sup>); [3] AVG+NAA (20 g ha<sup>-1</sup>); [4] AVG+Ethephon (0.16 L ha<sup>-1</sup>) and [5] AVG+NAA+Ethephon. In CA storage, pre-harvest application with AVG isolated or combined with NAA or NAA+Ethephon resulted in fruits with low ethylene production and mealiness incidence, and higher flesh firmness and percentage of healthy fruit, compared to the control treatment or with AVG+Ethephon. The application of 1-MCP in fruit from plants treated with AVG or with AVG+NAA reduced ethylene production, respiration rate, electrolyte leakage, mealiness and decay incidence, and maintained greater flesh firmness and percentage of healthy fruit, compared to the control treatment or with AVG+Ethephon. The combined application of AVG+NAA+Ethephon in pre-harvest and post-harvest 1-MCP application resulted in fruits with low decay incidence, high percentage of healthy fruit, but with lower flesh firmness and higher mealiness incidence, compared to the fruit of AVG and AVG+NAA treatments. Considering the storage in CA and AC+1-MCP, fruits from plants treated with AVG and AVG+NAA in pre-harvest presented better conservation after 8 months of storage plus 7 days at 20 °C.

**Keywords:** *Malus domestica*. Aminoethoxyvinylglycine. Ethylene. Flesh firmness. Mealiness.

#### 4.1.1 Introdução

A maçã é uma das frutas mais produzidas no mundo, ocupando a terceira colocação em 2014, com cerca de 84,6 milhões de toneladas produzidas. (FAOSTAT, 2014). No Brasil está entre as dez frutas mais produzidas, alcançando uma produção de 1,1 milhões de toneladas na safra 2014/2015 (KIST et al., 2015). Porém, essa produção poderia ser maior, se a perda de frutos no campo fosse diminuída.

A principal causa de perda em pré-colheita de maçãs ‘Gala’ e mutantes é a queda de frutos, que ocorre antes do fruto completar seu crescimento final (SCOLARO et al., 2015). No Brasil, os principais fatores que influenciam a perda de frutos são o cultivo de poucas variedades, o período curto de colheita (quatro meses), a baixa disponibilidade de mão de obra para realizar a colheita manual e a rápida maturação, característica da maçã ‘Gala’ (ARGENTA, 1992). Esses fatores, além de contribuir para a perda de frutos, também contribuem para a perda de qualidade dos frutos, que são colhidos após o ponto de maturação ideal, reduzindo a vida pós-colheita e consequentemente, o período de armazenamento (ARGENTA; MONARDO, 1994; BRACKMANN et al., 2002).

Para diminuir esses problemas, os produtores utilizam fitorreguladores para retardar a queda de frutos e a maturação, com isso conseguem aumentar o período de colheita e otimizar a mão de obra disponível. Um dos fitorreguladores mais empregados, é a (AVG), que inibe a síntese do etileno (YANG; HOFFMAN, 1984), fito-hormônio que promove a maturação dos frutos e aumenta a síntese de enzimas responsáveis pela abscisão de frutos (GOULAO et al., 2007; LI; ZHU; YUAN, 2010; PAYASI et al., 2009; PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007). Vários trabalhos relatam menor queda de frutos com a aplicação de AVG (AGLAR et al., 2016; PETRI; HAWERROTH; LEITE, 2010; YUAN; LI, 2008; YILDIZ; OZTURK; OZKAN, 2012), maior firmeza da polpa e menor produção de etileno (PETRI; HAWERROTH; LEITE, 2010; SCOLARO et al., 2015; YILDIZ; OZTURK; OZKAN, 2012;). Porém, retarda o desenvolvimento da coloração vermelha da epiderme em maçã ‘Gala’ (STEFFENS et al., 2006), e ‘Cripp’s Pink’ (WHALE et al., 2008).

Outro fitorregulador utilizado é o ácido naftaleno acético (ANA), uma auxina sintética que diminui a queda de frutos (LI; YUAN, 2008; YUAN; LI, 2008). No entanto, aumenta a produção de etileno e o amadurecimento dos frutos (LI; YUAN, 2008; SCHUPP; GREENE, 2004). Com objetivo de adiantar a maturação e a colheita, os produtores aplicam ácido 2-cloro-etil-fosfônico (Ethephon). Trabalhos verificaram que o Ethephon também favorece o desenvolvimento da coloração vermelha em maçã (STEFFENS et al., 2006; WANG; DILLEY,

2001). Porém, a aplicação de Ethephon aumenta o metabolismo do fruto e diminui a firmeza de polpa (DRAKE et al., 2006; STEFFENS et al., 2006).

A aplicação associada desses fitorreguladores pode ser uma alternativa para reduzir as perdas em pré-colheita. Trabalhos verificaram que a aplicação de AVG+ANA reduziu mais a queda de frutos do que a aplicação isolada (YUAN; CARBAUGH, 2007; YUAN; LI, 2008). Steffens et al. (2006), verificaram que o Ethephon anulou o efeito da AVG sobre o retardo no desenvolvimento da coloração vermelha da epiderme.

Devido à produção de maçã estar concentrada num curto período, é necessário armazenar grande parte da produção, para ofertar a fruta durante todo o ano. A principal forma de armazenamento empregada no Brasil é a atmosfera controlada, que tem como características, a utilização de baixas pressões parciais de O<sub>2</sub> e altas de CO<sub>2</sub>, além de baixas temperaturas e alta umidade relativa (BRACKMANN et al., 2008, 2009b; WEBER et al., 2013). Essa técnica, permite prolongar o período de armazenamento em até oito meses, porém, durante esse período podem ocorrer perdas consideráveis, como a perda de firmeza da polpa; aumento de distúrbios fisiológicos e podridões (BRACKMANN et al., 2008; WEBER et al., 2013).

Uma forma de diminuir as perdas em pós-colheita, é a aplicação do 1-metilciclopropeno (1-MCP), fitorregulador que bloqueia a ação do etileno, através da ligação irreversível ao seu receptor (BLANKENSHIP; DOLE, 2003; SISLER; SEREK, 1997; WATKINS, 2006). A aplicação de 1-MCP reduz a perda da firmeza de polpa dos frutos (BRACKMANN et al., 2013; WATKINS; NOCK, 2012), reduz a taxa respiratória (WATKINS; NOCK, 2012) e incidência de polpa farinácea (BRACKMANN et al., 2014). Por outro lado, o 1-MCP aumenta a ocorrência de distúrbios fisiológicos (ARGENTA et al., 2010; NOCK; WATKINS, 2013).

A aplicação de fitorreguladores no campo pode auxiliar ou prejudicar a manutenção da qualidade dos frutos armazenados. Trabalhos avaliando o efeito desses fitorreguladores em pós-colheita, principalmente em maçã 'Galaxy' são raros na literatura. Em pós-colheita, o uso isolado ou combinado de AVG com ANA ou 1-MCP em maçã 'Brookfield' resultou em baixa incidência de polpa farinácea e alta porcentagem de frutos sadios (BRACKMANN et al., 2015). Os mesmos autores verificaram maior porcentagem de frutos sadios no tratamento com AVG+Ethephon comparado ao controle (sem fitorregulador). Em maçãs 'Gala', a aplicação isolada de AVG ou combinada com Ethephon, resultou em frutos com maior firmeza de polpa, menor ocorrência de podridões e distúrbios fisiológicos, mas Ethephon isolado aumentou a podridão após o armazenamento (STEFFENS et al., 2005). AVG isolado diminuiu a incidência de podridão, degenerescência e manteve maior firmeza de polpa (BRACKMANN et al., 2009a).

Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi verificar a eficácia da aplicação isolada ou combinada de aminoetoxivinilglicina (AVG) com outros fitorreguladores em pré-colheita na manutenção da qualidade de maçã ‘Galaxy’ armazenadas em AC e AC mais a aplicação de 1-MCP após oito meses de armazenamento mais sete dias de vida de prateleira a 20 °C.

#### 4.1.2. Material e métodos

##### 4.1.2.1 Material experimental e preparo das amostras

O experimento foi conduzido em duas etapas, a primeira etapa foi conduzida à campo, em um pomar comercial, localizado no município de Vacaria-RS. Fitorreguladores foram aplicados em plantas da maçã ‘Galaxy’, enxertadas sobre o porta-enxerto M9, com uma densidade de 3.571 plantas ha<sup>-1</sup>. Os fitorreguladores aplicados foram: AVG, produto comercial Retain<sup>®</sup> (Valent BioScience, USA, 15% de ingrediente ativo - i.a.); ANA (Fruitone<sup>®</sup>, AMVAC Chemical Corporation, USA, 80% i.a.) e Ethephon, Ethrel<sup>®</sup> (Bayer Crop Science, Germany, 24% de i.a.). Junto com a aplicação de AVG, foi usado um espalhante adesivo não iônico, produto comercial Break-Thru<sup>®</sup> (Evonik Degussa Brasil Ltda), na dose 0,1%. A aplicação dos fitorreguladores foi realizada com auxílio de um turbo atomizador com capacidade de 2.000 L acoplado a um trator. O volume da calda utilizada foi de 1.000 L ha<sup>-1</sup>. O experimento foi conduzido no delineamento blocos ao acaso com quatro repetições, com oito plantas por repetição. Foram aplicados cinco tratamentos conforme tabela 1.

Tabela 1 - Tratamentos, momento da aplicação e dose de fitorreguladores em maçã ‘Galaxy’

Tratamento	Aplicação (dias antes da colheita) *	Dose (i.a.)
Controle	15	Aplicação de água
AVG	35	125 g ha <sup>-1</sup>
AVG+ANA	35+15	125 g ha <sup>-1</sup> + 20 g ha <sup>-1</sup>
AVG+Ethephon	35+15	125 g ha <sup>-1</sup> + 0,16 L ha <sup>-1</sup>
AVG+ANA+Ethephon	35+15+15	125 g ha <sup>-1</sup> + 20 g ha <sup>-1</sup> + 0,16 L ha <sup>-1</sup>

\*Os fitorreguladores foram aplicados em tanque separado, sem mistura de tanque.

A segunda etapa do experimento foi realizada no Núcleo de Pesquisa em Pós-colheita da Universidade Federal de Santa Maria (NPP/UFSM). Os frutos foram colhidos e transportados para o NPP/UFSM. No dia seguinte foi realizada a seleção dos frutos, eliminando

aqueles com danos mecânicos e sintomas de doenças. Após, foram formadas amostras experimentais de 25 frutos, totalizando 100 frutos por tratamento, divididos em quatro repetições. Uma amostra de 25 frutos foi submetida à análise inicial (Tabela 2). Os frutos dos cinco tratamentos de campo foram armazenados em AC (Experimento 1) e AC+1-MCP (Experimento 2), ambos na pressão parcial de 1,2 kPa O<sub>2</sub> + 2,0 kPa CO<sub>2</sub>.

Tabela 2 – Características físico-químicas na análise dos frutos após a colheita

Variável	Unidade	Tratamentos				
		Controle	AVG	AVG+ ANA	AVG+ ETH	AVG+ANA+ ETH
Taxa respiratória	µg kg <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>	6,15	5,30	5,27	5,63	6,02
Produção de etileno	ng kg <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>	0,28	0,12	0,12	0,31	0,26
Firmeza de polpa	N	61,44	67,10	64,86	58,42	57,92
Acidez titulável	meq 100 mL <sup>-1</sup>	3,89	3,96	4,09	3,74	3,76
Sólidos solúveis	°Brix	11,00	11,05	10,90	11,08	12,18
ACC oxidase	ng kg <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>	76,86	33,66	77,49	101,53	98,86

#### 4.1.2.2 Instalação e manutenção da atmosfera controlada

Os frutos foram armazenados durante oito meses em minicâmaras de 230 L, alocadas em câmara frigorífica de 45 m<sup>3</sup>, à temperatura de 1,5 ± 0,1 °C. No primeiro dia do armazenamento, a temperatura foi reduzida até 5 °C, e nos quatro dias seguintes a temperatura foi reduzida 1 °C por dia, até chegar à temperatura final (1,5°C). Em seguida, foi instalada a AC para os dois experimentos. A pressão parcial de O<sub>2</sub> de 1,2 kPa foi obtida por varredura do O<sub>2</sub> com N<sub>2</sub>. No primeiro dia, a pressão parcial de O<sub>2</sub> foi reduzida até 5,0 kPa, e nos cinco dias seguintes o O<sub>2</sub> foi reduzido 1,0 kPa por dia até chegar à pressão parcial de O<sub>2</sub> de 1,2 kPa. A pressão parcial de CO<sub>2</sub> foi obtida pelo acúmulo de CO<sub>2</sub> na minicâmara oriundo da respiração celular.

