

**RODRIGO DE OLIVEIRA SIMÕES**

**PROCESSO DE OZONIZAÇÃO COMO TECNOLOGIA  
PÓS-COLHEITA NA CONSERVAÇÃO DE GOIABAS  
'PEDRO SATO'**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S593p  
2012

Simões, Rodrigo de Oliveira, 1977-  
Processo de ozonização como tecnologia pós-colheita na  
conservação de goiabas 'Pedro Sato' / Rodrigo de Oliveira  
Simões. – Viçosa, MG, 2012.  
xvii, 145f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Lêda Rita D'Antonino Faroni.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Goiaba - Variedades. 2. Goiaba - Tecnologia  
pós-colheita. 3. Ozônio. 4. *Colletotrichum gloeosporioides*.  
5. Alimentos - Armazenamento. I. Universidade Federal de  
Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 634.421

**RODRIGO DE OLIVEIRA SIMÕES**

**PROCESSO DE OZONIZAÇÃO COMO TECNOLOGIA  
PÓS-COLHEITA NA CONSERVAÇÃO DE GOIABAS  
'PEDRO SATO'**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**APROVADA: 24 de agosto de 2012.**

---

**Luiz Carlos Chamhum Salomão  
(Coorientador)**

---

**Paulo Roberto Cecon  
(Coorientador)**

---

**José Lino Neto**

---

**Pedro Amorim Berbert**

---

**Lêda Rita D'Antonino Faroni  
(Orientadora)**

*"Se você conta com alguém que tem menos qualidades que você, isso levará à sua degeneração. Se você conta com alguém com qualidades iguais às suas, você permanece onde está. Somente quando conta com alguém cujas qualidades são superiores às suas é que você atinge uma condição sublime".*

*Fernando Pessoa*

## **DEDICO**

*Mais uma vez e porque não dizer SEMPRE:  
à minha querida e estimada mãe Maria José,  
meu exemplo de vida.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela saúde, disposição e alegria de viver e por ter me dado mais uma conquista na vida.

À Santa Teresinha do Menino Jesus, Santa Rita de Cássia e Nossa Senhora do Carmo por intercederem junto a Jesus Cristo para iluminar meus caminhos.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do Programa de Pós-Graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

À minha mãe Maria José, só posso agradecer-lhe pela vida que me deu, seu carinho, bondade e zelo, que norteiam os atos meus. A sua dedicação dia após dia aplacando a minha dor, foram gestos supremos de mostrar o seu amor.

Ao meu pai Ronaldo, meu irmão Rogério, a Eliana e aos meus filhos de coração Alícia e Caio, pelo incentivo, apoio e dedicação, que possibilitaram vencer mais uma etapa da minha vida. E a toda minha família pelo grande amor, pela paciência dada a minha ausência constante desde o início de minha vida acadêmica e pelas alegrias compartilhadas ainda que a distância. Agradeço de coração a todos, pela confiança e estímulo que contribuíram muito para minha formação pessoal.

À Prof<sup>ª</sup>. Lêda Rita D’Antonino Faroni pela excelente orientação desde o fim do período de graduação e em toda pós-graduação. Presente em todos os momentos, incentivou, apoiou e colaborou, com sua competência, na superação de minhas dificuldades de aprendizado, com sua paciência, nos momentos de minhas ansiedades e, acima de tudo, pela amizade que tem me enriquecido como pessoa.

Ao Prof. Paulo Roberto Cecon pela orientação de vida, tanto pessoal quanto acadêmica, pela amizade, incentivo e dedicação no decorrer do curso, por meio de disciplinas ou durante o desenvolvimento de atividades envolvendo a tese.

Aos Professores Luiz Carlos Chamhum Salomão, José Lino Neto, Luiz Antônio Maffia e Francisco Xavier Ribeiro do Vale pela valiosa orientação e apoio.

Aos meus amigos da Fruticultura, Dani, Robson, Tiago, Lorena, Zé Osmar, Rosana, Paulo Henrique pela valiosa ajuda e é claro ao meu grande amigo Roney pela amizade sólida e verdadeira, sempre disposto a ajudar em todas as horas.

Eu fortemente agradeço ao Gilton – “Tico”, pela sua amizade, por sempre estar disposto a me ajudar em qualquer situação e principalmente pelo seu apoio que me conforta e me deixa mais forte para superar meus desafios. Valeu “Parceiro”!

Aos bolsistas, Gutierrez e Alisson, pela ajuda, noites em claro no Laboratório, amizade e convívio no decorrer do curso; às colegas de trabalho, Patrícia, Juliane, Vanessa, Rita por toda a polpa de goiaba produzida e a todos os demais pela convivência durante a realização do trabalho. Sozinho eu jamais conseguiria!

Aos meus amigos de república, e das quadras de vôlei por terem me apresentado com suas amizades e apoio durante minha estadia em Viçosa.

A algumas pessoas especiais. “... pessoas não se tornam especiais pelo modo de agir, mas sim pela profundidade que atingem nossos sentimentos...” Obrigado por terem passado pela minha vida.

Finalmente, a todas as pessoas que não foram mencionadas, mas que foram e ainda são importantes em minha vida e que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

**Os meus sinceros agradecimentos.**

## **BIOGRAFIA**

Rodrigo de Oliveira Simões, filho de Ronaldo Raimundo Simões e Maria José de Oliveira Simões, nasceu em 30 de setembro de 1977, em Divinópolis, no Estado de Minas Gerais.

Ingressou no Curso de Química em fevereiro de 2000 na Universidade Federal de Viçosa, onde foi estudante voluntário de iniciação científica do Laboratório de Físico-Química do Departamento de Química de abril de 2001 a julho de 2003. Em 2003, transferiu-se para o Curso de Engenharia de Alimentos, exercendo as atividades de Diretor de Projetos na Alimentos Júnior Sociedade Civil em Tecnologia e Consultoria da UFV durante os anos de 2004 e 2005, graduando-se Engenheiro de Alimentos em março de 2007.

No mesmo mês, ingressou no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, nível de Mestrado no Setor de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, sob a orientação da Prof<sup>a</sup>. Lêda Rita D'Antonino Faroni, submetendo-se a defesa de dissertação em fevereiro de 2009.

Em março de 2009, ingressou no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, nível de Doutorado no Setor de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, do Departamento de Engenharia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, sob a orientação da Prof<sup>a</sup>. Lêda Rita D'Antonino Faroni, submetendo-se a defesa de tese em agosto de 2012.

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| LISTA DE TABELAS .....  | viii      |
| LISTA DE FIGURAS .....  | ix        |
| RESUMO .....  | xiii      |
| ABSTRACT .....  | xvi       |
| INTRODUÇÃO GERAL .....  | 18        |
| REFERÊNCIAS .....   | 24        |
| <br>  |           |
| <b>Primeiro capítulo .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>Processo de ozonização pós-colheita de goiabas ‘Pedro Sato’:<br/>    concentração, tempo de saturação e período de exposição .....</b> | <b>28</b> |
| <i>RESUMO</i> .....   | 28        |
| <b>After harvest ozonization process in ‘Pedro Sato’ guavas: concentration,<br/>    saturation time and exposition period .....</b>       | <b>30</b> |
| <i>ABSTRACT</i> .....   | 30        |
| 1. <i>INTRODUÇÃO</i> .....  | 32        |
| 2. <i>MATERIAL E MÉTODOS</i> .....  | 34        |
| 3. <i>RESULTADOS E DISCUSSÃO</i> .....  | 42        |
| 4. <i>CONCLUSÕES</i> .....  | 59        |
| 5. <i>REFERÊNCIAS</i> .....   | 60        |
| <br>  |           |
| <b>Segundo capítulo .....</b>   | <b>64</b> |
| <b>Eficácia do ozônio na pós-colheita de goiabas ‘Pedro Sato’ .....</b>   | <b>64</b> |
| <i>RESUMO</i> .....   | 64        |
| <b>Efficiency of ozone in ‘Pedro Sato’ guavas after harvest .....</b>   | <b>65</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <i>ABSTRACT</i> .....   | 65         |
| <i>1. INTRODUÇÃO</i> .....  | 66         |
| <i>2. MATERIAL E MÉTODOS</i> .....  | 68         |
| <i>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</i> .....  | 76         |
| <i>4. CONCLUSÕES</i> .....  | 97         |
| <i>5. REFERÊNCIAS</i> .....   | 98         |
| <br>  |            |
| <b>Terceiro capítulo</b> .....  | <b>106</b> |
| <b>Eficácia do ozônio na conservação de goiabas ‘Pedro Sato’ armazenadas sob refrigeração e condições ambientes</b> .....       | <b>106</b> |
| <i>RESUMO</i> .....   | 106        |
| <br>  |            |
| <b>Efficiency of ozone in conservation of ‘Pedro Sato’ guavas stored under refrigeration and environmental conditions</b> ..... | <b>108</b> |
| <i>ABSTRACT</i> .....   | 108        |
| <i>1. INTRODUÇÃO</i> .....  | 109        |
| <i>2. MATERIAL E MÉTODOS</i> .....  | 111        |
| <i>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</i> .....  | 116        |
| <i>4. CONCLUSÕES</i> .....  | 136        |
| <i>5. REFERÊNCIAS</i> .....   | 137        |
| <br>  |            |
| <b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....  | <b>145</b> |

## LISTA DE TABELAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Primeiro capítulo .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>Processo de ozonização pós-colheita de goiabas ‘Pedro Sato’:<br/>concentração, tempo de saturação e período de exposição .....</b>   | <b>28</b> |
| <br>  |           |
| TABELA 1 – Modelos de regressão para a concentração residual do ozônio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em função do período de exposição durante o processo de saturação na câmara e em frutos de goiaba a $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ e vazão de $2,0\text{ L min}^{-1}$ , para as concentrações de ozônio de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e $460\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$ ..... | 44        |
| <br>  |           |
| TABELA 2 – Incidência de doenças (%) em goiabas ‘Pedro Sato’ submetidas ao processo de ozonização às concentrações de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e $460\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$ e por tempo de exposição de 60 min, em função do período de armazenamento (0, 1, 3, 5, 7 e 9 dias) a $23\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $70\pm 2\%$ UR .....                            | 47        |
| <br>  |           |
| TABELA 3 – Severidade de doenças (notas), em goiabas ‘Pedro Sato’ submetidas ao processo de ozonização às concentrações de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e $460\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$ e por tempo de exposição de 60 min, em função do período de armazenamento (0, 1, 3, 5, 7 e 9 dias) a $23\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $70\pm 2\%$ UR .....                       | 49        |

## LISTA DE FIGURAS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Primeiro capítulo .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>Processo de ozonização pós-colheita de goiabas ‘Pedro Sato’:<br/>concentração, tempo de saturação e período de exposição .....</b>   | <b>28</b> |
| FIGURA 1 – Localização da propriedade, Guiricema, MG .....  | 34        |
| FIGURA 2 – Geração de ozônio pelo método de descarga corona (Adaptada de RICE et al., 1981) .....   | 35        |
| FIGURA 3 – Concentrador de oxigênio e gerador de ozônio .....   | 36        |
| FIGURA 4 – Câmara de fumigação desenvolvida e confeccionada em material acrílico com sistema de vedação por meio de perfis de silicone e fechos rápidos, com capacidade de 60 L, podendo comportar até 48 frutos de goiaba ...  | 37        |
| FIGURA 5 – Frutos de goiabeira ‘Pedro Sato’ submetidos ao processo de ozonização como tecnologia pós-colheita em diferentes concentrações e período de exposição, e armazenados em condições ambientes (23±2 °C e 70±2% UR) .....   | 39        |
| FIGURA 6 – Concentração residual do ozônio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em função do período de exposição durante o processo de saturação da câmara (A) e dos frutos (B), a 24 °C e vazão de 2,0 L min <sup>-1</sup> , para as concentrações de ozônio de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460 $\mu\text{g L}^{-1}$ .....                     | 43        |
| FIGURA 7 – Escala diagramática para avaliação da severidade da doenças em goiabas ‘Pedro Sato’ com base na porcentagem de área afetada .....  | 48        |
| FIGURA 8 – Incidência e severidade de doenças nas goiabas ‘Pedro Sato’ submetidas ao processo de ozonização às concentrações de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460 $\mu\text{g L}^{-1}$ , depois de nove dias de armazenamento em condições ambientes (23±2 °C e 70±2% UR) .....  | 50        |
| FIGURA 9 – Antracnose ( <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> Penz.) incidente nas goiabas ‘Pedro Sato’, depois de nove dias de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR). Sintomas nos frutos (A); Conídios (B); Conídios hialinos e unicelulares (C) .....   | 51        |
| FIGURA 10 – Goiabas ‘Pedro Sato’ com anomalia no epicarpo, provocada pelo processo de ozonização às concentrações de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460 $\mu\text{g L}^{-1}$ depois de nove dias de armazenamento. Imagens: <i>José Lino Neto</i> .....   | 53        |
| FIGURA 11 – Anomalias (lupa: aumento 5X) induzidas pelo ozônio no epicarpo dos frutos expostos às concentrações de 275 $\mu\text{g L}^{-1}$ (A), 370 $\mu\text{g L}^{-1}$ (B) e 460 $\mu\text{g L}^{-1}$ (C) depois de nove dias de armazenamento em condições ambientes (23±2 °C e 70±2% UR). Imagens: <i>José Lino Neto</i> ..... | 55        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Segundo capítulo .....</b>  | <b>64</b> |
| <b>Eficácia do ozônio na pós-colheita de goiabas ‘Pedro Sato’ .....</b>  | <b>64</b> |
| FIGURA 1 – Temperatura média (°C) e total de precipitação (Guiricema ✦), durante o desenvolvimento dos frutos, nos meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012 .....   | 69        |
| FIGURA 2 – Goiabas ‘Pedro Sato’ submetidas ao processo de ozonização e armazenadas em condições ambientes (23±2 °C e 70±2% UR) .....   | 70        |
| FIGURA 3 – Escala diagramática para avaliação da severidade da doenças em goiabas ‘Pedro Sato’ com base na porcentagem de área afetada .....   | 74        |
| FIGURA 4 – Produção de CO <sub>2</sub> (mg de CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) de goiabas ‘Pedro Sato’ ozonizadas nas concentrações de 0, 95, 185, 275 µg L <sup>-1</sup> de ozônio durante 60 min, em função do período de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR) ..... | 76        |
| FIGURA 5 – Valores observados e estimados de perda de massa fresca (%) de goiabas ‘Pedro Sato’ em função do período de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR) .....  | 79        |
| FIGURA 6 – Valores observados e estimados de ângulo hue (°h) (A) e parâmetro b* (B) da casca de goiabas ‘Pedro Sato’, em função do período de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR) .....   | 80        |
| FIGURA 7 – Ângulo hue (°h) (A) e valores observados e estimados do parâmetro a* (B) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’, em função do período de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR) .....   | 81        |
| FIGURA 8 – Cor da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’ observada no 9º dia de armazenamento em condições ambientes (23±2 °C e 70±2% UR) expostas às concentrações de ozônio, durante 60 min .....   | 82        |
| FIGURA 9 – Firmeza (N) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas às concentrações de 0, 95, 185, 275 µg L <sup>-1</sup> de ozônio durante 60 min, em função do período de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR) .....   | 83        |
| FIGURA 10 – Sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas às concentrações de 0, 95, 185, 275 µg L <sup>-1</sup> de ozônio durante 60 min, em função do período de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR) .....  | 85        |
| FIGURA 11 – Acidez titulável total (% ácido cítrico) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas às concentrações de 0, 95, 185, 275 µg L <sup>-1</sup> de ozônio durante 60 min, em função do período de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR) .....                                       | 87        |

|  |            |
|--|------------|
| FIGURA 12 – Vitamina C (mg de ácido ascórbico 100g <sup>-1</sup> de massa fresca) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas às concentrações de 0, 95, 185, 275 µg L <sup>-1</sup> de ozônio durante 60 min, em função do período de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR) .....  | 89         |
| FIGURA 13 – Incidência de doença (%) em goiabas ‘Pedro Sato’ expostas às concentrações de 0, 95, 185, 275 µg L <sup>-1</sup> de ozônio durante 60 min, em função do período de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR) .....  | 92         |
| FIGURA 14 – Severidade de doença (notas) em goiabas ‘Pedro Sato’ expostas às concentrações de 0, 95, 185, 275 µg L <sup>-1</sup> de ozônio durante 60 min, em função do período de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR). Notas: 1 (0 a 1% da área infectada = sem doença), 2 (2 a 5% da área infectada = ligeira doença), 3 (6 a 9% da área infectada = doença moderada), 4 (10 a 49% da área infectada = doença severa) e 5 (50 a 100% da área infectada = doença muito severa) ..... | 94         |
| FIGURA 15 – Sintomas da doença antracnose ( <i>C. gloeosporioides</i> ) em goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ou não ao ozônio no nono dia de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR) .....  | 96         |
| <b>Terceiro capítulo .....</b>   | <b>107</b> |
| <b>Eficácia do ozônio na conservação de goiabas ‘Pedro Sato’ armazenadas sob refrigeração e condições ambientes .....</b>  | <b>107</b> |
| FIGURA 1 – Temperatura média (°C) e total de precipitação (Guiricema ✦), durante o desenvolvimento das goiabas ‘Pedro Sato’, nos meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012 .....   | 112        |
| FIGURA 2 – Fluxograma de execução do experimento .....   | 114        |
| FIGURA 3 – Produção de CO <sub>2</sub> (mg de CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ) de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ao gás ozônio em diferentes períodos de exposição, em função do período de armazenamento refrigerado (11±2 °C e 85±2% UR) por 15 dias seguido de condições ambientes (23±2 °C e 70±2% UR) por 4 dias .....   | 116        |
| FIGURA 4 – Valores observados e estimados de perda de massa fresca (%) de goiabas ‘Pedro Sato’, em função do período de armazenamento refrigerado (11±2 °C e 85±2% UR) por 15 dias seguido de condições ambientes (23±2 °C e 70±2% UR) por 4 dias .....  | 118        |
| FIGURA 5 – Valores observados e estimados do ângulo hue (°h) (A) e parâmetro b* (B) da casca de goiabas ‘Pedro Sato’, em função do período de armazenamento refrigerado (11±2 °C e 85±2% UR) por 15 dias seguido de condições ambientes (23±2 °C e 70±2% UR) por 4 dias .....  | 119        |

|  |     |
|--|-----|
| FIGURA 6 – Ângulo hue ( $^{\circ}h$ ) (A) e valores observados e estimados do parâmetro $a^*$ (B) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11\pm 2$ °C e $85\pm 2\%$ UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23\pm 2$ °C e $70\pm 2\%$ UR) por 4 dias .....  | 121 |
| FIGURA 7 – Valores observados e estimados de firmeza (N) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11\pm 2$ °C e $85\pm 2\%$ UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23\pm 2$ °C e $70\pm 2\%$ UR) por 4 dias .....   | 123 |
| FIGURA 8 – Sólidos solúveis totais ( $^{\circ}Brix$ ) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ao gás ozônio em diferentes períodos de exposição, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11\pm 2$ °C e $85\pm 2\%$ UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23\pm 2$ °C e $70\pm 2\%$ UR) por 4 dias .....   | 124 |
| FIGURA 9 – Valores observados e estimados de acidez titulável total (% ácido cítrico) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11\pm 2$ °C e $85\pm 2\%$ UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23\pm 2$ °C e $70\pm 2\%$ UR) por 4 dias .....  | 126 |
| FIGURA 10 – Vitamina C (mg de ácido ascórbico $100\text{ g}^{-1}$ de massa fresca) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ao gás ozônio em diferentes períodos de exposição, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11\pm 2$ °C e $85\pm 2\%$ UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23\pm 2$ °C e $70\pm 2\%$ UR) por 4 dias .....  | 127 |
| FIGURA 11 – Exemplo de um ataque eletrofílico do ozônio: mecanismo de Criegee. Fonte: MAHMOUD e FREIRE, 2007 .....   | 129 |
| FIGURA 12 – Incidência de doenças (%) em goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ao gás ozônio em diferentes períodos de exposição, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11\pm 2$ °C e $85\pm 2\%$ UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23\pm 2$ °C e $70\pm 2\%$ UR) por 4 dias .....  | 131 |
| FIGURA 13 – Severidade de doenças (notas) de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ao gás ozônio em diferentes períodos de exposição, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11\pm 2$ °C e $85\pm 2\%$ UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23\pm 2$ °C e $70\pm 2\%$ UR) por 4 dias. Notas: 1 (0 a 1% da área infectada = sem doença), 2 (2 a 5% da área infectada = ligeira doença), 3 (6 a 9% da área infectada = doença moderada), 4 (10 a 49% da área infectada = doença severa) e 5 (50 a 100% da área infectada = doença muito severa) ..... | 132 |
| FIGURA 14 – Sintomas da doença antracnose em goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ao ozônio ( $185\text{ }\mu\text{g L}^{-1}$ ) em diferentes períodos de exposição, armazenadas sob refrigeração ( $11\pm 2$ °C e $85\pm 2\%$ UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23\pm 2$ °C e $70\pm 2\%$ UR) por 4 dias .....   | 135 |

## RESUMO

SIMÕES, Rodrigo de Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2012. **Processo de ozonização como tecnologia pós-colheita na conservação de goiabas ‘Pedro Sato’**. Orientadora: Lêda Rita D’Antonino Faroni. Coorientadores: Maria Cristina Dantas Vanetti, Luiz Carlos Chamhum Salomão, Paulo Roberto Cecon e Paulo César Corrêa.