A determinação e correção dos gases foi realizada com auxílio de um sistema de controle automático (Valis<sup>®</sup>, Lajeado, RS, Brasil) ligado a um analisador de gases (Siemens, Ultramat, Alemanha). O equipamento realizava a medição e correção de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, comparando a leitura com a pressão parcial pré-estabelecida para o ensaio. Se o CO<sub>2</sub> estava acima do set point, o ar da câmara era circulado através de um reservatório de cal que absorvia o CO<sub>2</sub> e se o O<sub>2</sub> estava abaixo, era injetado O<sub>2</sub> no sistema. Durante o armazenamento, o analisador de gases foi calibrado a cada duas semanas com um gás padrão.



#### 4.1.2.3 Temperatura e umidade relativa

A temperatura de armazenamento foi mantida a  $1,5 \pm 0,1$  °C durante todo o período de armazenamento, com exceção dos primeiros cinco dias, quando a temperatura foi gradualmente reduzida, simulando o que ocorre em uma câmara frigorífica comercial. Durante o armazenamento, a temperatura foi monitorada com auxílio de termostatos eletrônicos. O acompanhamento foi realizado diariamente com um termômetro de mercúrio inserido na polpa de um fruto. A umidade relativa do ar no interior das minicâmaras foi mantida em  $94 \pm 1\%$  e monitorada diariamente com ajuda de um psicrômetro.

#### 4.1.2.4 Aplicação de 1-MCP

Os frutos foram acondicionados em uma minicâmara de 230 L, que estava dentro de uma câmara frigorífica, com temperatura de  $(1,5 \pm 0,1$  °C). Foi preparada uma solução de  $0,625 \mu\text{L L}^{-1}$  de 1-MCP (SmartFresh<sup>®</sup>, 0,14% ingrediente ativo). Logo em seguida, a solução foi colocada em uma placa de Petri, que estava dentro da minicâmara, que foi imediatamente fechada hermeticamente, permanecendo fechada durante 24 horas. Durante esse período o ar da minicâmara foi movimentado com um microventilador, para homogeneizar a ação do 1-MCP. Após 24 horas, os frutos foram retirados da minicâmara e armazenados em AC.

#### 4.1.2.5 Metabolismo e análises de qualidade

As análises das variáveis físico-químicas foram realizadas após oito meses de armazenamento seguido de sete dias de vida de prateleira à temperatura de  $20 \pm 2$  °C e umidade relativa de  $80 \pm 2\%$ .

##### 4.1.2.5.1 Atividade da enzima ACC oxidase

Foi determinada de acordo com metodologia desenvolvida por Bufler (1986). Os resultados foram expressos em  $\text{ng C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .

##### 4.1.2.5.2 Produção de etileno

Determinada pelo acondicionamento de aproximadamente 1,5 kg de frutos em um frasco de 5 L, o qual foi fechado hermeticamente durante uma hora. Após este tempo, duas

amostras de ar com 1 mL foram retiradas do frasco e injetadas em um cromatógrafo a gás da marca Varian® (modelo Star CX3400, Palo Alto, CA, USA), equipado com detector de ionização por chama (FID) e coluna Porapak N80/100. As temperaturas da coluna, do injetor e do detector foram de 90, 140 e 200 °C, respectivamente. Os resultados foram expressos em  $\text{ng C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .

#### 4.1.2.5.3 Taxa respiratória

A taxa respiratória dos frutos foi expressa através da liberação de  $\text{CO}_2$ . Aproximadamente 1,5 kg de frutos foram acondicionados em um frasco de 5 L e fechado hermeticamente durante uma hora. Após este período, o ar do frasco foi circulado através de um analisador eletrônico de gases (Isolcell Itália, modelo Oxycarb 6), o qual determinou a concentração de  $\text{CO}_2$  no ar. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{g CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ .

#### 4.1.2.5.4 Concentração interna de etileno

Foi retirado o ar de fatias de frutos de acordo com a metodologia proposta por Mannapperuma et al. (1991). Foram retiradas duas amostras de 1 mL desse ar e injetadas no mesmo cromatógrafo utilizado para determinação da produção de etileno (item 3.1.2.2.4). Os resultados foram expressos em  $\mu\text{g L}^{-1}$  de ar extraído das fatias.

#### 4.1.2.5.5 Efluxo de eletrólitos

Determinação realizada de acordo com Gago et al. (2015), com modificações. Foram retirados 10 discos da polpa de 10 frutos, com diâmetro de 7 mm e espessura de 5 mm. Os discos foram excisados da região do córtex. Posteriormente, os discos foram imersos em um tubo falcon com 25 mL de água destilada, e deixadas durante uma hora, expostas a  $20 \pm 1$  °C. Após, foi determinada a condutividade elétrica da solução. Em seguida, a amostra foi fervida durante 30 min e posteriormente resfriada até 20 °C. Logo em seguida, foi medido o efluxo de eletrólitos novamente. Os resultados foram expressos em porcentagem.

#### 4.1.2.5.6 Polpa farinácea

Todos os frutos de cada repetição foram cortados ao meio, na região equatorial, sendo avaliados pela análise visual e através da pressão do dedo polegar, que facilmente formava uma

depressão na polpa dos frutos que apresentavam o sintoma de aspecto farinhento. Resultados foram expressos em porcentagem total de frutos com polpa farinácea.

#### 4.1.2.5.7 Degenerescência de polpa

Todos os frutos de cada repetição foram cortados ao meio, na região equatorial. Em seguida, as duas metades foram analisadas visualmente, quanto a presença de qualquer mancha escurecida na polpa, característica desse distúrbio. Os resultados foram expressos em porcentagem total de frutos com degenerescência de polpa.

#### 4.1.2.5.8 Podridão e podridão carpelar

A podridão foi determinada pela contagem de frutos com presença de qualquer sintoma de infecção por fungos na epiderme, com diâmetro maior que 5 mm. Resultados foram expressos em porcentagem total de frutos com podridão.

A incidência de podridão carpelar foi avaliada, cortando os frutos ao meio e analisando visualmente a presença do sintoma de podridão na região carpelar. Os dados foram expressos em porcentagem.

#### 4.1.2.5.9 Frutos sadios

Determinada pela diferença entre o número total de frutos por repetição (25 frutos) e o número total de frutos com algum sintoma de podridão carpelar, podridão, polpa farinácea e degenerescência de polpa. Os resultados foram expressos em porcentagem de frutos sadios.

#### 4.1.2.5.10 Firmeza de polpa

Foi determinado com auxílio de um penetrômetro, com ponteira de 11 mm de diâmetro. A ponteira foi inserida em dois lados opostos da polpa, na região equatorial dos frutos, onde previamente a epiderme havia sido removida. Os resultados foram expressos em Newton (N).

#### 4.1.2.5.11 Sólidos solúveis

Foi extraído uma amostra de suco dos 25 frutos de cada repetição, com um extrator de suco (Philips Walita®). Três gotas de suco foram colocadas sobre o prisma do refratômetro para a determinação do teor de sólidos solúveis. Resultados foram expressos em °Brix.

#### 4.1.2.5.12 Acidez titulável

Determinada com a mesma amostra de suco extraída para determinação de sólidos solúveis. Foi realizada a titulação, com NaOH a 0,1N, de uma solução de 10 mL de suco diluídos em 100 mL água destilada até pH 8,1. Resultados foram expressos em meq 100 mL<sup>-1</sup>.

#### 4.1.2.5.13 Suculência

Determinada de acordo com a metodologia proposta por Lunardi et al. (2004). Para isso, 20 g de polpa foram excisados de 10 frutos. A amostra foi prensada durante 1 minuto numa prensa pneumática de 1.500 kg desenvolvida no NPP/UFSM. A quantidade de suco foi obtida pela diferença do peso inicial da amostra (20 g) e o peso final (após a prensagem). A suculência foi expressa em porcentagem.

#### 4.1.2.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade de erro. Os dados expressos em porcentagem foram previamente transformados pela fórmula  $\text{arc. sen } \sqrt{(x + 0,5)/100}$ , para posteriormente serem submetidas a análise estatística.

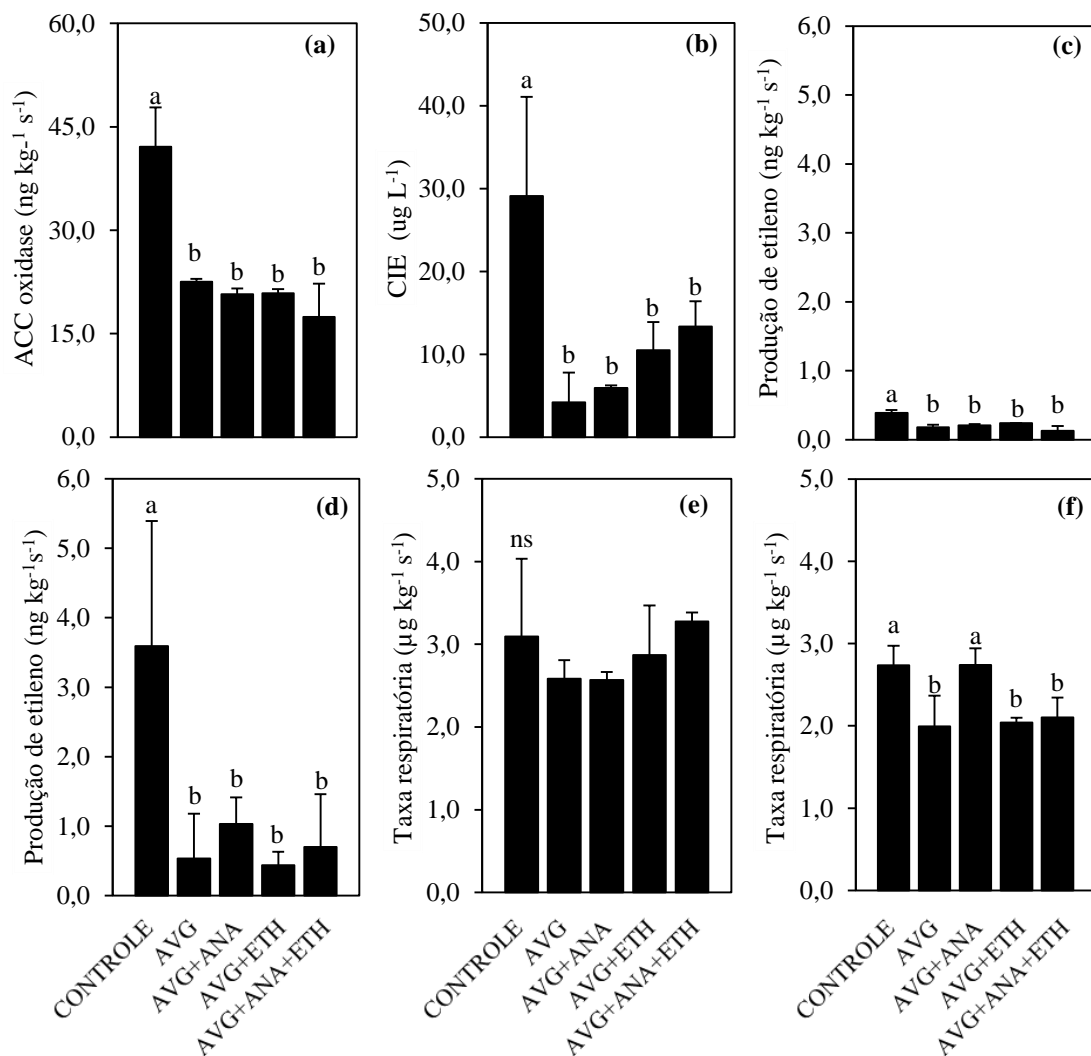
### 4.1.3 Resultados e discussão

#### 4.1.3.1 Experimento 1 - Armazenamento em atmosfera controlada

Após oito meses de armazenamento em AC mais sete dias de vida de prateleira a 20 °C, os frutos foram submetidos às análises físico-químicas.