As podridões em frutas e hortaliças, resultantes da atividade de patógenos, causam grandes perdas na fase pós-colheita. A aplicação de fungicidas químicos tem se mostrado o método mais eficiente na redução de infecções fúngicas em produtos hortícolas. No entanto, o crescente interesse do consumidor e das autoridades públicas de saúde sobre a presença de resíduos de pesticidas em produtos agrícolas, bem como o acúmulo dessas substâncias no ambiente, tem estimulado a pesquisa de métodos alternativos para o controle de doenças no pós-colheita. Uma alternativa aos métodos tradicionais empregados no controle de doenças fitopatogênicas de frutas é o emprego do processo de ozonização pós-colheita. O ozônio ( $O_3$ ) é um agente oxidante, que pode ser aplicado na forma gasosa ou dissolvido em água, minimizando a ocorrência de agentes fitopatogênicos e de microrganismos deterioradores de produtos hortícolas. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do ozônio gasoso, empregado no processo de ozonização pós-colheita, na conservação de frutos de goiaba ‘Pedro Sato’. Num primeiro experimento, objetivou-se determinar a concentração, o tempo de saturação e os períodos de exposição empregados no processo de ozonização. Os frutos foram submetidos ao processo de ozonização, injetando-se o gás nas concentrações de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460  $\mu\text{g L}^{-1}$  e vazão de 2  $\text{L min}^{-1}$  em uma câmara de fumigação desenvolvida e confeccionada totalmente em material acrílico. Foram determinados a concentração e o tempo de saturação quantificando-se a concentração residual do ozônio pelo método iodométrico após a passagem do gás pelos frutos, até que ela se mantivesse constante. Avaliou-se também o efeito do ozônio no controle de doenças bem como na sensibilidade dos frutos às diferentes concentrações de ozônio utilizadas. Cerca de 20% do gás injetado interagiu com os frutos, podendo ser o responsável pela redução na incidência e na severidade da antracnose causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides*. Concentrações de ozônio abaixo de 185  $\mu\text{g L}^{-1}$  não foram suficientes para impedir o desenvolvimento da antracnose nos frutos. As goiabas

‘Pedro Sato’ responderam ao estresse oxidativo induzido pelo ozônio em concentrações acima de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$ , causando anomalias visíveis, com formação de pontuações intervenais esverdeadas e bolhas vermelho-amarronzadas no epicarpo do fruto. Num segundo experimento, objetivou-se avaliar a conservação de goiabas ‘Pedro Sato’ submetidas ao processo de ozonização como tecnologia pós-colheita, injetando-se o gás nas concentrações de 0, 95, 185, 275  $\mu\text{g L}^{-1}$  e vazão de  $2 \text{ L min}^{-1}$  na câmara de fumigação durante 60 min. A avaliação foi feita pela análise de qualidade fisiológica e físico-química dos frutos, durante o armazenamento em condições ambientes. O conteúdo de vitamina C foi reduzido, já o teor de sólidos solúveis totais e de acidez titulável total se elevou em função do aumento na concentração do gás ozônio. Verificou-se também eficácia gradativa das concentrações do gás ozônio, especialmente para a concentração de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$ , que resultou na redução de mais de 50% na incidência da doença, aqui identificada como antracnose. Por fim, no terceiro experimento, objetivou-se avaliar a conservação de goiabas ‘Pedro Sato’ submetidas ao processo de ozonização como tecnologia pós-colheita, injetando-se o gás na concentração de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$  e vazão de  $2 \text{ L min}^{-1}$  na câmara de fumigação durante os períodos de exposição de 0, 40, 60 e 80 min. A avaliação também foi feita pela análise de qualidade fisiológica e físico-química dos frutos, durante o armazenamento em condições refrigeradas, seguida de condições ambientes. Detectou-se um aumento no padrão respiratório, mensurado pela produção de  $\text{CO}_2$  e no teor de sólidos solúveis totais, além de expressivo efeito deletério no teor de ácido ascórbico, ambos em função do incremento no período de exposição ao gás ozônio, independentemente da mudança nas condições climáticas do ambiente de armazenamento. O gás ozônio na concentração de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$  durante 60 min de fumigação, resultou em menor índice de incidência e agressividade da doença, aqui identificada como antracnose. Pode-se concluir, pelos resultados obtidos, que o ozônio gasoso, empregado na concentração de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$ , durante 60 min, é um eficiente agente fungicida, atuando no controle da antracnose em goiabas ‘Pedro Sato’. O processo de ozonização como tecnologia pós-colheita, de forma geral, não afeta a qualidade dos frutos, para os parâmetros avaliados, à exceção do conteúdo de vitamina C, que é reduzido diretamente em função do incremento, seja na concentração ou no período de exposição ao gás ozônio. De posse das informações já registradas, ressalta-se que novos dados devem ser coletados, que permitirão, além de elucidar os mecanismos envolvidos na sensibilidade do fruto da

goiabeira ao gás ozônio, a expansão do processo de ozonização na pós-colheita de produtos hortícolas.

## ABSTRACT

SIMÕES, Rodrigo de Oliveira, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2012. **Ozonization process as post-harvesting technology for ‘Pedro Sato’ guavas conservation.** Adviser: Lêda Rita D’Antonino Faroni. Co-Advisers: Maria Cristina Dantas Vanetti, Luiz Carlos Chamhum Salomão, Paulo Roberto Cecon and Paulo César Corrêa.

Rottenness fruits and vegetables, resulting from pathogen activities, cause great loss in the phase after harvest. Application of chemical fungicide has been the most efficient method for reducing fungal infection in horticultural products. However, the increasing interest of the consumer and public authorities on the presence of pesticide residues in agricultural products, as well as the accumulation of these substances in the environment has stimulated the research of alternative methods for controlling after harvest illnesses. An alternative to the traditional methods used for controlling phytopathogenic illnesses of fruits has been the after harvest ozonization process. The ozone ( $O_3$ ) is a great oxide agent, which may be applied in gas form or solved in water, which minimizes the occurrence of phytopathogenic agents and horticultural deteriorating microorganisms. This work aimed to evaluate the effect of ozone gas, used in after harvest ozonization process, in the conservation of ‘Pedro Sato’ guava fruits. At a first experiment aimed to determine the concentration, the saturation time and the periods of exposition, used in the process of ozonization. Fruits were submitted to the process of after harvest ozonization process, injecting gas at the concentrations of 0, 65, 95, 185, 275, 370 and  $460 \mu\text{g L}^{-1}$ , and the output of  $2 \text{ L min}^{-1}$ , in a fumigation chamber developed and made totally in acrylic. The concentration and the saturation time were determined by quantification of the residual ozone, using the iodometric method, after passing the gas by the fruits, until it remained constant. The effect of the ozone was also evaluated for controlling the illnesses, as well as in fruit sensitivity to the different concentrations of ozone used. Around 20% of ozone gas injected interacted with the fruits and may be able for the reduction of the incidence and severity of anthracnose caused by the fungus *Colletotrichum gloeosporioides*. Concentrations of ozone below  $185 \mu\text{g L}^{-1}$  were not sufficient for restraining the development of anthracnose in the fruits. ‘Pedro Sato’ guavas responded to oxidative stress induced by the ozone

in concentrations above  $185 \mu\text{g L}^{-1}$ , causing visible anomalies, such as the formation of intervened greenish punctuations and red-brownish bubbles in the fruit apocarps. In a second experiment it was aimed to evaluate the conservation of 'Pedro Sato' guavas submitted to the process of ozonization as after-harvest technology, injecting gas in concentrations of 0, 95, 185, 275  $\mu\text{g L}^{-1}$ , and output of  $2 \text{ L min}^{-1}$ , in fumigation chamber for 60 min. The evaluation was made through the physiological and physicochemical analysis of the fruit, during the storage in environmental conditions. The content of vitamin C was reduced; however the amount of total soluble solids and the total titrable acidity has been increased in function of the increment in the ozone gas concentration. It was also verified, the gradual efficiency of ozone gas concentration, especially for concentration of  $185 \mu\text{g L}^{-1}$ , which resulted in a reduction of more than 50% in the illness incidence, herein identified as anthracnose. And in the third experiment, it was aimed to evaluate the 'Pedro Sato' guavas conservation submitted to the ozonization process as after harvest technology, injecting gas at concentrations of  $185 \mu\text{g L}^{-1}$ , and output of  $2 \text{ L min}^{-1}$ , in the fumigating chamber during periods of exposition of 0, 40, 60 and 80 min. The evaluation was also made trough the fruits physiological quality analysis, during storage in refrigerated conditions, followed by environmental conditions. It was detected an increase in respiratory pattern, measured by the production of  $\text{CO}_2$  and the amount of total soluble solids, besides a highlighting deleterious effect on the amount of ascorbic acid, both happening in function of the increase of the period of exposition to the ozone gas, independently of climatic changes in the storage environment. The ozone gas at concentrations of  $185 \mu\text{g L}^{-1}$  applied during 60 min fumigation resulted in lower incidence rate and illness aggressiveness, herein identified as anthracnose. It is possible to conclude, through obtained results, that the ozone concentration at  $185 \mu\text{g L}^{-1}$ , during 60 min, is an efficient fungicide agent, acting in the control of anthracnose in 'Pedro Sato' guavas. The process of ozonization as after harvest technology, usually does not affect fruit quality, for parameters evaluated, except by the content of vitamin C, which is reduced directly in function of the increase in the concentration or in periods of exposition to ozone gas. Besides that, having those recorded information, it is highlighted that new data may be collected, hence they might allow the elucidation the mechanisms involved in guava fruit sensitivity to the ozone gas from the expansion of the ozonation process in post-harvest vegetables.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos, a agricultura brasileira vem incorporando, cada vez mais, às suas atividades, novas espécies de culturas, bem como expandindo suas áreas produtivas. Um desses exemplos vem acontecendo com a fruticultura por causa da crescente demanda por frutas pela população que procura, a cada dia, seguir um cardápio mais equilibrado e saudável. Entre as diversas espécies frutíferas, destaca-se a goiaba por sua excelente qualidade e grande aceitação.

A cultura da goiabeira encontra-se em plena expansão no Brasil, respondendo por uma produção anual de aproximadamente 300 mil toneladas de frutos, colocando o país entre os principais produtores mundiais (IBGE, 2012; IBRAF, 2012). O cultivar ‘Pedro Sato’ ocupa posição de destaque nos mercados interno e externo pela sua importância econômica para consumo *in natura*, daí decorrendo grande produção e, principalmente, para produção de suco natural, pelos atributos de valor nutricional aliados à grande aceitação pelo sabor agradável, cor atraente e elevado teor de vitamina C (SOUZA e NETO, 2009).

A qualidade pós-colheita de frutas relaciona-se com o conjunto de atributos que as tornam apreciadas como alimento. Esses atributos, por sua vez, dependem do destino, que está ligado ao armazenamento, consumo *in natura* ou aprocessamento.

O amadurecimento é a fase mais estudada na pós-colheita de frutas, justamente por ser nesta fase que as mudanças na composição ocorrem com maior intensidade. Diversos pesquisadores (BLEINROTH et al., 1992; CORRÊA et al., 2000; CHITARRA e CHITARRA, 2005) corroboram que o amadurecimento é a fase que ocorre no final do desenvolvimento e início da senescência, composta por

processos que determinam as características de qualidade, evidenciadas por mudanças na composição, coloração, textura e outros atributos sensoriais.

Nenhum dos métodos de conservação pós-colheita é capaz de melhorar a qualidade do fruto, entretanto devem ser eficazes na sua manutenção. Portanto, para se levar um fruto com boa aparência e sabor agradável ao consumidor, todo o processo de produção deve ser cuidadoso. A técnica utilizada, juntamente com a colheita no estágio de maturação adequado, o manuseio minimizando injúrias e reduzindo a contaminação por microrganismos, e a conservação sob temperatura e umidade adequadas são fatores importantes para a manutenção da qualidade pós-colheita (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Deve-se ter em mente que o produto ao qual será aplicada qualquer tecnologia de pós-colheita deve apresentar uma ótima qualidade, uma vez que se os devidos cuidados na pré-colheita não forem conduzidos, várias doenças causadas por fungos e bactérias, além de desordens fisiológicas, levarão a prejuízos incalculáveis na pós-colheita (SILVA, 1982; EVANGELISTA, 1999).

O controle de doenças fúngicas é um ponto crítico evidenciado na pós-colheita dos frutos de goiaba. Entre as doenças que causam maior prejuízo, a mais importante é a antracnose, causada pelos fungos *Colletotrichum gloeosporioides* Penz e *C. acutatum* Simmonds (SILVA et al., 2006; PESSOA, et al., 2009); seguida pela pinta preta, causada por *Guignardia psidii* Ullasa & Rawal [anamorfo: *Phyllosticta psidiicola* (Petra)] e pela podridão de *Fusicoccum* sp., pertencentes à categoria de doenças quiescentes, embora patógenos em pós-colheita típicos como os dos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Pestalotiopsis* e *Rhizopus* também possam ocorrer (MARTINS et al., 2007; FISCHER, et al., 2011). A antracnose é um problema mesmo em frutos destinados à exportação, que receberam tratamento

fitossanitário (LIMA FILHO et al., 2003), pois o *C. gloeosporioides* sobrevive de um ano para outro no solo, na planta e em lesões velhas nos frutos e folhas (BAILEY et al., 1992). Assim, as deteriorações patológicas na fase pós-colheita estão entre as principais responsáveis pelas perdas e pela depreciação da qualidade mercadológica de frutos ao longo de sua cadeia de comercialização.

De maneira geral, a exemplo do que ocorre com outras espécies, o controle de doenças na pós-colheita da goiabeira segue recomendações que se iniciam no próprio campo de produção, indo até a fase de comercialização (NERY-SILVA et al., 2001). A principal forma de controle das doenças na pós-colheita é por meio do uso de fungicidas, que atuam sobre patógenos de ferimentos ou aqueles de infecção imediata ou quiescente e têm a grande vantagem de seu efeito residual garantir proteção durante o armazenamento prolongado dos frutos (BENATO et al., 2001). Contudo, o aumento do interesse público e das autoridades de saúde sobre a presença de resíduos de pesticidas em produtos agrícolas e o acúmulo dessas substâncias no ambiente (MARRI e GUIZZARDI, 1998) têm estimulado a pesquisa de métodos alternativos para o controle não só da antracnose, como também de outras podridões pós-colheita.

Entre os tratamentos físicos utilizados, a hidrotermia se destaca pelas suas múltiplas funções, pois a imersão dos frutos em água a elevadas temperaturas, aproximadamente 55 °C, controla as doenças pós-colheita, além de servir como medida quarentenária para as moscas-das-frutas, exigida por alguns países importadores (McINTYRE et al., 1993; CUNHA et al., 2000; PESSOA et al., 2009). Entretanto, as maiores limitações ao uso deste tratamento referem-se à falta de proteção residual contra a recontaminação por patógenos oportunistas e às injúrias promovidas no hospedeiro (MORAES et al., 2005).

Uma alternativa aos métodos tradicionais no controle de doenças pós-colheita de frutas é o processo de ozonização (SMILANICK et al., 1999; MARTÍNEZ et al., 2002; CAYUELA et al., 2009). Ozônio ( $O_3$ ), a forma triatômica do oxigênio ( $O_2$ ), é um composto instável que se decompõe espontaneamente, gerando  $O_2$  e outros radicais livres, ou em contato com superfícies oxidáveis. O ozônio possui elevado potencial de oxidação, podendo oxidar contaminantes no ar e na água. Em vários países, o  $O_3$  também tem sido utilizado em diferentes aplicações na indústria de alimentos (GRAHAM, 1997). Em 1982, o FDA (Food and Drugs Administration) declarou a ozonização de água engarrafada como segura, integrando a lista de produtos “Generally Recognized as Safe” (GRAS). Em 1997, o ozônio foi reconhecido GRAS como sanitizante de alimentos, e em 2001, declarado seguro como agente antimicrobiano para o tratamento, armazenamento e processamento de alimentos, seja sob a forma de gás ou dissolvido em água, em contato direto com os alimentos, incluindo produtos minimamente processados de frutas e hortaliças (21 CFR Part 173.368) pela FDA (SUSLOW, 2003).

O ozônio se decompõe espontaneamente, sendo dificilmente armazenável. Além disso, a vida da  $O_3$  é dependente da temperatura, de modo que a  $20\text{ }^\circ\text{C}$  sua concentração é reduzida pela metade no prazo de 40 min, a  $30\text{ }^\circ\text{C}$ , dentro de 25 min, enquanto que a  $-50\text{ }^\circ\text{C}$ , é reduzida pela metade só depois de três meses (BOCCI, 2005). Em meio aquoso, o ozônio se decompõe espontaneamente por um mecanismo complexo que envolve a formação de radicais livres de hidroxila, com meia vida em água destilada variando entre 20 e 25 min a  $20\text{ }^\circ\text{C}$  (HENDRICKS, 2006; O'DONNELL et al., 2012). Sua rápida autodecomposição faz com que seja indicado como alternativa ao cloro na sanitização de alimentos, pois logo após sua utilização, ele se decompõe rapidamente em  $O_2$ , não gerando resíduos tóxicos (KIM et al.,

1999); além disso o O<sub>3</sub> apresenta várias outras vantagens sobre os agentes desinfetantes convencionais, tais como dióxido de cloro, hipoclorito de cálcio, cloreto de sódio, ácido peracético e hipoclorito de sódio (O'DONNELL et al., 2012). O ozônio é o segundo oxidante mais poderoso, excedido somente pelo flúor. É eficiente contra germes e vírus, e sua concentração máxima considerada segura para o homem é da ordem de 0,1 ppm (Di BERNARDO e DANTAS, 2005).

O ozônio possui a vantagem de poder ser gerado no próprio local de aplicação (PALOU et al., 2001), podendo ser usado de forma contínua ou intermitente, aplicado sob a forma gasosa, durante o período de armazenamento, ou dissolvido na água, para evitar a deterioração de produtos alimentícios em geral (SKOG e CHU, 2001; PALOU et al., 2003; MOHAMMAD et al., 2009).

Com amplo e poderoso espectro antimicrobiano, o ozônio é ativo contra bactérias, fungos, vírus, protozoários e esporos de bactérias e fungos (KHADRE, 2001). A inativação pela ozonização é um processo complexo que envolve os constituintes da membrana celular e os principais componentes celulares (enzimas e ácidos nucleicos). O ozônio molecular e os radicais livres gerados pela sua decomposição desempenham um papel importante neste mecanismo de inativação, entretanto não há um consenso sobre qual deles é mais decisivo. Desta forma, sabe-se apenas que o microrganismo é eliminado pela ruptura ou desintegração de sua membrana celular e conseqüente perda de conteúdo celular, sendo mais eficaz que desinfetantes convencionais, que necessitam atravessar a membrana celular para serem ativos (PASCUAL et al., 2007). No que diz respeito ao campo de ação, cada microrganismo possui uma sensibilidade intrínseca à ozonização: bactérias são mais sensíveis que leveduras e fungos; bactérias Gram-positivas são mais sensíveis do que

Gram-negativas; e esporos são mais resistentes do que células vegetativas (MOORE et al., 2000; RICE et al., 2002; PASCUAL et al., 2007).

O processo de ozonização pós-colheita já foi testado com sucesso em ameixa (CRISOSTO et al., 1993), cenoura (LIEW e PRANGE, 1994), maçãs (ONG et al., 1996), morangos (PÉREZ et al., 1999), brócolis (ZHUANG et al., 1996; FORNEY et al., 2003) e frutas cítricas (PALOU et al., 2001; 2003).

A alta toxicidade do ozônio ao ser humano torna extremamente perigosa sua aspiração direta. Entretanto, a ingestão indireta, através de água ozonizada, não representa perigo sério ao ser humano, pois a meia-vida do ozônio dissolvido na água é relativamente curta. O ser humano quando exposto durante cerca de 2 h a uma dosagem de ozônio no ar da ordem de 2 ppm sente secura na boca e garganta, dores no peito, perda de habilidade mental, dificuldade de coordenação e articulação, tosse e perda de 13% da capacidade vital (Di BERNARDO e DANTAS, 2005).

A prevenção da intoxicação profissional pode ser obtida pela adoção de sistemas de detecção e destruição do ozônio residual no ambiente e de dispositivos de ventilação (CHERNICHARO et al., 2001; KHADRE et al., 2001), garantindo-se, assim, a aplicação segura do ozônio na indústria de alimentos.

Diante do exposto, o emprego do processo de ozonização pós-colheita de goiabas 'Pedro Sato', utilizando-se o ozônio na forma gasosa, pode vir a ter grande interesse comercial, pois poderá possibilitar a conservação e conseqüente oferta de frutos isentos de agrotóxicos ou aditivos químicos, garantindo um padrão de qualidade do produto final, o principal objetivo deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- BAILEY, J. A.; O'CONNELL, R. J.; PRING, R. J.; NASH, C. Infection strategies of *Colletotrichum* species. **In:** BAILEY, A. J.; JEGER, J. M. *Colletotrichum: biology, pathology and control*. Oxford: British Society for Plant Pathology, p.88-120, 1992.
- BENATO, E. A.; CIA, P.; SIGRIST, J. M. M.; SOUZA, N. L. Efeito do tratamento hidrotérmico no controle de podridões pós-colheita em maracujá-amarelo. **Summa Phytopathologica**, v.27, n.4, p.399-403, 2001.
- BLEINROTH, E. W.; SIGRIST, J. M. M.; ARDITO, E. F. G.; CASTRO, J. V.; SPAGNOL, W. A.; NEVES FILHO, L. C. **Tecnologia de pós-colheita de frutas tropicais**. Campinas: ITAL, 1992. 203p.
- BOCCI, V. **OZONE: A New Medical Drug**. Springer, 2005. 295p.
- CAYUELA, J. A.; VÁZQUEZ, A.; PÉREZ, A. G.; GARCÍA, J. M. Control of table grapes postharvest decay by ozone treatment and resveratrol induction. **Food Science and Technology International**, v.15, p.495-502, 2009.
- CHERNICHARO, C. A. L.; DANIEL, L. A.; SENS, M.; CORAUCCI FILHO, B. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de desinfecção. **In:** CHERNICHARO, C. A. L. coord. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte, p.377-453, 2001.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2 ed. 2005. 785p.
- CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; SANTOS, C. D.; RIBEIRO, L. J. Constituintes químicos da fruta-de-lobo (*Solanum lycocarpum* St. Hil.) durante a maturação. **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, n.1, p.130-135, 2000.
- CRISOSTO, C. H.; RETZLAFF, W. A.; WILLIAMS, L. E.; DE-JONG, T. M.; ZOFFOLI, J. P. Postharvest performance evaluation of plum (*Prunus salicina* Lindel) fruit grown under three ozone concentrations. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.118, p.497-502, 1993.
- CUNHA, M. M.; SANTOS FILHO, H. P.; NASCIMENTO, A. S. **Manga fitossanidade**. Brasília: EMBRAPA, 2000. 104p.
- Di BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES, v.2, cap. 16, p.1250-1267, 2005.
- EVANGELISTA, R. M. **Qualidade de mangas 'Tommy Atkins' armazenadas sob refrigeração e tratadas com cloreto de cálcio**. Lavras: UFLA. 1999. 129p.
- FISCHER, I. H.; ALMEIDA, A. M.; ARRUDA, M. C.; BERTANI, R. M. A.; GARCIA, M. J. M.; AMORIM, L. Danos em pós-colheita de goiabas na Região do Centro-Oeste Paulista. **Bragantia**, v. 70, n.3, p.570-576, 2011.

FORNEY, C. F.; SONG, J.; FAN, L.; HILDEBRAND, P. J.; JORDAN, M. A. Ozone and 1-MCP alter the postharvest quality of broccoli. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.128, p.403-408, 2003.

GRAHAM, D. M. Use of ozone for food processing. **Food Technology**, v.6, n.51, p.72-75, 1997.

HENDRICKS, D. W. **Water Treatment Unit Process: Physical and Chemical**. Taylor & Francis Group, LLC, 2006. 1266p.