##### 4.1.3.1.1 ACC oxidase, concentração interna de etileno, produção de etileno e taxa respiratória

A ACC oxidase é uma enzima chave na produção de etileno, pois converte o ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) em etileno. A atividade dessa enzima é fundamental para produção de etileno, hormônio que desencadeia o processo de maturação e amadurecimento de frutos (YANG; HOFFMANN, 1984). Frutos do tratamento controle apresentaram maior atividade da enzima ACC oxidase, diferindo dos demais tratamentos (Figura 1a). Em maçãs ‘Brookfield’, também foi verificada maior atividade da enzima ACC oxidase



**Figura 1.** Atividade da enzima ACC oxidase (a) e concentração interna de etileno (CIE) após sete dias de vida de prateleira a 20 °C, (b) produção de etileno na saída da câmara (c) e após sete dias de vida de prateleira a 20 °C (d), taxa respiratória na saída da câmara (e) e após sete dias de vida de prateleira a 20 °C (f) de maçã ‘Galaxy’ tratadas com fitorreguladores em pré-colheita e armazenada em AC durante oito meses. Controle: apenas aplicação de água 15 dias antes da colheita. AVG: aplicada 35 dias antes da colheita. ANA: aplicação de auxina e Ethephon (ETH) 15 dias antes da colheita. Barras com a mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

no tratamento sem aplicação de fitorreguladores, comparado aos frutos tratados com AVG ou AVG+Ethephon (BRACKMANN et al., 2015). A aplicação de fitorreguladores reduziu a atividade da enzima ACC oxidase, independentemente dos fitorreguladores usados. A baixa atividade da enzima ACC oxidase verificada nos tratamentos com AVG comparado com o controle, está relacionado com a inibição da enzima ACC sintase causada pela AVG (ADAMS; YANG, 1979; YUAN; LI, 2008), que é necessário para a produção de ACC, o qual é o substrato da enzima ACC oxidase (YANG; HOFFMANN, 1984).

A concentração interna de etileno foi menor nos frutos dos tratamentos com aplicação de fitorreguladores, comparado ao tratamento controle (Figura 1b). Este resultado está relacionado com a menor atividade da enzima ACC oxidase encontrada nos frutos desses tratamentos (Figura 1b). Também foi verificado maior concentração interna de etileno sem aplicação de fitorregulador em maçã ‘Gala’ e ‘Jonagold’ (WANG; DILLEY, 2001) e ‘Brookfiled’ (BRACKMANN et al., 2015).

O etileno desencadeia diversas alterações nos frutos, sendo que a baixa produção de etileno durante e após o armazenamento são importantes para a manutenção da qualidade da maçã. Todos os tratamentos com fitorreguladores resultaram em menor produção de etileno nos frutos, tanto na saída da câmara como após sete dias de vida de prateleira a 20 °C, comparado ao tratamento controle (Figura 1c, d). Esse resultado está relacionado com a menor atividade da enzima ACC oxidase e menor concentração interna de etileno verificada nos frutos desses tratamentos (Figura 1a, b). Menor produção de etileno também foi verificado em maçãs ‘Gala’, tratadas com AVG e AVG+Ethephon (STEFFENS et al., 2005) e em maçã ‘Brookfield’ com aplicação AVG, AVG+ANA e AVG+Ethephon (BRACKMANN et al., 2014; 2015).

O metabolismo do fruto pode ser avaliado pela taxa respiratória, que varia de acordo com o estágio de amadurecimento dos frutos (FONSECA; OLIVEIRA; BRECHT, 2002; STEFFENS et al., 2007). Com relação à taxa respiratória, não houve diferença significativa entre os frutos dos tratamentos avaliados na saída da câmara (Figura 1e). Porém, após sete dias de vida de prateleira a 20 °C, os frutos do tratamento controle ou àqueles tratados com AVG+ANA apresentaram maior taxa respiratória, diferindo significativamente dos demais tratamentos (Figura 1f). Brackmann et al. (2015) verificaram menor produção de etileno aos seis dias de vida de prateleira a 20 °C com AVG+ANA comparado aos frutos do controle. Frutos dos tratamentos AVG, AVG+Ethephon ou AVG+ANA+Ethephon resultaram em menor taxa respiratória aos sete dias de vida de prateleira a 20 °C. Resultados semelhantes foram observados em outros trabalhos (BRACKMANN et al., 2014, 2015; STEFFENS, et al., 2005).

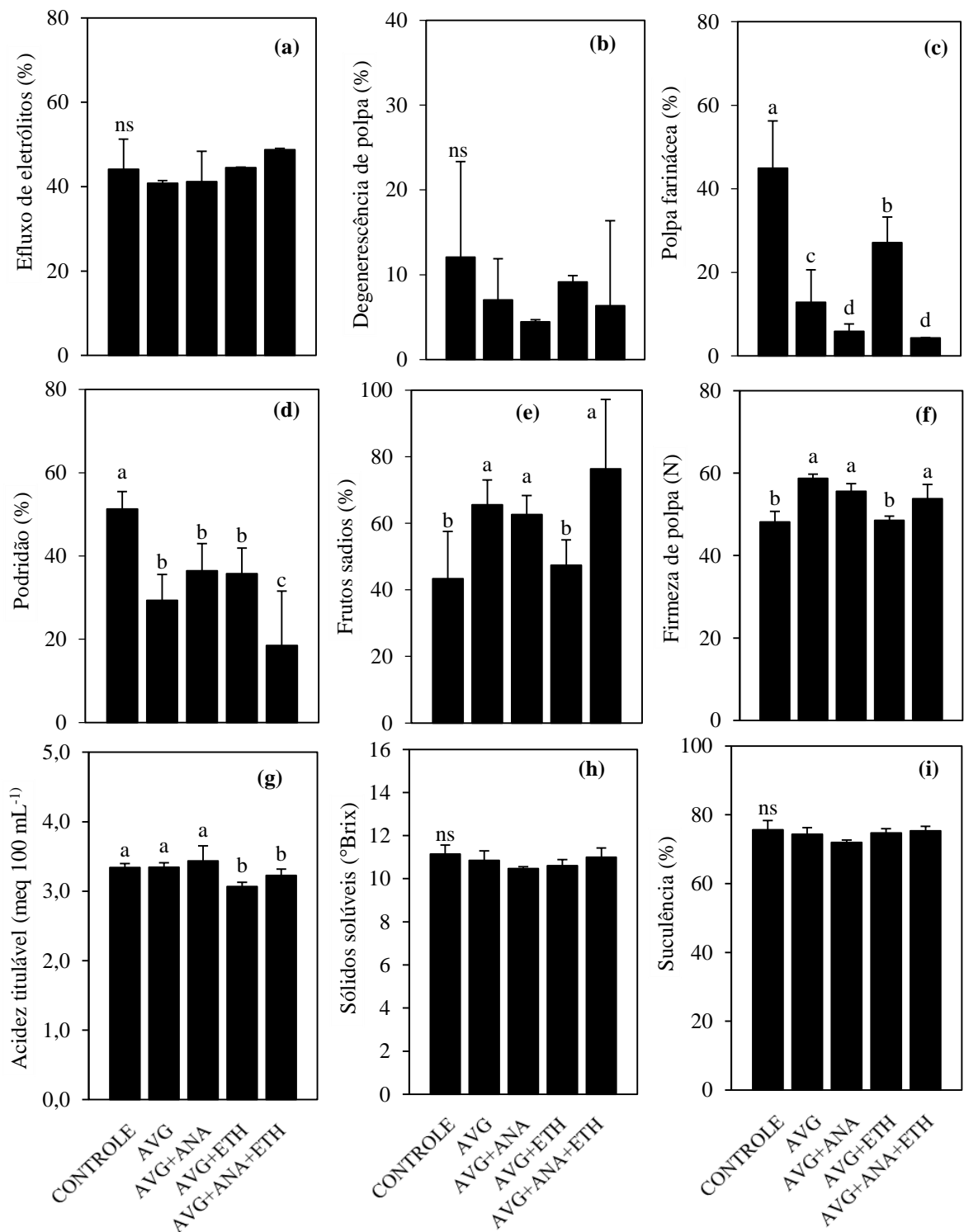
#### 4.1.3.1.2 Efluxo de eletrólitos, degenerescência de polpa e polpa farinácea

A análise do efluxo de eletrólitos é um bom indicador da integridade da membrana celular (GAGO et al., 2015). Porém, nesse trabalho não houve diferença entre os tratamentos avaliados (Figura 2a). A ocorrência de degenerescência de polpa nos frutos também não apresentou diferença significativa entre os frutos dos tratamentos avaliados (Figura 2b).

A incidência de polpa farinácea é um distúrbio comum em maçãs do grupo ‘Gala’ armazenadas em AC (BRACKMANN et al., 2008). Esse distúrbio é caracterizado pela presença de aspecto farináceo na polpa, que ocorre devido à degradação das pectinas que constituem a lamela média (BRUMMELL, 2006; GOULAO et al., 2007; PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007), com isso ocorre a separação das células, originando a textura farinácea. Esse sintoma ocorre principalmente nos frutos colhidos em estágio de maturação avançado (THEWES et al., 2017). A maior incidência de polpa farinácea foi encontrada nos frutos do tratamento controle. Isso está relacionado com alta atividade da enzima ACC oxidase, concentração interna de etileno e produção de etileno verificada nos frutos desse tratamento (Figura 1a, b, c, d). O etileno atua na expressão e atividade de enzimas que degradam a parede celular (PAYASI et al., 2009; PRASSANA; PRABHA; THARANATHAN, 2007). Outros trabalhos também verificaram maior incidência de polpa farinácea sem aplicação de fitorreguladores (BRACKMANN et al., 2014; 2015; STEFFENS et al., 2005). A aplicação de AVG+ANA ou AVG+ANA+Ethephon resultou na menor incidência de polpa farinácea. Já, quando a AVG foi aplicada isolada ou combinada com Ethephon, ocorreu maior incidência do distúrbio. Isto mostra que ocorreu uma resposta sinérgica entre os fitorreguladores AVG+ANA ou AVG+ANA+Ethephon. Brackmann et al. (2015) também verificaram menor incidência de polpa farinácea em maçã ‘Galaxy’ com aplicação de AVG+ANA, comparado a AVG isolada ou combinada com Ethephon. Portanto, a aplicação combinada desses fitorreguladores é uma alternativa para redução desse distúrbio em pós-colheita.

#### 4.1.3.1.3 Podridão e frutos sadios

Podridão é a maior causa de perda de frutos durante o armazenamento (CORRENT et al., 2009). A ocorrência de podridões pode aumentar devido ao manejo fitossanitário deficiente no campo, estágio de maturação avançado dos frutos (STEFFENS et al., 2005; VILANOVA et al., 2012) e danos mecânicos (VILANOVA et al., 2014). A incidência de podridão foi maior em frutos oriundos de plantas do tratamento controle, com diferença significativa em relação



**Figura 2.** Efluxo de eletrólitos (a) degenerescência de polpa (b), polpa farinácea (c), podridão (d) frutos sadios (e), firmeza de polpa (f), acidez titulável (g), sólidos solúveis (h) suculência (i) após sete dias de vida de prateleira a 20 °C em maçã ‘Galaxy’ tratada com fitoreguladores em pré-colheita e armazenada em AC durante oito meses. Controle: apenas aplicação de água, 15 dias antes da colheita. AVG: aplicada 35 dias antes da colheita. ANA: aplicação de auxina e Etephon (ETH) 15 dias antes da colheita. Barras com a mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.



aos outros tratamentos avaliados (Figura 2d). Isso pode estar relacionado com o estágio avançado de amadurecimento desses frutos, que é confirmado pela alta produção de etileno e alta incidência de polpa farinácea nos frutos (Figura 1d, 2c). Frutos em estágio avançado de amadurecimento apresentam menor quantidade de lignina na parede celular, conferindo menor resistência celular contra à infecção causada por fungos (VILANOVA et al., 2012, 2014).

Frutos dos tratamentos com AVG, AVG+ANA ou AVG+Ethephon apresentaram uma incidência intermediária de podridão, já a aplicação combinada de AVG+ANA+Ethephon resultou na menor incidência de podridão. Esse resultado mostra que, possivelmente ocorreu uma interação entre os três fitorreguladores, resultando em frutos mais tolerantes às infecções fúngicas. Steffens et al. (2005) verificaram menor ocorrência de podridão em maçã ‘Gala’ com a aplicação de AVG ou com AVG+Ethephon, comparados ao tratamento controle. No entanto, Brackmann et al. (2015) não encontraram diferença na ocorrência de podridões em maçãs ‘Brookfield’ entre os tratamentos avaliados (controle, AVG, AVG+Ethephon ou AVG+ANA). Não houve diferença entre os tratamentos para a podridão carpelar (dados não apresentados).

A menor incidência de podridão nos frutos do tratamento com AVG+ANA+Ethephon, resultou na maior porcentagem de frutos sadios (76,33%), mas sem diferença significativa para os frutos dos tratamentos com AVG ou AVG+ANA (Figura 2e). A maior porcentagem de frutos sadios também está relacionada com a baixa incidência de polpa farinácea (Figura 2c). Por outro lado, frutos do tratamento controle ou com AVG+Ethephon apresentaram menor porcentagem de frutos sadios, que está relacionado com a alta incidência de polpa farinácea (Figura 2c, d). Em maçã ‘Brookfield’ também ocorreu menor porcentagem de frutos sadios no tratamento controle e AVG+Ethephon comparado com AVG e AVG+ANA (BRACKMANN et al., 2015).

#### 4.1.3.1.4 Firmeza de polpa, acidez titulável, sólidos solúveis e suculência

A firmeza de polpa está relacionada com o estágio de amadurecimento do fruto. Concluiu-se que a firmeza de polpa é o principal atributo considerado na preferência do consumidor de maçã (HARKER et al., 2008). Frutos oriundos de plantas tratadas com AVG, AVG+ANA ou AVG+ANA+Ethephon apresentaram maior firmeza de polpa, diferindo dos tratamentos controle ou AVG+Ethephon (Figura 2f). A maior firmeza de polpa está relacionada com a menor incidência de polpa farinácea verificada nesses frutos (Figura 2c). A maior firmeza de polpa é atribuída à menor degradação da parede celular (GOULAO et al., 2007; PAYASI et al., 2009; PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007). Em maçã ‘Gala’ a aplicação de

AVG ou AVG+Ethephon resultou em firmeza de polpa semelhante, mas diferiu do tratamento sem aplicação de fitorregulador (STEFFENS et al., 2005; WANG; DILLEY, 2001). Por outro lado, Brackmann et al. (2015) verificaram menor firmeza de polpa em frutos tratados com AVG+Ethephon e controle, comparado com AVG ou AVG+ANA. A aplicação com AVG também manteve maior firmeza de polpa em pêsego (AMARANTE et al., 2005) e nectarina (BYERS, 1997).

Frutos dos tratamentos com AVG, AVG+ANA e controle apresentaram maior acidez titulável (Figura 2g). Por outro lado, frutos com AVG+Ethephon e AVG+ANA+Ethephon apresentaram baixa acidez titulável. Brackmann et al. (2015) verificaram maior acidez titulável com AVG, comparado a AVG+ANA, AVG+Ethephon e controle em maçã 'Brookfield'. A maior acidez titulável verificada nos frutos com AVG e AVG+ANA, pode estar relacionado com o menor consumo de ácidos orgânicos durante o armazenamento, com isso, acumulando mais no fruto. Por outro lado, alta acidez verificada nos frutos do tratamento controle, pode estar relacionado com a maior solubilização de componentes da parede celular, como as pectinas, que são constituídas por grande quantidade de ácido galacturônico, que confere maior acidez ao suco (PAYASI et al., 2009; PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007).

Não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados, para as variáveis sólidos solúveis e suculência, onde a média dos tratamentos para sólidos solúveis foi de 10,81°Brix e suculência de 74,40%. Em maçã 'Brookfield' o teor de sólidos solúveis foi maior com aplicação de AVG+Ethephon e sem aplicação, comparado com AVG e AVG+ANA (BRACKMANN et al., 2015).

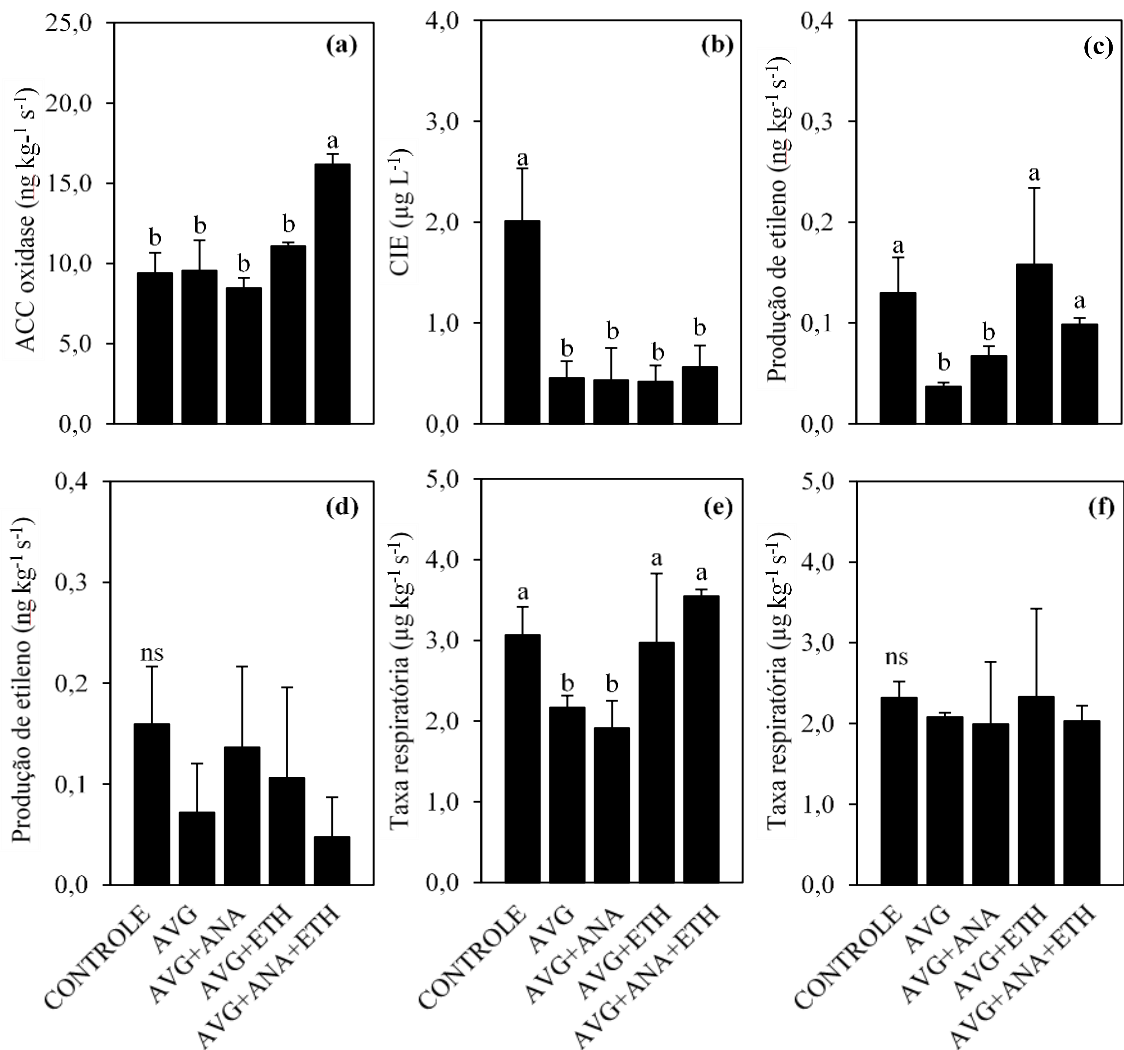
#### *4.1.3.2 Experimento 2 – Armazenamento em atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP*

Após oito meses de armazenamento em AC com aplicação de 1-MCP mais sete dias de vida de prateleira a 20 °C, os frutos foram submetidos a análises físico-químicas.

A atividade da enzima ACC oxidase após sete dias de vida de prateleira foi maior nos frutos com aplicação em pré-colheita de AVG+ANA+Ethephon, com diferença significativa para os demais tratamentos avaliados (Figura 3a). Isso demonstra que a aplicação de 1-MCP em pós-colheita combinada com os três fitorreguladores aplicados em pré-colheita não foi eficaz na redução da atividade da enzima ACC oxidase.

A concentração interna de etileno foi maior nos frutos do controle (Figura 3b). A alta concentração interna de etileno verificada neste caso, pode estar relacionada com a maior produção de etileno nos frutos, durante o período de armazenamento.

A produção de etileno na abertura da câmara foi menor em frutos tratados com 1-MCP e previamente com AVG ou AVG+ANA a campo (Figura 3c). Estudos mostraram que tanto a AVG quanto o 1-MCP, diminuem a expressão de genes que codificam a enzima ACC oxidase (*MdACO1*), e ACC sintase (*MdACS1*) (TATSUKI et al., 2007; WAKASA et al., 2006; YANG et al., 2013; YUAN; LI, 2008). O efeito somado dos dois ou mais fitorreguladores pode ter



**Figura 3.** Atividade da enzima ACC oxidase (a) e concentração interna de etileno (CIE) após sete dias de vida de prateleira a 20 °C, (b) produção de etileno na saída da câmara (c) e após sete dias de vida de prateleira a 20 °C (d), taxa respiratória na saída da câmara (e) e após sete dias de vida de prateleira a 20 °C (f) em maçã 'Galaxy' tratada com fitorreguladores em pré-colheita e armazenada em AC+1-MCP durante oito meses. Controle: apenas aplicação de água 15 dias antes da colheita. AVG: aplicada 35 dias antes da colheita. ANA: aplicação de auxina e Ethephon (ETH) 15 dias antes da colheita. Barras com a mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

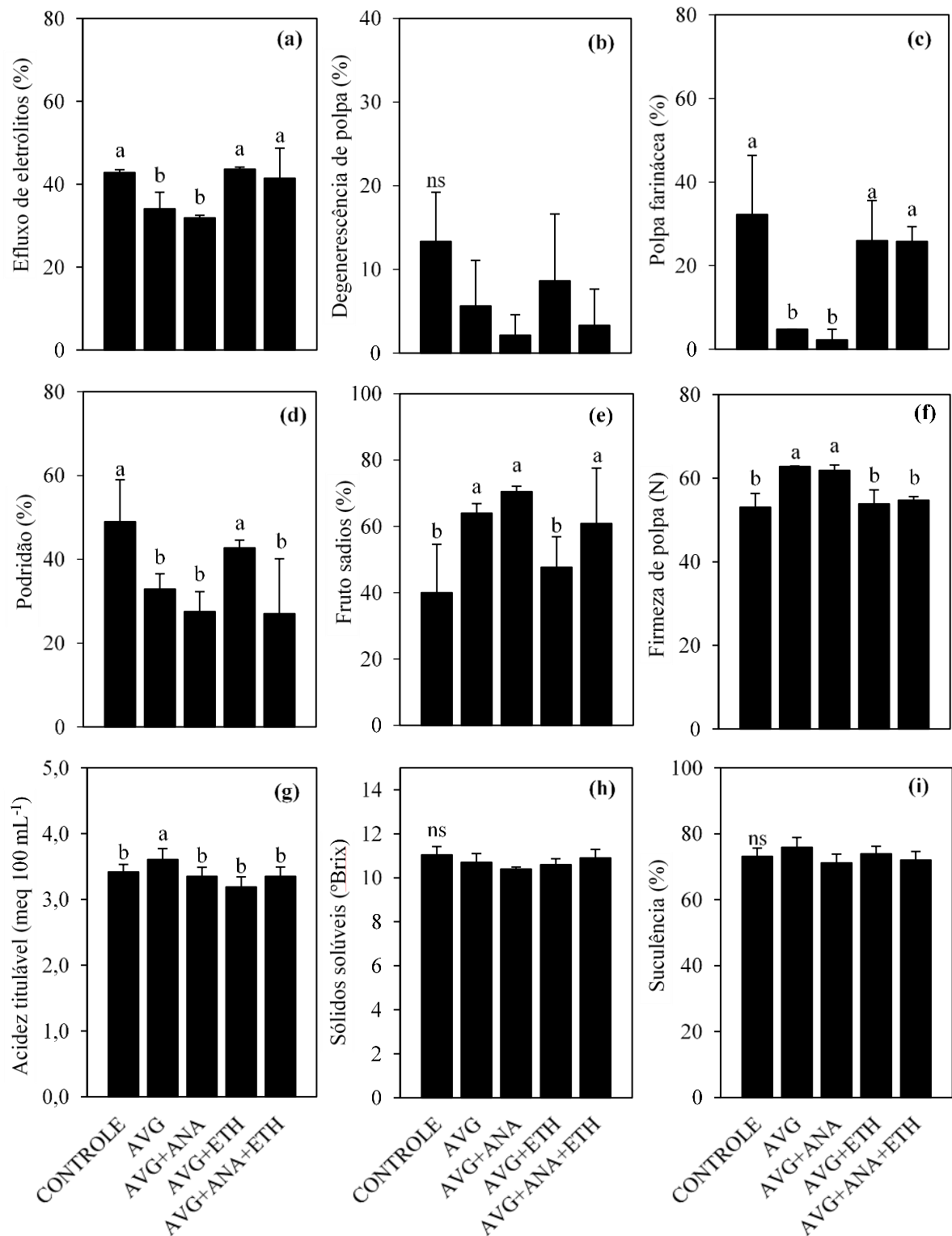
causado uma redução adicional na produção de etileno durante o armazenamento. Após sete dias de vida de prateleira não houve diferença significativa entre os frutos dos tratamentos

(Figura 3d), demonstrando a capacidade de recuperação do metabolismo do fruto após exposição em ar e temperatura de 20 °C.