IBRAF - INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS. **Estatísticas**. Disponível em: <[http://www.ibraf.org.br/estatisticas/est\\_frutas.asp](http://www.ibraf.org.br/estatisticas/est_frutas.asp)>. Acesso em: 01 fev. 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**. 2009. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 01 fev. 2012.

KHADRE, M. A.; YOUSEF, A. E.; KIM, J. G. Microbiological aspects of ozone applications in food: a review. **Journal of Food Science**, v.66, n.9, p.1242-1252, 2001.

KIM, J. G.; YOUSEF, A. E.; CHISM, G. W. Use of ozone to inactivate microorganisms on lettuce. **Journal of Food Safety**, v.19, p.17-34, 1999.

LIEW, C. L.; PRANGE, R. K. Effect of ozone and storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots (*Daucus carota* L.). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.119, p.563-567, 1994.

LIMA FILHO, R. M.; OLIVEIRA, S. M. A.; MENEZES, M. Caracterização enzimática e patogenicidade cruzada de *Colletotrichum* spp. associados a doenças de pós-colheita. **Fitopatologia Brasileira**, v.28, n.6, p.620-625, 2003.

MARRI, M.; GUIZZARDI, M. The postharvet phase: emerging Technologies for the control of fungal diseases. **Phytoparasitica**, v.26, p.59-66, 1998.

MARTÍNEZ, C. B.; GARCÍA, L. P. L.; SÁNCHEZ, J. S.; ÁNGEL, D. N. Effets of ozone, iodine and chlorine on spore germination off ungi isolated from mango fruits. **Revista Mexicana de Fitopatología**, v.20, n.1, p.60-65, 2002.

MARTINS, M. C.; AMORIM, L.; LOURENÇO, S. A.; GUTIERREZ, A. S. D.; WATANABE, H. S. Incidência de danos pós-colheita em goiabas no Mercado atacadista de São Paulo e sua relação com a prática de ensacamento dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, n.2, p.245-248, 2007.

McINTYRE, A.; WICKHAM, L. D.; WILSON, L. A; MALINS, A. Hot water treatements for the postharvest control of fruit fly and anthracnose in the caribbean mango "Julie". **Acta Horticulturae**, v.341, p.533-535, 1993.

MOHAMMAD, H. N.; HADDAD, K. M. H. Efficacy of ozone to reduce microbial populations in date fruits. **Food Control**, v.20, n.1, p.27-30, 2009.

MOORE, G.; GRIFFITH, C.; PETERS, A. Bactericidal properties of ozone and its potential application as a terminal disinfectant. **Journal of Food Protection**, v.63, n.8, p.1100-1106, 2000.

MORAES, W. S.; ZAMBOLIM, L.; LIMA, J. D.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R. Termoterapia de Banana 'Prata-Anã' no Controle de Podridões em Pós-colheita. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, n.6, p.603-608, 2005.

NERY-SILVA, F. A.; MACHADO, J. C.; LIMA, L. C. O.; RESENDE, M. L. V. Controle químico da podridão peduncular de mamão causada por *Colletotrichum gloeosporioides*. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.3, p.519-524, 2001.

O'DONNELL, C.; TIWARI, B. K.; CULLEN, P. J.; RICE, R. G. **Ozone in food processing**. Wiley-Blackwell, 2012. 298p.

ONG, K. C.; CASH, J. N.; ZABIK, M. J.; SIDDI, M. Use of chlorine and ozone as postharvest wash in the removal of pesticides from apples and processed apple sauce. **Food Chemistry**, v.55, p.153-160, 1996.

PALOU, L.; SMILANICK, J. L.; CRISOSTO, C. H.; MANSOUR, M. Effect of gaseous ozone exposure on the development of green and blue molds on cold stored citrus fruit. **Plant Disease**, v.85, p.632-638, 2001.

PALOU, L.; SMILANICK, J. L.; CRISOSTO, C. H.; MANSOUR, M.; PLAZA, P. Ozone gas penetration and control of the sporulation of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* within commercial packages of oranges during cold storage. **Crop Protection**, v.22, p.1131-1134, 2003.

PASCUAL, A.; LLORCA, I.; CANUT, A. Use of ozone in food industries for reducing the environmental impact of cleaning and disinfection activities. **Trends in Food Science & Technology**, v.18, p.S29-S35, 2007.

PÉREZ, A. G.; SANZ, C.; RÍOS, J. J.; OLÍAS, R.; OLÍAS, J. M. Effects of ozone treatment on postharvest strawberry quality. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.47, p.1652-1656, 1999.

PESSOA, W. R. L. S.; LOPES, A. L.; COSTA, V. S. O.; OLIVEIRA, S. M. A. Efeito do tratamento hidrotérmico associado a indutores de resistência em pós-colheita de goiaba. **Revista Caatinga**, v.22, n.1, p.85-90, 2009.

RICE, R. G.; GRAHAM, D. M.; LOWE, M. T. Recent ozone applications in food processing and sanitation. **Food Safety Magazine**, p.10-17, 2002.

SILVA, K. S.; REBOUÇAS, T. N. H.; LEMOS, O. L.; BOMFIM, M. P.; BOMFIM, A. A.; ESQUIVEL, G. L.; BARRETO, A. P. P.; JOSE, A. R. S.; DIAS, N. O.; TAVARES, G. M. Patogenicidade causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) em diferentes espécies frutíferas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, n.1, p.131-133, 2006.

SILVA, M. P. F. Manejo pós-colheita da manga. Belo Horizonte, Informe Agropecuário, V.8, n.86, p.45-47, 1982.

SKOG, L.; CHU, C. L. Effect of ozone on quality of fruits and vegetables in cold storage. **Canadian Journal of Plant Science**, v.81, p.773-778, 2001.

SMILANICK, J. L.; CRISOSTO, C.; MLIKOTA, F. Postharvest use of ozone on fresh fruit. **Perishables Handling Quarterly**, n.99, p.10-14, 1999.

SOUZA, R. C.; AMATO NETO, J. As transações entre supermercados europeus e produtores brasileiros de frutas frescas. **Gestão & Produção**, v.16, n.3, p.489-501, 2009.

SUSLOW, T. V. Basic of ozone applications for postharvest treatment of fresh produce. 2003. 7p. Disponível em: <<http://ucgaps.ucdavis.edu>>. Acesso em: 10 fev. 2012.

ZHUANG, H.; HILDEBRAND, D. F.; BARTH, M. M. Short-term ozonated water treatment affects quality and physiology of broccoli during postharvest storage. **In: Proceedings 1996 IFT Annual Meeting**, New Orleans, Louisiana, 1996. 99p.

# Primeiro capítulo

## Processo de ozonização pós-colheita de goiabas ‘Pedro Sato’: concentração, tempo de saturação e período de exposição

Rodrigo de Oliveira Simões<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Agrícola

Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

e-mail: rodrigoosimoes@gmail.com

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar a concentração, o tempo de saturação e os períodos de exposição empregados no processo de ozonização pós-colheita na conservação de goiabas ‘Pedro Sato’. As goiabas foram submetidas ao processo de ozonização pós-colheita, injetando-se o gás nas concentrações de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460  $\mu\text{g L}^{-1}$  e vazão de 2  $\text{L min}^{-1}$ , em uma câmara de fumigação com capacidade de 60 L. Determinou-se o tempo de saturação pela concentração residual do ozônio, pelo método iodométrico, após a passagem do gás pelos frutos, até que ela se mantivesse constante. Avaliou-se também o efeito do ozônio no controle de doenças, bem como na sensibilidade dos frutos às diferentes concentrações de ozônio utilizadas. Os experimentos foram realizados em esquema de parcelas subdivididas, sendo nas parcelas as concentrações do gás ozônio (0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), e nas subparcelas os dias de avaliação ou colheita (0, 1, 3, 5, 7 e 9 dias) no delineamento inteiramente casualizado com 3 repetições de 5 frutos por unidade experimental. Para a câmara de fumigação vazia, verificou-se que o tempo de saturação do gás ozônio permaneceu na faixa entre 21 e 36 min, com concentração de saturação variando entre 51 e 368  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Para a câmara contendo 48 frutos, obteve-se um tempo de saturação entre 28 e 35 min, com concentração residual variando entre 34 e 290  $\mu\text{g L}^{-1}$ , ambos em relação às concentrações iniciais de ozônio injetadas. Esses valores revelam redução média de 21% e de 44% em relação às concentrações iniciais do gás injetado, respectivamente, para a câmara vazia e para a

câmara contendo os 48 frutos. Estes resultados permitiram concluir que mais de 20% do gás injetado interagiu com os frutos, podendo ser o responsável pela redução na incidência e na severidade da doença, aqui identificada como antracnose. O efeito fungicida do processo de ozonização pós-colheita só não foi eficaz em concentrações de ozônio inferiores a  $185 \mu\text{g L}^{-1}$ . A escala diagramática proposta para avaliação da severidade de podridões, com cinco níveis para os sintomas de doenças, mostrou-se de fácil utilização, pois auxiliou nas estimativas das podridões em goiabas 'Pedro Sato'. Sua validação permitirá sua aplicação a uma ampla gama de situações como: levantamentos de campo, estudos de progresso e disseminação da doença, bem como em estudos de controle da antracnose em frutos de goiaba em pré e pós-colheita. As goiabas 'Pedro Sato' responderam ao estresse oxidativo induzido pelo ozônio em concentrações acima de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$ , que causou anomalias visíveis, com formação de pontuações esverdeadas e bolhas vermelho-amarronzadas no epicarpo da fruta.

## **After harvest ozonization process in ‘Pedro Sato’ guavas: concentration, saturation time and exposition period**

### **ABSTRACT**

This work aimed to determine the concentration, saturation time and periods of exposition used in after harvest process of ozonization for conservation of ‘Pedro Sato’ guavas. Guavas were submitted to after harvest ozonization process, injecting gas, in concentrations of 0, 65, 95, 185, 275, 370 and 460  $\mu\text{g L}^{-1}$ , and output of 2 L  $\text{min}^{-1}$ , in a fumigation chamber with a capacity of 60 L. It was determined the saturation time by means of the residual ozone concentration, through the iodometric method, after passing the gas by the fruit, until it remained constant. It was also evaluated the effect of the ozone for controlling illnesses, as well as the sensitivity of the fruits at different concentrations of ozone used. The experiments were made in scheme of subdivided parcels, being the parcel of ozone concentration (0, 65, 95, 185, 275, 370 and 460  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), and in sub parcels the days of evaluation or harvest (0, 1, 3, 5, 7 and 9 days) in delineation entirely randomized with 3 replications of 5 fruits by experimental unity. For the empty fumigation chamber, it was verified that the ozone gas saturation time remained in the rank between 21 and 36 min, with concentration of saturation ranging between 51 and 368  $\mu\text{g L}^{-1}$ . For the chamber containing 48 fruits it was obtained a saturation time between 28 and 35 min, with residual concentration varying between 34 and 290  $\mu\text{g L}^{-1}$ , both in relation to the initial concentrations of injected ozone gas. These values reveal average reduction, of 21% and 44% in relation to the initial concentration of gas injected, respectively for the empty chamber and containing the 48 fruits. These results permitted to conclude that more than 20% of the gas injected interacted with the fruits and may be responsible by the reduction in the incidence and in the illness severity, identified as anthracnose. The fungicide effect of the after harvest ozonization process was not efficient in concentrations of ozone inferior to 185  $\mu\text{g L}^{-1}$ . The diagrammatic scale proposed for evaluating the severity of rottenness, with five levels for illness symptoms, has shown to be of easy utilization, once it has helped in estimating the rottenness in ‘Pedro Sato’ guavas. Its validation will permit applying at a large range of situations: field surveys, studies on the progress and spreading of the illness, as

well as studies on the control of anthracnose in guavas in after and before harvest. 'Pedro Sato' guavas responded to the oxidative stress induced by the ozone in concentrations above  $185 \mu\text{g L}^{-1}$ , which has caused visible anomalies, with the formation of greenish punctuations and red-brownish bubbles in the fruit apocarp.

## 1. INTRODUÇÃO

A expansão do mercado consumidor de goiaba *in natura* está condicionada à qualidade dos frutos e ao aumento da vida útil pós-colheita. A demanda interna e externa por frutos tem aumentado devido aos avanços nas tecnologias de pós-colheita e elevação no consumo fundamentado na divulgação dos seus benefícios à saúde, entre outros motivos (AGRIANUAL, 2012). Desta forma, existe um grande potencial a ser explorado pelo Brasil para a exportação desta fruta. Para isso, há necessidade de investimentos, visando a minimizar os danos pós-colheita, que representam um fator limitante à exportação. Esses danos podem ser de natureza física, fisiológica e patológica e se expressam desde o campo até o consumidor (KLUGE et al., 2001; MARTINS et al., 2006).

Entre os danos pós-colheita de natureza patológica, destacam-se aqueles causados pela antracnose, considerada uma das mais graves doenças em frutos de goiabeiras (AMORIM, 1995). A antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) Arx (= *Gloeosporium psidii* Delacr.), afeta os frutos com sintomas caracterizados por manchas circulares, deprimidas, encharcadas, de coloração marrom, principalmente em locais danificados por insetos, que podem coalescer resultando em uma grande mancha de formato irregular (AMARAL et al., 2006).

Os métodos alternativos de controle de doenças pós-colheita podem minimizar ou substituir o uso de produtos químicos, vindo ao encontro da preocupação mundial em relação ao meio ambiente e à segurança do alimento. Entre os métodos alternativos, o ozônio sob a forma gasosa ou dissolvido na água vem se destacando pelo importante desempenho na redução da incidência de podridões em

maçãs (PUIA et al., 2004), no aumento na vida de caquis nas prateleiras (SALVADOR et al., 2006) e na redução da carga bacteriana de morangos e framboesas (BIALKA et al., 2007).

Embora existam, na literatura, muitos relatos referentes à taxa de decomposição do ozônio em meio aquoso e do seu efeito na conservação pós-colheita de produtos hortícolas, verifica-se uma carência de pesquisas que tratem, por exemplo, do tempo de saturação, ou seja, o tempo necessário para que a concentração do gás ozônio aplicada permaneça constante. Esse é um importante parâmetro na predição da distribuição do ozônio em um determinado meio, devendo ser extensivamente estudado com o objetivo de viabilizar a aplicação do processo de ozonização para dimensionar sistemas industriais com a utilização deste gás.

As folhas da goiabeira (*Psidium guajava* L.) ‘Paluma’ têm se destacado por apresentar grande sensibilidade ao ozônio atmosférico (FURLAN et al., 2007), com sintomas visíveis, caracterizados pela cor escura (avermelhada) e pontilhada em sua superfície superior, o que torna possível sua utilização como espécie bioindicadora da poluição por ozônio. Embora as folhas da goiabeira ‘Paluma’ tenham demonstrado tal comportamento e as folhas da goiabeira ‘Pedro Sato’ responderem com menor intensidade ao estresse induzido pelo ozônio (MORAES et al., 2011), pouco se sabe sobre a sensibilidade dos frutos destas espécies após sua exposição ao ozônio gasoso.

Nesse sentido, objetivou-se neste capítulo determinar a concentração, o tempo de saturação e os períodos de exposição empregados no processo de ozonização na conservação de goiabas ‘Pedro Sato’. Avaliou-se, também, o efeito do ozônio no controle de doenças bem como na sensibilidade dos frutos às diferentes concentrações de ozônio utilizadas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Grãos do Setor de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), no Laboratório de Análise de Frutas do Setor de Fruticultura do Departamento de Fitotecnia (DFT), na Clínica de Doenças de Plantas do Departamento de Fitopatologia (DFP), no Laboratório de Biologia Estrutural do Departamento de Biologia Geral (DBG), todos localizados no campus da Universidade Federal de Viçosa – UFV, em Viçosa, MG.

Foram utilizados frutos de goiabeiras ‘Pedro Sato’ colhidos em propriedade localizada no município de Guiricema, MG (21°00’27’’ de latitude Sul, 42°43’05’’ de longitude Oeste e 305 m de altitude) (Figura 1).

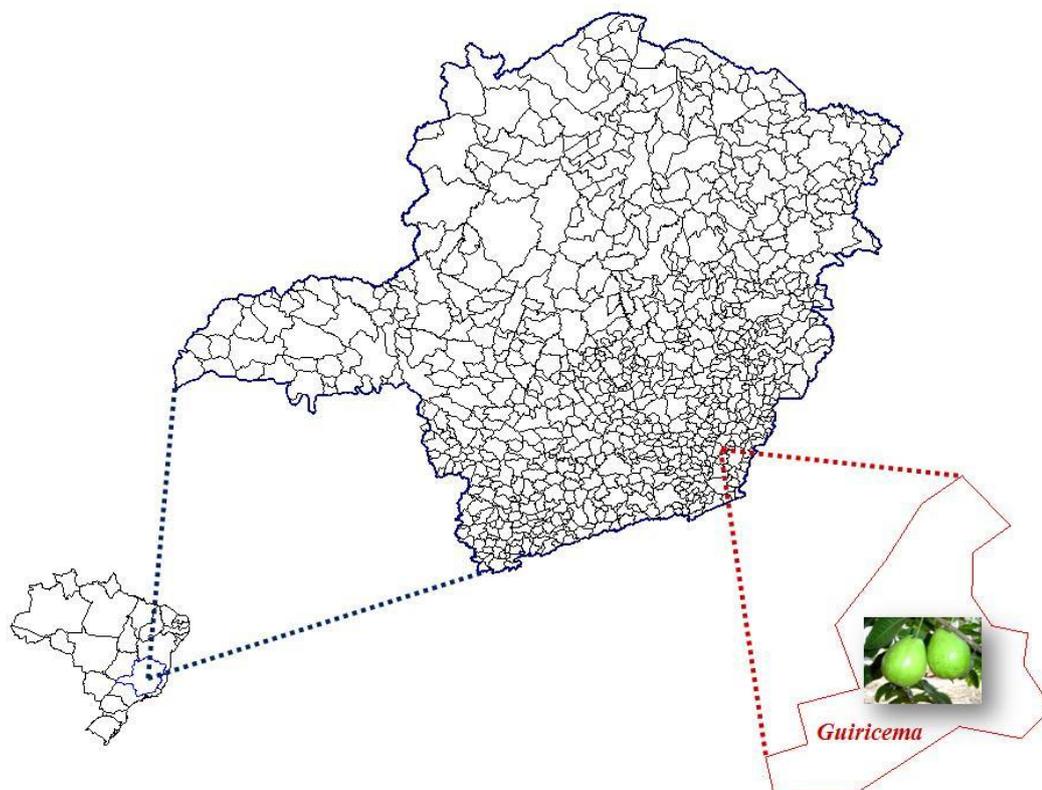


Figura 1 – Localização da propriedade, Guiricema, MG.

Os frutos foram colhidos no estágio de maturação 1 (casca verde escura) (AZZOLINI et al., 2004) e fisiologicamente desenvolvidos, com ângulo de cor hue (°h) médio de 117,76 °h no dia da colheita. Depois de colhidos, os frutos foram transportados até o Laboratório de Grãos, onde foram selecionados, padronizados quanto à maturação e ausência de defeitos e submetidos à desinfecção com hipoclorito de sódio (NaClO) a 2% e colocados sobre papel toalha em bancadas para secar em condições ambientes de laboratório.

### Geração do Gás Ozônio

O ozônio foi gerado pelo método de descarga corona (Figura 2), que consiste na aplicação de uma alta tensão entre dois eletrodos separados por um material dielétrico na presença de oxigênio. Essa alta tensão excita as moléculas de oxigênio, induzindo-as a se separar em átomos que combinam com outras moléculas de oxigênio para produzir moléculas de ozônio.

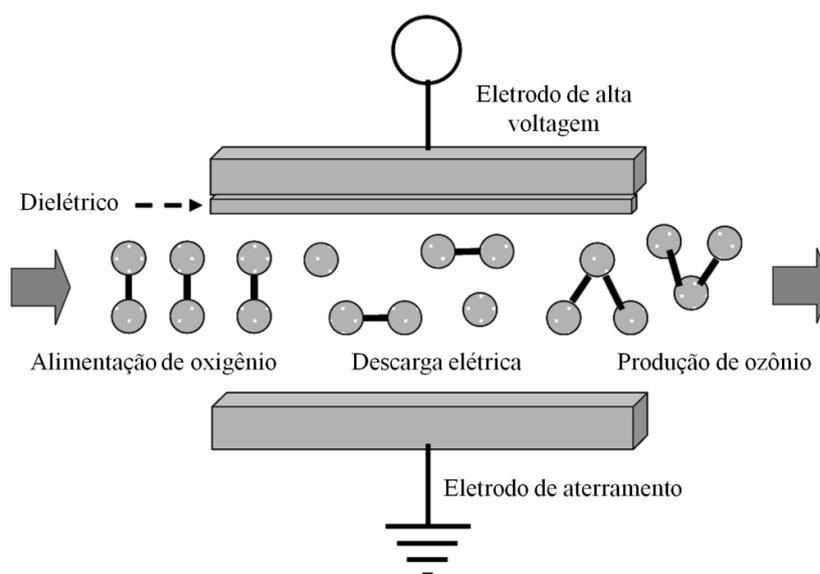


Figura 2 – Geração de ozônio pelo método de descarga corona (Adaptada de RICE et al., 1981).

O gás ozônio foi obtido de um gerador (Gerador de Ozônio O&LM) desenvolvido no Departamento de Física do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) em São José dos Campos, SP. No processo de geração do gás, foi utilizado como insumo oxigênio com grau de pureza de  $90\pm 3\%$ , isento de umidade, obtido de concentrador Mark 5 Plus Oxygen Concentrator (Figura 3).



Figura 3 – Concentrador de oxigênio e gerador de ozônio.

A concentração do ozônio foi determinada pelo método iodométrico (CLESCERL et al. 2000), que consiste no borbulhamento do ozônio em 50 mL de solução de iodeto de potássio (KI) 1 N, com produção de iodo ( $I_2$ ). Para garantir o deslocamento da reação para a produção de  $I_2$ , foi necessário acidificar o meio com 2,5 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 1 N. A solução foi então titulada com tiosulfato de sódio ( $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ) 0,005 N, com solução de amido 1% como indicador.

## Concentração e Tempo de Saturação do Gás Ozônio na Câmara de Fumigação e em Frutos da Goiabeira ‘Pedro Sato’

A concentração e o tempo de saturação do gás ozônio na câmara de fumigação e em frutos de goiaba ‘Pedro Sato’ foram determinados, injetando-se o gás nas concentrações de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460  $\mu\text{g L}^{-1}$  e vazão de 2  $\text{L min}^{-1}$  (Figura 4).