A avaliação da taxa respiratória mostrou que a aplicação de 1-MCP em frutos oriundos de plantas tratadas com AVG ou AVG+ANA reduziu a respiração na saída dos frutos da câmara (Figura 3e). Isso deve estar relacionado com a menor produção de etileno verificada na saída da câmara (Figura 3c). Após sete dias de vida de prateleira não houve diferença entre os tratamentos avaliados, algo semelhante ao comportamento na produção de etileno discutida anteriormente. Possivelmente, com a exposição dos frutos à condição normal de oxigênio e temperatura de 20 °C, o efeito dos fitorreguladores sobre a taxa respiratória foi atenuado e estes conseguiram recuperar a atividade metabólica. Brackmann et al. (2015) não verificaram diferença na taxa respiratória em maçã 'Brookfield' entre a aplicação de 1-MCP e AVG+1-MCP, na saída da câmara e aos sete dias de vida de prateleira.

A avaliação do efluxo de eletrólitos mostrou que a aplicação de 1-MCP em pós-colheita em frutos oriundos de plantas tratadas com AVG ou AVG+ANA em pré-colheita, diminuiu o efluxo de eletrólitos, comparada com os frutos dos outros tratamentos, que tiveram maior vazamento de eletrólitos. O menor efluxo de eletrólitos pode ser atribuído ao retardamento do amadurecimento causada pela menor taxa respiratória e produção de etileno nos frutos desses tratamentos (Figura 3c, e). O etileno está envolvido na expressão e a atividade de enzimas que degradam a parede celular (GOULAO et al., 2007; PAYASI et al., 2009; PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007), diminuindo a integridade da membrana celular (GAGO et al., 2015).

A degenerescência da polpa é um distúrbio fisiológico comum durante o armazenamento de maçãs (BRACKMANN et al., 2008). Porém, nesse trabalho a incidência desse distúrbio não diferiu entre os tratamentos avaliados (Figura 4b). No entanto, a incidência de polpa farinácea, outro distúrbio fisiológico que normalmente ocorre durante o armazenamento de maçãs muito maduras (BRACKMANN et al., 2002), apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Figura 4c). As combinações de 1-MCP com AVG ou com AVG+ANA resultaram na menor incidência desse distúrbio, que pode ser atribuído à menor taxa respiratória e produção de etileno verificadas nos frutos desses tratamentos (Figura 3c, e). Quando o metabolismo do fruto é baixo, menor é a atividade de enzimas que degradam a parede celular (PAYASI et al., 2009). Por outro lado, os frutos dos outros tratamentos, apresentaram alta incidência de polpa farinácea, que está relacionado com a alta taxa respiratória e produção de etileno (Figura 3c, e). Brackmann et al. (2014) verificaram menor incidência de polpa farinácea em maçã 'Brookfield' com AVG+1-MCP comparado a aplicação isolada de 1-MCP.



**Figura 4.** Efluxo de eletrólitos (a) degenerescência de polpa (b), polpa farinácea (c), podridão (d) frutos sadios (e), firmeza de polpa (f), acidez titulável (g), sólidos solúveis (h) suculência (i) após sete dias de vida de prateleira a 20 °C em maçã ‘Galaxy’ tratada com fitoreguladores em pré-colheita e armazenada em AC+1-MCP durante oito meses. Controle: apenas aplicação de água 15 dias antes da colheita. AVG aplicada 35 dias antes da colheita. ANA: aplicação de auxina e Etephon (ETH) foi realizada 15 dias antes da colheita. Barras com a mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro.

A incidência de podridão foi elevada nos frutos do tratamento controle e naqueles tratados com AVG+Ethephon (Figura 4d). Por outro lado, os frutos dos tratamentos com AVG, AVG+ANA ou AVG+ANA+Ethephon apresentaram menor incidência de podridão. Trabalhos atribuem a incidência de podridão ao avanço da maturação dos frutos no campo (STEFFENS et al., 2005; VILANOVA et al., 2012), bem como a condições de armazenamento que não conseguem regular equilibradamente o amadurecimento dos frutos na câmara (ref.). Em outro trabalho, aplicação de 1-MCP aumentou a incidência de podridão nos frutos, comparado com aplicação isolada de AVG (BRACKMANN et al., 2009a). A podridão carpelar não diferiu entre os tratamentos avaliados (dado não apresentado).

A maior porcentagem de frutos sadios foi obtida com a aplicação de AVG, AVG+ANA e AVG+ANA+Ethephon em pré-colheita (Figura 3e). A maior porcentagem de frutos sadios se deve principalmente pela menor incidência de podridão nos frutos (Figura 3d).

A firmeza de polpa é uma das variáveis mais importantes na qualidade de maçãs (HARKER et al., 2008). A firmeza de polpa da ‘Galaxy’ foi maior com a aplicação de 1-MCP nos frutos oriundos de plantas tratadas em pré-colheita com AVG ou AVG+ANA (Figura 4f). A maior firmeza de polpa está relacionada com a menor degradação da parede celular (PAYASI et al., 2009; PRASSANA; PRABHA; THARANATHAN, 2007), que é confirmado pela baixa taxa respiratória, produção de etileno, efluxo de eletrólitos e incidência de polpa farinácea nos frutos desses tratamentos (Figura 3c, e, 4a, c). A aplicação de 1-MCP em frutos oriundos de plantas tratadas em pré-colheita com AVG manteve alta firmeza de polpa em maçã ‘Brookfield’ (BRACKMANN et al., 2015).

A análise da acidez titulável demonstrou que o tratamento com AVG+1-MCP manteve maior acidez dos frutos (Figura 4g). Isso está relacionado com o retardamento do amadurecimento promovido pelos fitoreguladores. Com isso, ocorreu menor consumo de ácidos orgânicos pela respiração dos frutos durante o armazenamento, que é confirmado pela taxa respiratória mais baixa dos frutos destes tratamentos (Figura 3e).

Não houve diferença significativa entre os tratamentos avaliados, para as variáveis sólidos solúveis e suculência. Sendo que as médias para sólidos solúveis foi de 10,73 °Brix e suculência de 73,23%.

#### **4.1.4 Conclusões**

Em maçã ‘Galaxy’ tratada com 1-MCP a aplicação em pré-colheita com AVG isolada ou combinada com ANA ou ANA+Ethephon mantém qualidade superior após oito meses de

armazenamento em AC, pela baixa produção de etileno, incidência de polpa farinácea, e maior firmeza de polpa e porcentagem de frutos sadios.

A aplicação pós-colheita de 1-MCP em maçã 'Galaxy' tratada em pré-colheita com AVG ou AVG+ANA mantêm maior qualidade dos frutos após oito meses de armazenamento mais sete dias de vida de prateleira a 20 °C, por reduzir a produção de etileno, taxa respiratória, efluxo de eletrólitos, incidência de polpa farinácea, podridão e manter alta firmeza de polpa e porcentagem de frutos sadios.

Considerando o armazenamento em AC e AC+1-MCP, a aplicação de AVG e AVG+ANA em pré-colheita conserva melhor a qualidade de maçã 'Galaxy'.

#### 4.1.5 Referências bibliográficas

ADAMS, D. O.; YANG, S. F. Ethylene biosynthesis: identification of l-aminocyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, v.76, p.170-174, 1979.

AGLAR, E. et al. The effects of aminoethoxyvinylglycine and foliar zinc treatments on pre-harvest drops and fruit quality attributes of Jersey Mac apples. **Scientia Horticulturae**, v.213, p.173-178, 2016.

AMARANTE, C. V. T. et al. A pulverização pré-colheita com ácido giberélico (GA3) e aminoetoxivinilglicina (AVG) retarda a maturação e reduz as perdas de frutos na cultura do pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.27, p.1-5, 2005.

ARGENTA, L. C. Concentração interna de etileno e maturação de maçãs 'Gala', 'Golden Delicious' e 'Fuji'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.15, p.125-132, 1992.

ARGENTA, L. C.; MATTHEIS, J. P.; FAN, X. Interactive effects of CA storage 1-methylcyclopropene and methyl jasmonate on quality of apple fruit. **Acta Horticulturae**, v.857, p.259-266, 2010.

ARGENTA, L. C.; MONDARDO, M. Maturação na colheita e qualidade de maçãs 'Gala' após a armazenagem. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.6, n.2, 135-140, 1994.

BLANKENSHIP, S. M.; DOLE, J. M. 1-Methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biology and Technology**, v.28, p.1-25, 2003.

BRACKMANN, A. et al. Armazenamento em atmosfera controlada de maçãs mutantes da cultivar Gala. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.34, n.2, p.136-143, 2009b.

BRACKMANN, et al. Aminoethoxyvinylglycine: isolated and combined with other growth regulators on quality of 'Brookfield' apples after storage. **Scientia Agricola**, v.72, n.3, p.221-228, 2015.

BRACKMANN, A. et al. Efeito do estresse inicial por baixo O<sub>2</sub> combinado com 1-metilciclopropeno na conservação de maçãs 'Royal Gala' armazenadas com ultrabaixo O<sub>2</sub>. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.3, p.1185-1194, 2013.

BRACKMANN, A. et al. Effect of growth regulators on 'Brookfield' apple gas diffusion and metabolism under controlled atmosphere storage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.323-329, 2014.

BRACKMANN, A. et al. Manejo do etileno e sua relação com a maturação de maçãs 'gala' armazenadas em atmosfera controlada. **Bragantia**, v.68, n.2, p.519-525, 2009a.

BRACKMANN, A. et al. Manutenção da qualidade pós-colheita de maçãs 'Royal Gala' e 'Galaxy' sob armazenamento em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, v.38, n.9, p.2478-2484, 2008.

BRACKMANN, A. et al. Influência da época de colheita e do armazenamento em atmosfera controlada na qualidade de maçãs 'Braeburn'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.3, p.295-301, 2002.

BRUMMEL, D. A. Cell wall disassembly in ripening fruit. **Functional Plant Biology**, v.33, p.103-119, 2006.

BUFLER, G. Ethylene-promoted conversion of 1-aminocyclopropene-1-carboxylic acid to ethylene in peel of apple at various stages of fruit development. **Plant Physiology**, v.80, n.2, p.539-543, 1986.

BYERS, R. E. Peach and nectarine fruit softening following aminoethoxyvinylglycine sprays and dips. **HortScience**, v.32, p.86- 88, 1997.

DRAKE, S. R. et al. Effects of Aminoethoxyvinylglycine, Ethephon, and 1-Methylcyclopropene on Apple Fruit Quality at Harvest and after Storage. **HortTechnology**, v.16, p.16-23, 2006.

FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#compare>>. Acesso em: 06 fev. 2016.

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

GAGO, C. M. L. et al. Effect of harvest date and 1-MCP (SmartFresh™) treatment on 'Golden Delicious' apple cold storage physiological disorders. **Postharvest Biology and Technology**, v.110, p.77-85, 2015.

GOULAO, L. F. et al. Patterns of enzymatic activity of cell wall-modifying enzymes during growth and ripening of apples. **Postharvest Biology and Technology**, v.43, p.307-318, 2007.

KIST, B. B. **Brazilian apple yearbook 2015**. Santa Cruz do Sul, Ed. Gazeta Santa Cruz, 72 p., 2015.



LI, J.; YUAN, R. NAA and ethylene regulate expression of genes related to ethylene biosynthesis, perception, and cell wall degradation during fruit abscission and ripening in 'Delicious' apples. **Journal Plant Growth Regulation**, v.27, n.3 p.283-295, 2008.

LI, J.; ZHU, H.; YUAN, R. Profiling the expression of genes related to ethylene biosynthesis, ethylene perception, and cell wall degradation during fruit abscission and fruit ripening in apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.135, p.391-401, 2010.

MANNAPPERUMA, J. D.; SINGH, R. P.; MONTERO, M. E. Simultaneous gas diffusion and chemical reaction in foods stored in modified atmosphere. **Journal of Food Engineering**, v.14, p.167-183, 1991.