Figura 4 – Câmara de fumigação desenvolvida e confeccionada em material acrílico com sistema de vedação por meio de perfis de silicone e fechos rápidos, com capacidade de 60 L, podendo comportar até 48 frutos de goiaba.

Determinou-se a concentração residual do gás, após a passagem pela câmara de fumigação, tanto vazia, quanto contendo os frutos, em intervalos de tempo regulares, até que ela se mantivesse constante, seguindo método proposto por Santos

et al. (2007). Para relacionar a concentração residual do gás ozônio com o tempo, fez-se ajuste da equação sigmoidal aos dados obtidos (Equação 1):

$$y = \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{x-c}{b}\right)}} \quad \text{Eq. 1}$$

em que

$y$  = concentração do gás ozônio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ );

$x$  = tempo (min); e

$a, b, c$  = são os parâmetros da equação.

A partir dos valores das constantes  $b$  e  $c$ , de acordo com Venegas et al. (1998), foi possível obter a concentração e o tempo de saturação do gás ozônio na câmara de fumigação vazia e com os frutos (Equação 2):

$$t_{sat} = 2b + c \quad \text{Eq. 2}$$

em que

$t_{sat}$  = tempo de saturação (min).

Para a obtenção das equações de regressão e plotagem dos gráficos referentes à concentração e ao tempo de saturação do gás ozônio na câmara de fumigação vazia e com os frutos, utilizou-se o software SigmaPlot, versão 10.0 (SIGMAPLOT, 2006).

### **Ozonização pós-colheita na conservação de goiabas ‘Pedro Sato’**

Para estabelecer as concentrações do gás ozônio empregadas no processo de ozonização como tecnologia pós-colheita na conservação dos frutos da goiabeira ‘Pedro Sato’, fez-se a injeção do gás nas concentrações de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460  $\mu\text{g L}^{-1}$  a uma vazão de 2  $\text{L min}^{-1}$  durante 60 min, na câmara de fumigação contendo 48 frutos.

Após a ozonização, os frutos foram acondicionados em bandejas de poliestireno expandido, dentro de caixas plásticas e mantidos a  $23 \pm 2$  °C e  $70 \pm 2\%$

Umidade Relativa (UR) (Figura 5), onde permaneceram até não mais atenderem aos padrões comerciais.



Figura 5 – Frutos de goiabeira ‘Pedro Sato’ submetidos ao processo de ozonização como tecnologia pós-colheita em diferentes concentrações e período de exposição, e armazenados em condições ambientes ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR).

Durante o período de armazenamento, os frutos foram avaliados periodicamente quanto à incidência e à severidade de doenças.

Os valores de incidência de doenças foram obtidos por meio da equação 3:

$$I(\%) = \frac{NFD}{NTF} \times 100 \quad \text{Eq. 3}$$

em que

$I(\%)$  = Incidência de doenças (%),

$NFD$  = Número de frutos doentes,

$NTF$  = Número total de frutos.

Considerando-se a inexistência de métodos padronizados para a quantificação da severidade de doenças causadas por fungos em frutos de goiaba, foi desenvolvida uma escala diagramática. Para elaboração da escala, foram usados frutos da goiabeira 'Pedro Sato', não ozonizados, que estavam acondicionados em bandejas de poliestireno expandido, dentro de caixas plásticas e armazenados em condições ambientes ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR). A face externa de cada fruto foi fotografada com câmara digital Sony Cyber-Shot Modelo DSC-W320. Com base nas imagens digitalizadas determinou-se visualmente a porcentagem de área lesionada, adotando-se a escala de nota: 1 (0 a 1% da área infectada = sem doença), 2 (2 a 5% da área infectada = ligeira doença), 3 (6 a 9% da área infectada = doença moderada), 4 (10 a 49% da área infectada = doença severa) e 5 (50 a 100% da área infectada = doença muito severa), descrita por Corkidi et al. (2006), para frutos de manga e adaptada para os frutos de goiaba, respeitando as limitações da acuidade da vista humana, definidas pela lei de Weber-Fechner (NUTTER JR. e SCHULTZ, 1995). Ao final desta avaliação, os frutos foram encaminhados para a Clínica de Doenças de Plantas para observação de sintomas e sinais de doenças, sob microscopia de luz (BARNETT e HUNTER, 1998).

### **Aspectos visuais das goiabas 'Pedro Sato' submetidas ao ozônio**

Para avaliar o efeito do processo de ozonização no aspecto visual externo dos frutos, fez-se a injeção do gás, nas concentrações de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460

$\mu\text{g L}^{-1}$  a uma vazão de  $2 \text{ L min}^{-1}$  durante 60 min, na câmara de fumigação contendo 48 frutos. Em seguida, os frutos foram acondicionados em bandejas de poliestireno expandido, dentro de caixas plásticas, onde permaneceram durante nove dias, mantidos em condições ambientes ( $23\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $70\pm 2\% \text{ UR}$ ).

Após o período de armazenamento, os frutos foram transportados para o Laboratório de Biologia Estrutural para a análise de imagem do seu aspecto externo. As imagens foram feitas com uma câmera Nikon D700 acoplada a uma lupa estereoscópica binocular (com aumento de 1,0 e 5,0X) Olympus Modelo SZH10. Na análise do aspecto externo das goiabas ‘Pedro Sato’, submetida ao processo ozonização, foram consideradas coloração e textura do epicarpo.

O experimento foi realizado em esquema de parcelas subdivididas, sendo nas parcelas as concentrações do gás ozônio (0, 65, 95, 185, 275, 370 e  $460 \mu\text{g L}^{-1}$ ), e nas subparcelas os dias de avaliação ou colheita (0, 1, 3, 5, 7 e 9 dias) no delineamento inteiramente casualizado com 3 repetições de 5 frutos por unidade experimental. Os dados foram submetidos à análise descritiva utilizando o programa estatístico SAEG – Sistema para Análises Estatísticas, Software SAEG 9.0 (SAEG, 2007).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 6 apresentada as curvas referentes à concentração residual do ozônio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em função da exposição durante o processo de saturação da câmara sem (A) e com frutos (B), a 24 °C e vazão de  $2,0 \text{ L min}^{-1}$ , para as respectivas concentrações de ozônio (0, 65, 95, 185, 275, 370 e  $460 \mu\text{g L}^{-1}$ ), e a Tabela 1, os modelos de regressão ajustados e seus respectivos coeficientes de determinação, que relacionam a concentração residual do ozônio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em função período de exposição ao gás, durante o processo de saturação.

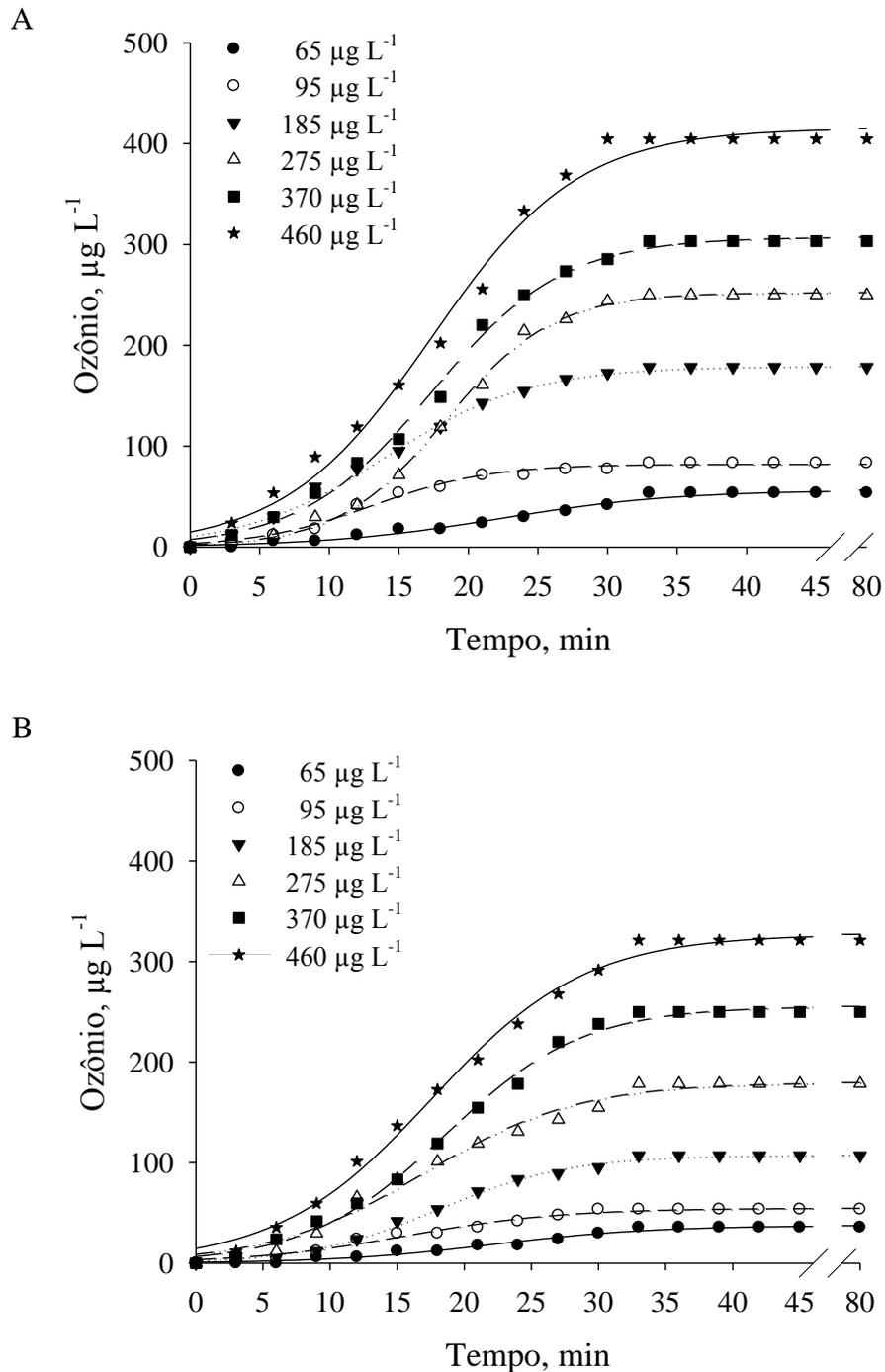


Figura 6 – Concentração residual do ozônio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em função do período de exposição durante o processo de saturação da câmara (A) e dos frutos (B), a 24 °C e vazão de 2,0 L  $\text{min}^{-1}$ , para as concentrações de ozônio de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