NOCK, J. F.; WATKINS, C.B. Repeated treatment of apple fruit with 1-methylcyclopropene (1-MCP) prior to controlled atmosphere storage. **Postharvest biology and Technology**, v.79, p.73-79, 2013.

PETRI, J. L.; HAWERROTH, F. J.; LEITE, G. B. Maturação, qualidade e queda pré-colheita de maçãs 'Imperial Gala' em função da aplicação de aminoetoxivinilglicina. **Bragantia**, v.69, n.3, p.599-608, 2010.

PAYASI, A. et al. Biochemistry of fruit softening: an overview. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.15, p.103-113, 2009.

PRASANNA, V.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Fruit Ripening Phenomena-An Overview. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.47, n.1, p.1-19, 2007.

PRE-AYMARD, C. et al. Responses of 'Anna', a rapidly ripening summer apple, to 1-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, v.27, n.2, p.163-170, 2003.

SCHUPP, J. R.; GREENE, D. W. Effect of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on preharvest drop, fruit quality, and maturation of 'McIntosh' apples. I. Concentration and timing of dilute applications of AVG. **HortScience**, v.39, n.5, p.1030-1035, 2004.

SCOLARO, A. M. T. et al. Controle da maturação pré-colheita de maçãs 'Royal Gala' pela inibição da ação ou síntese do etileno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.37, n.1, p.38-47, 2015.

SISLER, E. C.; SEREK, M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. **Physiologia Plantarum**, v.100, p.577-582, 1997.

STEFFENS, C. A.; GIEHL, R. F. H.; BRACKMANN, A. Maçã 'Gala' armazenada em atmosfera controlada e tratada com aminoetoxivinilglicina e ethephon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.9, p.837-843, 2005.

STEFFENS, C. A. et al. Maturação da maçã 'Gala' com a aplicação pré-colheita de aminoetoxivinilglicina e ethephon. **Ciência Rural**, v.36, n.2, p.434-440, 2006.

STEFFENS, C. A. et al. Taxa respiratória de frutos de clima temperado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.3, p.313-321, 2007.

TATSUKI, M.; ENDO, A.; OHKAWA, H. Influence of time from harvest to 1-MCP treatment on apple fruit quality and expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors. **Postharvest Biology and Technology**, v.43, p.28-35, 2007.

THEWES, F. R. et al. Effect of dynamic controlled atmosphere monitored by respiratory quotient and 1-methylcyclopropene on the metabolism and quality of 'Galaxy' apple harvested in three maturity stages. **Food Chemistry**, v.222, p.84-93, 2017.

VILANOVA, L. et al. The infection capacity of *P. expansum* and *P. digitatum* on apples and histochemical analysis of host response. **International Journal of Food Microbiology**, v.157, p.360-367, 2012.

VILANOVA, L. et al. Increasing maturity reduces wound response and lignification process against *Penicillium expansum* (pathogen) and *Penicillium digitatum* (non-host pathogen) infection in apples. **Postharvest Biology and Technology**, v.88, p.54-60, 2014.

WANG, Z.; DILLEY, D. R. Aminoethoxyvinylglycine, combined with ethephon, can enhance red color development without over-ripening apples. **HortScience**, v.36, n.2, p.328-331, 2001.

WHALE, S. K. et al. Fruit quality in 'Cripp's Pink' apple, especially colour, as affected by preharvest sprays of aminoethoxyvinylglycine and ethephon. **Scientia Horticulturae**, v.115, n.4, p.342-351, 2008.

WAKASA, Y. et al. Low expression of an endopolygalacturonase gene in apple fruit with long-term storage potential. **Postharvest Biology Technology**, v.39, p.193-198, 2006.

WATKINS, C. B.; NOCK, J. F. Rapid 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment and delayed controlled atmosphere storage of apples. **Postharvest Biology and Technology**, v.69, p.24-31, 2012.

WATKINS, C. B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruit and vegetables. **Biotechnology Advances**, v.24, p.389-409, 2006.

WEBER, A. et al. Atmosfera controlada para o armazenamento da maçã 'Maxi Gala'. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.2, p.294-301, 2013.

YILDIZ, K.; OZTURK, B.; OZKAN, Y. Effects of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of 'Red Chief' apple. **Scientia Horticulturae**, v.144, n.1, p.121-124, 2012.

YANG, S. F.; HOFFMAN, N. E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.35, p.155-189, 1984.

YUAN, R.; CARBAUGH, D. H. Effects of NAA, AVG, and 1-MCP ethylene biosynthesis, preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of 'Golden Supreme' and 'Golden Delicious' apples. **HortScience**, v. 42, n.1, p.101-105, 2007.

YUAN, R.; LI, J. Effect of spray-able 1-MCP, AVG, and NAA on ethylene biosynthesis, preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of 'Delicious' apples. **HortScience**, v.43, n.5, p.1454-1460, 2008.

YANG, X. et al. Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.8, p.55-66, 2013.

## 5 DISCUSSÃO GERAL

Um dos principais desafios dos produtores de maçã, visando um maior retorno financeiro com a produção de maçã, está na redução das perdas de frutos pré-colheita, sejam elas quantitativas ou qualitativas. Uma das principais perdas em pré-colheita de maçã é a queda precoce de frutos, que ocorre antes do fruto atingir seu máximo crescimento, coloração da epiderme, sabor e aroma. A queda precoce de frutos é ocasionada pela diminuição da concentração de auxina e o aumento da concentração de etileno na zona de abscisão, que irá estimular a expressão e atividade de enzimas responsáveis pela degradação celular e posteriormente a queda do fruto (LI; YUAN, 2008; ROBERTS; ELLIOTT; GONZALEZ-CARRANZA, 2002; YUAN; LI, 2008; LI; ZHU; YUAN, 2010). Além disso, o atraso na colheita, pela pouca mão de obra disponível para realizar a colheita manual, favorece o aumento da perda de frutos, que pode atingir 30% da produção (ARSENEAULT; CLINE, 2016; BYERS, 1997; SCHUPP; GREENE, 2004).

A aplicação de fitoreguladores é uma das estratégias adotadas pelos produtores, para reduzir a queda de frutos, que geralmente ocorre com a aplicação isolada, principalmente, de AVG ou ANA. Alguns trabalhos mostraram que a aplicação combinada de AVG+ANA foi mais eficaz na redução da queda de frutos do que a aplicação isolada dos produtos (YUAN; CARBAUGH, 2007; LI; YUAN, 2008; YUAN; LI, 2008). O que também foi verificado no presente trabalho, com aplicação de AVG e ANA (35 e 15 DAC, respectivamente). A inibição da síntese de etileno pela AVG, somado com o provável aumento da concentração de auxina na zona de abscisão pela aplicação de ANA, pode ter diminuído a expressão e atividade de enzimas que degradam a parede celular na zona de abscisão, resultando em menor queda de frutos. A aplicação isolada de AVG ou combinada com Ethephon ou ANA+Ethephon resultou em uma porcentagem de queda de frutos intermediária.

A qualidade dos frutos na colheita é outro fator importante que impacta diretamente no preço pago ao produtor. Uma das variáveis que influenciam a qualidade do fruto é a coloração vermelha da epiderme, que deve cobrir mais de 60% (variedades rajadas) e mais de 75% (variedades vermelhas) da epiderme do fruto para ser incluído na categoria extra (MAPA, IN 5/2006). Estudos demonstraram que a aplicação com AVG isolada para retardar a queda e maturação dos frutos, retardou também o desenvolvimento da coloração vermelha da epiderme (AMARANTE et al., 2002; AMARANTE; STEFFENS; BLUM, 2010; STEFFENS et al., 2006; WANG; DILLEY, 2001). Porém, quando foi aplicado Ethephon posteriormente à AVG, esse efeito foi atenuado (STEFFENS et al., 2006; WHALE et al., 2008). O etileno pode estar

envolvido na atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (PAL), que participa da síntese de antocianinas, que conferem cor vermelha aos frutos (FARAGHER; BROHIER, 1984). No presente trabalho, não foi verificada diferença significativa entre os frutos dos tratamentos avaliados, sendo que a maioria dos tratamentos apresentaram frutos com mais de 75% de coloração vermelha da epiderme. Esse resultado pode ser atribuído ao fato da maçã ‘Galaxy’ possuir naturalmente bom desenvolvimento de coloração vermelha na epiderme ou também pelo fato da formação da cor vermelha ser um atributo que independe da ação do etileno (ref.). Brackmann et al. (2015) também não verificaram diferença entre aplicação de AVG, AVG+ANA, AVG+Ethephon e sem fitorregulador em maçã ‘Brookfield’.

Outro fator importante na qualidade de frutos no momento da colheita é a firmeza de polpa, que irá influenciar o período de armazenamento. A aplicação com AVG retarda a maturação e a perda de firmeza dos frutos devido à inibição da produção de etileno e diminuição da taxa respiratória dos frutos (LI; YUAN, 2008; STEFFENS et al., 2005; YUAN; LI, 2008; WHALE et al., 2008). O etileno atua na expressão e atividade de enzimas que degradam os componentes da parede celular, provocando a perda de firmeza de polpa (GOULAO et al., 2007; PAYASI et al., 2009; PRASANNA; PRABHA; THARANATHAN, 2007). Neste trabalho a aplicação com AVG ou AVG+ANA manteve a qualidade dos frutos durante a vida de prateleira, resultando em frutos com baixa atividade da enzima ACC oxidase, menor produção de etileno, menor concentração interna de etileno e taxa respiratória mais baixa, que resultou em maior manutenção da firmeza de polpa. Por outro lado, a aplicação com ANA ou Ethephon isolados ou combinados, diminuíram a qualidade dos frutos durante a vida de prateleira, pela alta produção de etileno, taxa respiratória e baixa firmeza de polpa.

A manutenção da qualidade dos frutos durante o armazenamento é influenciada pelo ponto de maturação dos frutos na colheita e pela velocidade do metabolismo durante o armazenamento (BRACKMANN et al., 2002; VILANOVA et al., 2012). A aplicação de fitorreguladores em pré-colheita pode auxiliar na manutenção da qualidade dos frutos durante o armazenamento, mas dependendo do fitorregulador ou combinação de fitorreguladores, isso pode não ocorrer. Em estudo recente, Brackmann et al. (2015) verificaram que a aplicação em pré-colheita com AVG, isolada ou combinada com ANA, em maçã ‘Brookfield’ manteve maior firmeza de polpa e maior porcentagem de frutos sadios, comparado com o tratamento sem fitorregulador e com AVG+Ethephon durante o armazenamento em AC com 1,2 kPa de O<sub>2</sub> + 2,0 kPa de CO<sub>2</sub>. Já Steffens et al. (2005), verificaram maior firmeza de polpa, menor produção de etileno, taxa respiratória mais baixa, polpa farinácea e degenerescência de polpa em maçã ‘Gala’ com aplicação de AVG ou AVG +Ethephon, comparado ao controle.

No presente trabalho, o armazenamento em AC após oito meses seguido por sete dias a 20 °C, com aplicação de AVG, AVG+ANA ou AVG+ANA+Ethephon em pré-colheita, manteve a qualidade dos frutos, mostrando ser uma alternativa para reduzir perdas durante o armazenamento.

A aplicação de 1-MCP em pós-colheita é uma técnica bastante utilizada pelos armazenadores de maçãs para retardar o amadurecimento dos frutos durante o armazenamento. Vários trabalhos mostraram a sua eficácia no retardamento do amadurecimento e maior manutenção da qualidade dos frutos armazenados em AC (BRACKMANN et al., 2008, 2014; STEFFENS et al., 2008; THEWES et al., 2017). Poucos trabalhos avaliando a interação de fitorreguladores com a aplicação de 1-MCP em pós-colheita foram encontrados na literatura. Um trabalho realizado com maçã 'Brookfield', que avaliou a interação de AVG+1-MCP e comparou com AVG ou AVG+Ethephon, mas sem aplicação de 1-MCP, verificou maior firmeza de polpa, menor produção de etileno e taxa respiratória em frutos tratados com AVG+1-MCP (BRACKMANN et al., 2015).

A aplicação de 1-MCP em frutos oriundos de plantas tratadas com AVG ou AVG+ANA reduziram a produção de etileno e a taxa respiratória na saída da câmara, diminuíram o efluxo de eletrólitos, proporcionaram baixa incidência de podridão, maior firmeza de polpa e alta porcentagem de frutos sadios. Esse resultado pode estar relacionado com o efeito sinérgico do 1-MCP e AVG, pois a redução da produção de etileno causada pela AVG, associado ao bloqueio da ação do etileno causado pelo 1-MCP, pode ter reduzido a expressão e atividade de enzimas que degradam os componentes da parede celular, mantendo assim, maior qualidade dos frutos durante o armazenamento.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação combinada de AVG+ANA (35 e 15 DAC) é a mais indicada para reduzir a queda pré-colheita de maçã 'Galaxy'.

A aplicação de AVG isolada ou combinada com outro fitorregulador não retarda o desenvolvimento da coloração vermelha da epiderme de maçã 'Galaxy'.

Aplicação de AVG e AVG+ANA (35 e 15 DAC) mantêm qualidade superior dos frutos durante a vida de prateleira a 20 °C.

O armazenamento em AC, de frutos oriundos de plantas tratadas com AVG, AVG+ANA ou AVG+ANA+Ethephon, mantêm melhor qualidade dos frutos após oito meses de armazenamento seguido por sete dias de vida de prateleira a 20 °C.

O armazenamento de frutos em AC, tratados com 1-MCP, oriundos de plantas tratadas com AVG ou AVG+ANA é mais eficiente na conservação da qualidade dos frutos.

Para reduzir ao máximo as perdas em pré-colheita e pós-colheita em maçã 'Galaxy', a melhor combinação de fitorreguladores a ser aplicada é AVG+ANA (35 e 15 DAC, respectivamente).

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, D. O.; YANG, S. F. Ethylene biosynthesis: identification of l-aminocyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. **Proceedings of the National Academy of Sciences USA**, v.76, p.170-174, 1979.

AGLAR, E. et al. The effects of aminoethoxyvinylglycine and foliar zinc treatments on pre-harvest drops and fruit quality attributes of Jersey Mac apples. **Scientia Horticulturae**, v.213, p.173-178, 2016.

AMARANTE, C. V. T. STEFFENS, C. A.; BLUM, L. E. B. Alteração da eficiência do 1-MCP com o retardo na sua aplicação após a colheita em maçãs 'Fuji Suprema'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, p.984-992, 2010.

AMARANTE, C. V. T. et al. Effect of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on preharvest fruit drop and maturity of apples. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, n.3, p.661-664, 2002.

AMPA, K. et al. Effects of pre-harvest application of ethephon or abscisic acid on 'Kohi' kiwifruit (*Actinidia chinensis*) ripening on the vine. **Scientia Horticulturae**, v.209, p.255-260, 2016.

ARAKAWA, O. et al. Involvement of ethylene in the pedicel in preharvest abscission of 'Tsugaru' apple. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v.73, n.4, p.301-306, 2004.

ARGENTA, L. C.; MATTHEIS, J. P.; FAN, X. Interactive effects of CA storage 1-methylcyclopropene and methyl jasmonate on quality of apple fruit. **Acta Horticulturae**, v.857, p.259-266, 2010.

ARSENEAULT, M. A.; CLINE, J. A. A review of apple preharvest fruit drop and practices for horticultural management. **Scientia Horticulturae**, v.211, p.40-52, 2016.

AWAD, M. A.; JAGER, A. Formation of flavonoids, especially anthocyanin and chlorogenic acid in 'Jonagold' apple skin: influences of growth regulators and fruit maturity. **Scientia Horticulturae**, v.93, p.257-266, 2002.

BAN, T. et al. Effect of ethephon (2-chloroethylphosphonic acid) on the fruit ripening characters of rabbiteye blueberry. **Scientia Horticulturae**, v. 112, n.3, p.278-281, 2007.

BLANKENSHIP, S. M.; DOLE, J. M. 1-Methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biology and Technology**, v.28, p.1-25, 2003.

BOTH, V. et al. Estresse inicial por baixo oxigênio seguido do armazenamento em atmosfera controlada de maçãs 'Royal Gala'. **Ciência Agrônômica**, v.45, p.708-718, 2014.

BRACKMANN, A. et al. Armazenamento em atmosfera controlada de maçãs mutantes da cultivar Gala. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.34, n.2, p.136-143, 2009b.



BRACKMANN, A. et al. Aminoethoxyvinylglycine: isolated and combined with other growth regulators on quality of 'Brookfield' apples after storage. **Scientia Agricola**, v.72, n.3, p.221-228, 2015.

BRACKMANN, A. et al. Aplicação de 1-metilciclopropeno e absorção de etileno em maçãs cultivar 'Royal Gala' colhida tardiamente. **Ciência Rural**, v.40, p.2074-2080, 2010.

BRACKMANN, A. et al. Condições de atmosfera controlada, temperatura e umidade relativa no armazenamento de maçãs 'Fuji'. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, n.4, p.803-809, 2005.

BRACKMANN, A. et al. Effect of growth regulators on 'Brookfield' apple gas diffusion and metabolism under controlled atmosphere storage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.323-329, 2014.

BRACKMANN, A. et al. Effect of growth regulators application on the quality maintenance of 'Brookfield' apples. **Bragantia**, v.74, n.4, p.453-456, 2015b.

BRACKMANN, A. et al. Manejo do etileno e sua relação com a maturação de maçãs 'gala' armazenadas em atmosfera controlada. **Bragantia**, v.68, n.2, p.519-525, 2009a.

BRACKMANN, A. et al. Indução da perda de massa fresca e a ocorrência de distúrbios fisiológicos em maçãs 'Royal Gala' durante o armazenamento em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.32, p.87-92, 2007.

BRACKMANN, A. et al. Influência da época de colheita e do armazenamento em atmosfera controlada na qualidade de maçãs 'Braeburn'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.3, p.295-301, 2002.

BRACKMANN, A. et al. Manutenção da qualidade pós-colheita de maçãs 'Royal Gala' e 'Galaxy' sob armazenamento em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, v.38, n.9, p.2478-2484, 2008.

BRACKMANN, A. et al. Maturação da maçã 'Fuji' em função do atraso na colheita e da aplicação pré-colheita de aminoetoxivinilglicina. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.737-742, 2004.

BRACKMANN, A. et al. Variação da temperatura, oxigênio e CO<sub>2</sub> durante o armazenamento em atmosfera controlada de macas 'Royal Gala'. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.6, p.2247-2256, 2012.

BRACKMANN, A.; WACLAWOVSKY, A. J.; LUNARDI, R. Qualidade de maçãs cv. gala armazenadas em diferentes pressões parciais de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>. **Scientia Agricola**, v.57, n.2, p.195-198, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 5, de 9 de fevereiro de 2006**. Norma Brasileira de classificação de maçãs. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal>>. Acesso em: 15 jul. 2017.

BROWN, K. M. Ethylene and abscission. **Physiologia Plantarum**, v.100, n.3, p.567-76, 1997.

BRUMMEL, D. A. Cell wall disassembly in ripening fruit. **Functional Plant Biology**, v.33, p.103-119, 2006.

BULENS, I. et al. Influence of harvest time and 1-MCP application on postharvest ripening and ethylene biosynthesis of 'Jonagold' apple. **Postharvest Biology and Technology**, v.72, n.1, p.11-19, 2012.

BYERS, R. E. Peach and nectarine fruit softening following aminoethoxyvinylglycine sprays and dips. **HortScience**, v.32, p.86- 88, 1997.

CHAO, Q. M. et al. Activation of the ethylene gas response pathway in Arabidopsis by the nuclear protein ETHYLENE-INSENSITIVE3 and related proteins. **Cell**, v.89, p.1133-1144, 1997.

CARVALHO, G. R. et al. Eficiência do Ethephon na uniformização e antecipação da maturação de frutos de cafeeiro (*coffea arabica* L.) e na qualidade da bebida. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, n.1, p.98-106, 2003.

CORRENT, A. R.; PARUSSOLO, A.; GIRARDI, C. L.; ROMBALDI, C. V. Efeito do 1-metilciclopropeno na conservação de maçãs 'Royal Gala' em ar refrigerado e atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, p.217-221, 2004.

DAL CIN et al. Ethylene and preharvest drop: the effect of AVG and NAA on fruit abscission in apple (*Malus domestica* L. Borkh). **Plant Growth Regulation**, v.56, p.317-325, 2008.

DAL CIN, V. et al. Ethylene biosynthesis and perception in apple fruitlet abscission (*Malus domestica* L. Borkh). **Journal of Experimental Botany**, v.56, p.2995-3005, 2005

DEFILIPPI, B. G.; DANDEKAR, A.M.; KADER, A.A. Relationship of ethylene biosynthesis to volatile production, related enzymes, and precursor availability in apple peel and cortex tissues. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.53, p.3133-3141, 2005.

DRAKE, S. R. et al. Effects of Aminoethoxyvinylglycine, Ethephon, and 1-Methylcyclopropene on Apple Fruit Quality at Harvest and after Storage. **HortTechnology**, v.16, p.16-23, 2006.

DUARTE, J. H. S. Alternativas para a redução de custos nos pomares de macieiras - estratégias de sobrevivência na cultura. **Agapomi**, v.196, n.179, p.5, 2010.

FAWBUSH, F.; NOCK, J. F.; WATKINS, C. B. Antioxidant contents and activity of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treated 'Empire' apples in air and controlled atmosphere storage. **Postharvest Biology and Technology**, v.52, n.1, p.30-37, 2009.

FAN, X.; MATTHEIS, J. P.; BUCHANAN, D. Continuous requirement of ethylene for apple fruit volatile synthesis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.46, p.1959-1963, 1998.

FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#compare>>. Acesso em: 06 fev. 2016.

FARAGHER, J. D.; BROHIER, R. L. Anthocyanin accumulation in apple skin during ripening: regulation by ethylene and phenylalanine ammonia-lyase. **Scientia Horticulturae**, v. 22, p. 89-96, 1984.

GAGO, C. M. L. Effect of Calcium chloride and 1-MCP (Smartfresh™) postharvest treatment on 'Golden Delicious' apple cold storage physiological disorders. **Scientia Horticulturae**, v.211, p.440-448, 2016.

GORNY, J. R.; KADER, A. A. Controlled-atmosphere suppression of ACC synthase and ACC oxidase in 'Golden Delicious' apples during long-term cold storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.121, p.751-755, 1996.

GOULAO, L. F. et al. Patterns of enzymatic activity of cell wall-modifying enzymes during growth and ripening of apples. **Postharvest Biology and Technology**, v.43, p.307-318, 2007.

GOUWS, A.; STEYN, W. J. The effect of temperature, region and season on red colour development in apple peel under constant irradiance. **Scientia Horticulturae**, v.173, p.79-85, 2014.

PETRACEK, P. D.; Silverman, F. P.; GREENE, D. W. A History of Commercial Plant Growth Regulators in Apple Production. **HortScience**, v.38, n.5, p.937-942, 2003.

KENDE, H. Ethylene biosynthesis. Annual Review of Plant Physiology, **Plant Molecular Biology**, v.44, p.283-307, 1993.

KIEBER, J. J. et al. CTR1, a negative regulator of the ethylene response pathway in Arabidopsis, encodes a member of the Raf family of protein kinases. **Cell**, v.72, 427-441, 1993.

KIST, B. B. Brazilian apple yearbook 2015. Santa Cruz do Sul, Ed. Gazeta Santa Cruz 72 p., 2015.

LARRIGAUDIERE, C.; PINTO, E.; VENDRELL, M. Differential effect of ethephon and seniphos on color development of 'Starking Delicious' apple. **Journal of the American Society Horticultural Science**, v.121, p.746-750, 1996.

LI, J.; ZHU, H.; YUAN, R. Profiling the expression of genes related to ethylene biosynthesis, ethylene perception, and cell wall degradation during fruit abscission and fruit ripening in apple. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.135, p.391-401. 2010.

LI, J.; YUAN, R. NAA and ethylene regulate expression of genes related to ethylene biosynthesis, perception, and cell wall degradation during fruit abscission and ripening in 'Delicious' apples. **Journal Plant Growth Regulation**, v.27, n.3, p.283-295, 2008.

LISTER, C. E.; LANCASTER, J. E.; WALKER, J. R. L. Developmental Changes in Enzymes Biosynthesis in the Skins of Red and of Flavonoid Green Apple Cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.71, p.313-330, 1996.

LI, T. et al. Exploring the apple genome reveals six ACC synthase genes expressed during fruit ripening. **Scientia Horticulturae**, v.157, p.119-123, 2013.

LI, J. et al. Global transcriptome profiling analysis of ethylene-auxin interaction during tomato fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, v.130, p.28-38, 2017.

LIU, S. et al. Effects of CO<sub>2</sub> on respiratory metabolism in ripening banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, n.33, p.27-34, 2004.

LU, X.; MA, Y.; LIU, X. Effects of maturity and 1-MCP treatment on postharvest quality and antioxidant properties of 'Fuji' apples during long-term cold storage. **Horticultural Environment and Biotechnology**, v.53, p.378-386, 2012.

LI, Z.; GEMMA, H.; IWAHORI, S. Stimulation of 'Fuji' apple skin color by ethephon and phosphorus-calcium mixed compounds in relation to flavonoid synthesis. **Scientia Horticulturae**, v.94, n.1, p.193-199, 2002.

IRELAND, H. S. et al. Mining the apple genome reveals a family of nine ethylene receptor genes. **Postharvest Biology and Technology**, v.72, p.42-46, 2012.

MATHOOKO, F. M. Regulation of ethylene biosynthesis in higher plants by carbon dioxide. **Postharvest Biology and Technology**, v.7, p.1-26, 1996.

McMURCHIE, E. J.; McGLASSON, W. B.; EAKS, I. L. Treatment of fruit with propylene gives information about the biogenesis of ethylene. **Nature**, v.237, p.235-236, 1972.

MEIR S. et al. Molecular changes occurring during acquisition of abscission competence following lowering auxin depletion in *Mirabilis jalapa*. **Plant Physiology**, v.141, p.1604-1616, 2006.

MENDES, L. S. **Efeitos de ethephon e giberilina no desenvolvimento inicial e em alguns parâmetros tecnológicos da cana de açúcar**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 2010, Dissertação (Mestrado em ciências) Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2010.

NAKATSUKA, A. Differential expression and internal feedback regulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase, 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase, and ethylene receptor genes in tomato fruit during development and ripening. **Plant Physiology**, v.118, p.1295-1305. 1998.

NOCK. J. F.; WATKINS, C.B. Repeated treatment of apple fruit with 1-methylcyclopropene (1-MCP) prior to controlled atmosphere storage. **Postharvest biology and Technology**, v.79, p.73-79, 2013.

OETIKER, J. H.; YANG, S. F. The role of ethylene in fruit ripening. **Acta Horticulturae**, v.398, p.167-178, 1995.

OZKAN, Y. et al. The effect of NAA (1-naphthalene acetic acid) and AVG (aminoethoxyvinylglycine) on physical, chemical, colour and mechanical properties of Braeburn apple. **International Journal of Food Engineering**, v.9, n.3, p.1-20, 2012.

PAN, X. Q. et al. Overexpression of the ethylene response factor SlERF1 gene enhances resistance of tomato fruit to *Rhizopus nigricans*. **Postharvest Biology and Technology**, v.75, p.28-36, 2013.

PAYASI, A. et al. Biochemistry of fruit softening: an overview. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.15, p.103-113, 2009.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B.; ARGENTA, L. C. Eficácia do tratamento de AVG no controle da queda e maturação dos frutos de maçã, cultivar Imperial Gala. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, p.239-244, 2007.

PETRI, J. L.; HAWERROTH, F. J.; LEITE, G. B. Maturação, qualidade e queda pré-colheita de maçãs 'Imperial Gala' em função da aplicação de aminoetoxivinilglicina. **Bragantia**, v.69, n.3, p.599-608, 2010.

PRASANNA, V.; PRABHA, T. N.; THARANATHAN, R. N. Fruit Ripening Phenomena-An Overview. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.47, n.1, p.1-19, 2007.

ROBERTS, J. A.; ELLIOTT, K. A.; GONZALEZ-CARRANZA, Z. H. Abscission, dehiscence, and other cell separation processes. **Annual Review Plant Biology**, v.53, p.131-158, 2002.

REAY, P. F.; LANCASTER, J. E. Accumulation of anthocyanins and quercetin glycosides in 'Gala' and 'Royal Gala' apple fruit skin with UV-B-Visible irradiation: modifying effects of fruit maturity, fruit side, and temperature. **Scientia Horticulturae**, v.90, p.57-68, 2001.

RODRIGUEZ, F. I. et al. A copper cofactor for the ethylene receptor ETR1 from Arabidopsis. **Science**, v.283, p.996-998, 1999.

SALAS, N. A. et al. Volatile production by 'Golden Delicious' apples is affected by preharvest application of aminoethoxyvinylglycine. **Scientia Horticulturae**, v.130, p.436-444, 2011.

SAQUET A. A. et al. Armazenamento de maçã "Gala" sob diferentes temperaturas e concentrações de oxigênio e gás carbônico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.27, n.3, p.399-405, 1997.

SCHALLER, G. E.; KIEBER, J. J. Ethylene. The Arabidopsis Book. **American Society of Plant Biologists**, v.1, p.1-17, 2002.

SCHUPP, J. R.; GREENE, D. W. Effect of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on preharvest drop, fruit quality, and maturation of 'McIntosh' apples. I. Concentration and timing of dilute applications of AVG. **HortScience**, v.39, n.5, p.1030-1035, 2004.

SCOLARO, A. M. T. et al. Controle da maturação pré-colheita de maçãs 'Royal Gala' pela inibição da ação ou síntese do etileno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.37, n.1, p.38-47, 2015.

SHIN, S. et al. Transcriptional regulation of auxin metabolism and ethylene biosynthesis activation during apple (*Malus domestica*) fruit maturation. **Journal Plant Growth Regulator**, v.35, p.655-666, 2016.

SISLER, E. C.; SEREK, M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. **Physiologia Plantarum**, v.100, p.577-582, 1997.

SOLANO, R. et al. Nuclear events in ethylene signaling: A transcriptional cascade mediated by ETHYLENE-INSENSITIVE3 and ETHYLENE-RESPONSE-FACTOR1. **Genes & Development**, v.12, p.3703-3714, 1998.

STEFFENS, C. A. et al. Aplicação pré-colheita de reguladores vegetais visando a retardar a maturação de ameixas 'Laetitia'. **Ciência Rural**, v.39, n.5, 2009.

STEFFENS, C. A. et al. Maturação da maçã 'Gala' com a aplicação pré-colheita de aminoetoxivinilglicina e ethephon. **Ciência Rural**, v.36, n.2, p.434-440, 2006.

STEFFENS, C. A. et al. Maturação e qualidade pós-colheita de ameixas 'Laetitia' com a aplicação pré-colheita de AVG e GA3. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, n.1, p.21-31, 2011.

STEFFENS, C. A.; SESTARI, I.; BRACKMANN, A. Controle da queda pré-colheita de maçãs 'gala' e 'fuji' com aminoetoxivinilglicina e ethephon. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.11, n.3, p.329-332, 2005.

STEFFENS, C. A. et al. Taxa respiratória de frutos de clima temperado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.3, p.313-321, 2007.

SHAFIQ, M.; SINGH, Z.; KHAN, A. S. Delayed harvest improves red blush development and quality of 'Cripps Pink' apple. **Scientia Horticulturae**, v.129, p.715-723, 2011.

SU, J. et al. Wound-induced H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and resistance to *Botrytis cinerea* decline with the ripening of apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.62, p.64-70, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TATSUKI, M.; ENDO, A.; OHKAWA, H. Influence of time from harvest to 1-MCP treatment on apple fruit quality and expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors. **Postharvest Biology and Technology**, v.43, p.28-35, 2007.

THEWES, F. R. et al. Effect of dynamic controlled atmosphere monitored by respiratory quotient and 1-methylcyclopropene on the metabolism and quality of 'Galaxy' apple harvested in three maturity stages. **Food Chemistry**, v.222, p.84-93, 2017.

THEWES, F. R. et al. 1-methylcyclopropene effects on volatile profile and quality of 'Royal Gala' apples produced in Southern Brazil and stored in controlled atmosphere. **Ciência Rural**, v.45, p.2259-2266, 2015.

TORRIGIANI, P. et al. Pre-harvest polyamine and aminoethoxyvinylglycine (AVG) applications modulate fruit ripening in Stark Red Gold nectarines (*Prunus persica* L. Batsch). **Postharvest Biology and Technology**, v.33, p.293-308, 2004.

UBI, B. E. et al. Expression analysis of anthocyanin biosynthetic genes in apple skin: Effect of UV-B and temperature. **Plant Science**, v.170, p.571-578, 2006.

UNRATH, C. R.; et al. The effects of aminoethoxyvinylglycine and naphthaleneacetic acid treatments on abscission and firmness of 'Scarletspur Delicious' apples at normal and delayed harvests. **HortTechnology**, v.19, n.3, p.620-625, 2009.

VENBURG, G. D. et al. Recent Developments in AVG Research. **Acta Horticulturae**, v.796, p.43-49, 2008.

VILANOVA, L. et al. The infection capacity of *P. expansum* and *P. digitatum* on apples and histochemical analysis of host response. **Postharvest Biology Technology**, v.157, p.360-367, 2012.

VILANOVA, L. et al. 2014. Increasing maturity reduces wound response and lignification processes against *Penicillium expansum* (pathogen) and *Penicillium digitatum* (non-host pathogen) infection in apples. **Postharvest Biology and Technology**, v.88, p.54-60, 2014.

YANG, S. F.; HOFFMAN, N. E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.35, p.155-189, 1984.

YAO, H. J.; TIAN, S. P. Effects of a biocontrol agent and methyl jasmonate on postharvest diseases of peach fruit and the possible mechanisms involved. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v.98, p.941-995, 2005.

YILDIZ, K.; OZTURK, B.; OZKAN, Y. Effects of aminoethoxyvinylglycine (AVG) on preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of 'Red Chief' apple. **Scientia Horticulturae**, v.144, n.1, p.121-124, 2012.

YUAN, R.; CARBAUGH, D. H. Effects of NAA, AVG, and 1-MCP ethylene biosynthesis, preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of 'Golden Supreme' and 'Golden Delicious' apples. **HortScience**, v.42, n.1, p.101-105, 2007.

YUAN, R.; LI, J. Effect of spray-able 1-MCP, AVG, and NAA on ethylene biosynthesis, preharvest fruit drop, fruit maturity, and quality of 'Delicious' apples. **HortScience**, v.43, n.5, p.1454-1460, 2008.

YUAN, R.; HARTMOND, U.; KENDER, W. J. Physiological factors affecting response of mature 'Valencia' orange fruit to CMNpyrazole. II. Endogenous concentrations of indole-3-acetic acid, abscisic acid, and ethylene. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.126, p.420-426, 2001.

WAKASA, Y. et al. Low expression of an endopolygalacturonase gene in apple fruit with long-term storage potential. **Postharvest Biology and Technology**, v.39, n.2, p.193-198, 2006.

WANG, K. L. C.; LI, H.; ECKER, J. R. Ethylene Biosynthesis and Signaling Networks. **The Plant Cell**, v.14, p.131-151, 2002.

WANG, A. et al. Null mutation of the *MdACS3* gene coding for a ripening specific 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase leads to long shelf life in apple fruit. **Plant Physiology**, v.151, 391-399, 2009.

WANG, Y.; XIE, X.; SONG, J. Preharvest aminoethoxyvinylglycine spray efficacy in improving storability of 'Bartlett' pears is affected by application rate, timing, and fruit harvest maturity. **Postharvest Biology and Technology**, v.119, p. 69-76, 2016.

WANG, Z.; DILLEY, D. R. Aminoethoxyvinylglycine, combined with ethephon, can enhance red color development without over-ripening apples. **HortScience**, v.36, n.2, p.328-331, 2001.

WARD, D. L. et al. Cutting apple fruits induces cellulase activity in the abscission zone. **HortScience**, v.34, n.4, p.601-603, 1999.

WATKINS, C. B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruit and vegetables. **Biotechnology Advance**, v.24, p.389-409, 2006.

WATKINS, C. B.; NOCK, J. F. Rapid 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment and delayed controlled atmosphere storage of apples. **Postharvest Biology and Technology**, v.69, p.24-31, 2012.

WHALE, S. K. et al. Fruit quality in 'Cripp's Pink' apple, especially colour, as affected by preharvest sprays of aminoethoxyvinylglycine and ethephon. **Scientia Horticulturae**, v.115, n.4, p.342-351, 2008.

WEBER, A. et al. Atmosfera controlada para o armazenamento da maçã 'Maxi Gala'. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.2, p. 294-301, 2013.

WRIGHT, A. H.; ARUL, J.; PRANGE, R. K. The trend toward lower oxygen levels during apple (*Malus domestica* Borkh) storage – A review. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v.90, p.1-13, 2015.