Tabela 1 – Modelos de regressão para a concentração residual do ozônio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) em função do período de exposição durante o processo de saturação na câmara e em frutos de goiaba a 24 °C e vazão de 2,0 L  $\text{min}^{-1}$ , para as concentrações de ozônio de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

| Câmara     | $[\text{O}_3]_{\text{inicial}}$<br>( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) | Equações Ajustadas  | $R^2$  | $t_{\text{sat}}$<br>(min) | $[\text{O}_3]_{\text{sat}}$<br>( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) |
|------------|---|---|--------|---------------------------|---|
| Sem frutos | 65  | $\hat{y} = \frac{57,99}{1 + e^{-\left(\frac{x-22,76}{6,66}\right)}}$  | 0,9880 | 36                        | 51  |
|            | 95  | $\hat{y} = \frac{81,80}{1 + e^{-\left(\frac{x-13,04}{4,17}\right)}}$  | 0,9922 | 21                        | 72  |
|            | 185   | $\hat{y} = \frac{179,77}{1 + e^{-\left(\frac{x-14,03}{5,14}\right)}}$ | 0,9960 | 24                        | 158   |
|            | 275   | $\hat{y} = \frac{252,85}{1 + e^{-\left(\frac{x-18,39}{3,89}\right)}}$ | 0,9986 | 26                        | 223   |
|            | 370   | $\hat{y} = \frac{308,17}{1 + e^{-\left(\frac{x-17,41}{4,74}\right)}}$ | 0,9974 | 27                        | 271   |
|            | 460   | $\hat{y} = \frac{418,11}{1 + e^{-\left(\frac{x-17,44}{5,35}\right)}}$ | 0,9943 | 28                        | 368   |
| Com frutos | 65  | $\hat{y} = \frac{38,20}{1 + e^{-\left(\frac{x-22,55}{6,21}\right)}}$  | 0,9861 | 35                        | 34  |
|            | 95  | $\hat{y} = \frac{54,85}{1 + e^{-\left(\frac{x-15,80}{5,91}\right)}}$  | 0,9875 | 28                        | 48  |
|            | 185   | $\hat{y} = \frac{107,91}{1 + e^{-\left(\frac{x-18,03}{4,88}\right)}}$ | 0,9976 | 28                        | 95  |
|            | 275   | $\hat{y} = \frac{180,05}{1 + e^{-\left(\frac{x-17,08}{5,75}\right)}}$ | 0,9811 | 29                        | 159   |
|            | 370   | $\hat{y} = \frac{257,04}{1 + e^{-\left(\frac{x-18,68}{5,19}\right)}}$ | 0,9971 | 29                        | 226   |
|            | 460   | $\hat{y} = \frac{328,90}{1 + e^{-\left(\frac{x-17,67}{5,80}\right)}}$ | 0,9964 | 29                        | 290   |

$R^2$  = Coeficiente de determinação;  $t_{\text{sat}}$  = Tempo de saturação;  $[\text{O}_3]_{\text{sat}}$  = Concentração de saturação.

Para a câmara de fumigação vazia (Tabela 1), o tempo de saturação do gás ozônio variou entre 21 e 36 min. A concentração de saturação do gás ozônio variou entre 51 e 368  $\mu\text{g L}^{-1}$ , para os valores injetados. Destaca-se que essa variação de concentração residual do ozônio obtida revela redução média de 21% em relação ao valor inicial injetado. Com a capacidade de 48 frutos de goiaba dentro da câmara de fumigação, às mesmas condições de temperatura e vazão, obteve-se um tempo de saturação entre 28 e 35 min, com concentração residual variando entre 34 e 290  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Esses valores revelam redução média de 44% em relação à concentração inicial do gás ozônio injetado.

Dependendo das condições do meio, o tempo de meia vida do ozônio pode variar de alguns segundos até horas. Em água destilada a 20 °C, a meia vida do ozônio dissolvido varia entre 20 e 30 min (CULLEN et al., 2009), enquanto na forma gasosa apresenta meia vida menor que 20 min a 20 °C (NOVAK e YUAN, 2007). A estabilidade do ozônio no meio depende de diversos fatores, entre os quais, destaca-se o pH, uma vez que os íons hidroxilas iniciam o processo de decomposição do ozônio (von GUNTEN, 2003).

Nesse sentido, pode-se inferir que, apesar de o ozônio gasoso ter curto tempo de meia vida, 23% do gás injetado pode estar sendo absorvido pelo epicarpo (casca) e/ou pelo mesocarpo (polpa) dos frutos, podendo estar diretamente ligado à redução na incidência e na severidade das doenças, bem como no desencadeamento de reações oxidativas, externa e/ou internamente, em função da concentração de ozônio a que os frutos foram submetidos.

O maior tempo de saturação do gás ozônio na câmara com os frutos foi de 35 min. A partir deste resultado, determinou-se que o período de exposição ao gás fosse de, no mínimo, 40 min. Extrapolando este tempo de exposição, optou-se por

empregar os períodos de exposição de 60 e 80 min, correspondendo aos incrementos de 50% e 100% do tempo mínimo de saturação, respectivamente.

Verificou-se que a incidência da doença ficou abaixo de 3% quando os frutos foram ozonizados nas concentrações de 185, 275 e 370  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Não foram observados sintomas da doença nos frutos submetidos à concentração de 460  $\mu\text{g L}^{-1}$  (Tabela 2).

Tabela 2 – Incidência de doenças (%) em goiabas ‘Pedro Sato’ submetidas ao processo de ozonização às concentrações de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460  $\mu\text{g L}^{-1}$  e por tempo de exposição de 60 mim, em função do período de armazenamento (0, 1, 3, 5, 7 e 9 dias) a  $23\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$  e  $70\pm 2\%$  UR.

| Dias de<br>Armazenamento | Incidência de doenças, % (Média±d.p.)           |             |             |           |           |           |           |
|--------------------------|---|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                          | Concentração de ozônio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) |             |             |           |           |           |           |
|                          | 0   | 65          | 95          | 185       | 275       | 370       | 460       |
| 0                        | 0,00±0,00                                       | 0,00±0,00   | 0,00±0,00   | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 |
| 1                        | 4,17±8,33                                       | 4,17±4,81   | 0,00±0,00   | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 |
| 3                        | 18,75±10,48                                     | 20,83±20,97 | 2,08±4,17   | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 |
| 5                        | 62,50±28,46                                     | 33,33±13,60 | 12,50±15,95 | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 |
| 7                        | 79,17±15,95                                     | 66,67±13,60 | 16,67±13,60 | 1,04±2,08 | 1,04±2,08 | 0,00±0,00 | 0,00±0,00 |
| 9                        | 95,83±8,33                                      | 91,67±9,62  | 25±16,67    | 2,08±4,17 | 1,04±2,08 | 1,04±2,08 | 0,00±0,00 |

d.p.=desvio padrão.

A severidade da antracnose, avaliada com a escala diagramática (Figura 7), foi maior nos frutos submetidos às concentrações de ozônio de 65 e 95  $\mu\text{g L}^{-1}$ , provocando lesões escuras na casca e depreciando sua qualidade. Observa-se que o ozônio nestas concentrações praticamente não inibiu o desenvolvimento da doença, atingindo até 49% de área lesionada do fruto. Para as concentrações de ozônio acima de 95  $\mu\text{g L}^{-1}$ , praticamente não foi detectada evolução da agressividade da doença (Tabela 3 e Figura 8).

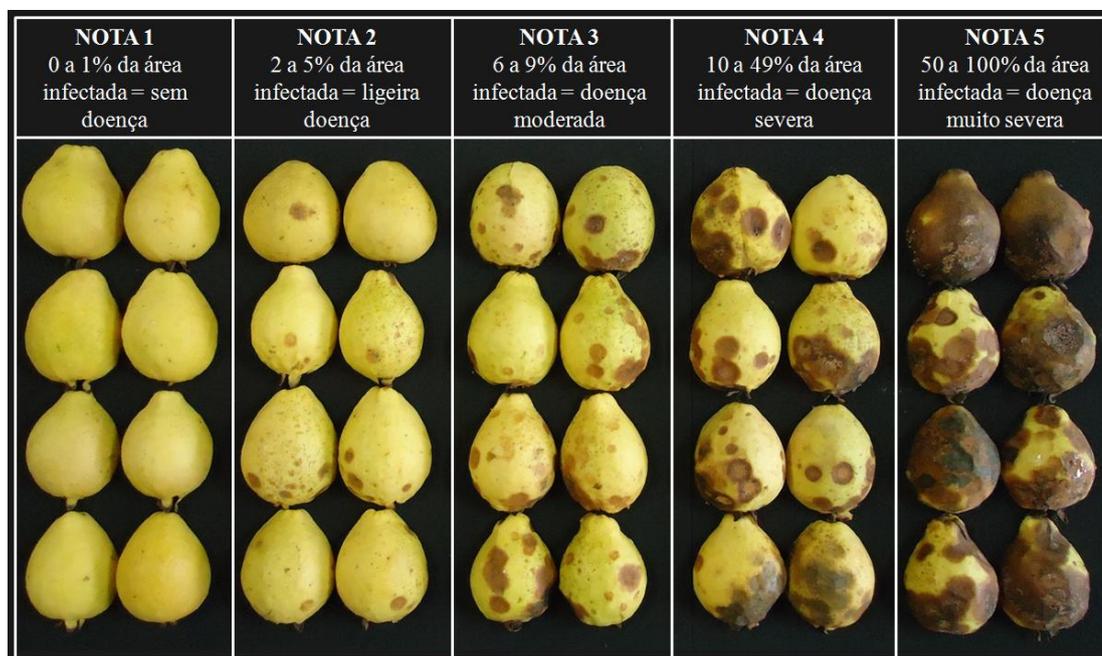


Figura 7 – Escala diagramática para avaliação da severidade da doenças em goiabas ‘Pedro Sato’ com base na porcentagem de área afetada.

Tabela 3 – Severidade de doenças (notas), em goiabas ‘Pedro Sato’ submetidas ao processo de ozonização às concentrações de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460  $\mu\text{g L}^{-1}$  e por tempo de exposição de 60 min, em função do período de armazenamento (0, 1, 3, 5, 7 e 9 dias) a  $23\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $70\pm 2\%$  UR.

| Dias de<br>Armazenamento | Severidade de doenças, notas (Média $\pm$ d.p.) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|--------------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                          | Concentração de ozônio ( $\mu\text{g L}^{-1}$ ) |                 |                 |                 |                 |                 |                 |
|                          | 0   | 65              | 95              | 185             | 275             | 370             | 460             |
| 0                        | 1,00 $\pm$ 0,00                                 | 1,00 $\pm$ 0,00 | 1,00 $\pm$ 0,00 | 1,00 $\pm$ 0,00 | 1,00 $\pm$ 0,00 | 1,00 $\pm$ 0,00 | 1,00 $\pm$ 0,00 |
| 1                        | 1,04 $\pm$ 0,08                                 | 1,08 $\pm$ 0,09 | 1,00 $\pm$ 0,00 |
| 3                        | 1,17 $\pm$ 0,13                                 | 1,58 $\pm$ 0,84 | 1,04 $\pm$ 0,08 | 1,00 $\pm$ 0,00 | 1,00 $\pm$ 0,00 | 1,00 $\pm$ 0,00 | 1,00 $\pm$ 0,00 |
| 5                        | 2,04 $\pm$ 0,90                                 | 1,79 $\pm$ 0,71 | 1,25 $\pm$ 0,32 | 1,00 $\pm$ 0,00 | 1,00 $\pm$ 0,00 | 1,00 $\pm$ 0,00 | 1,00 $\pm$ 0,00 |
| 7                        | 2,75 $\pm$ 0,44                                 | 2,67 $\pm$ 0,13 | 1,33 $\pm$ 0,27 | 1,04 $\pm$ 0,08 | 1,04 $\pm$ 2,08 | 1,00 $\pm$ 0,00 | 1,00 $\pm$ 0,00 |
| 9                        | 3,54 $\pm$ 0,71                                 | 3,62 $\pm$ 0,92 | 1,50 $\pm$ 0,33 | 1,04 $\pm$ 0,08 | 1,08 $\pm$ 0,16 | 1,04 $\pm$ 0,08 | 1,00 $\pm$ 0,00 |

Notas: 1 (0 a 1% da área infectada = sem doença), 2 (2 a 5% da área infectada = ligeira doença), 3 (6 a 9% da área infectada = doença moderada), 4 (10 a 49% da área infectada = doença severa) e 5 (50 a 100% da área infectada = doença muito severa); d.p.=desvio padrão.

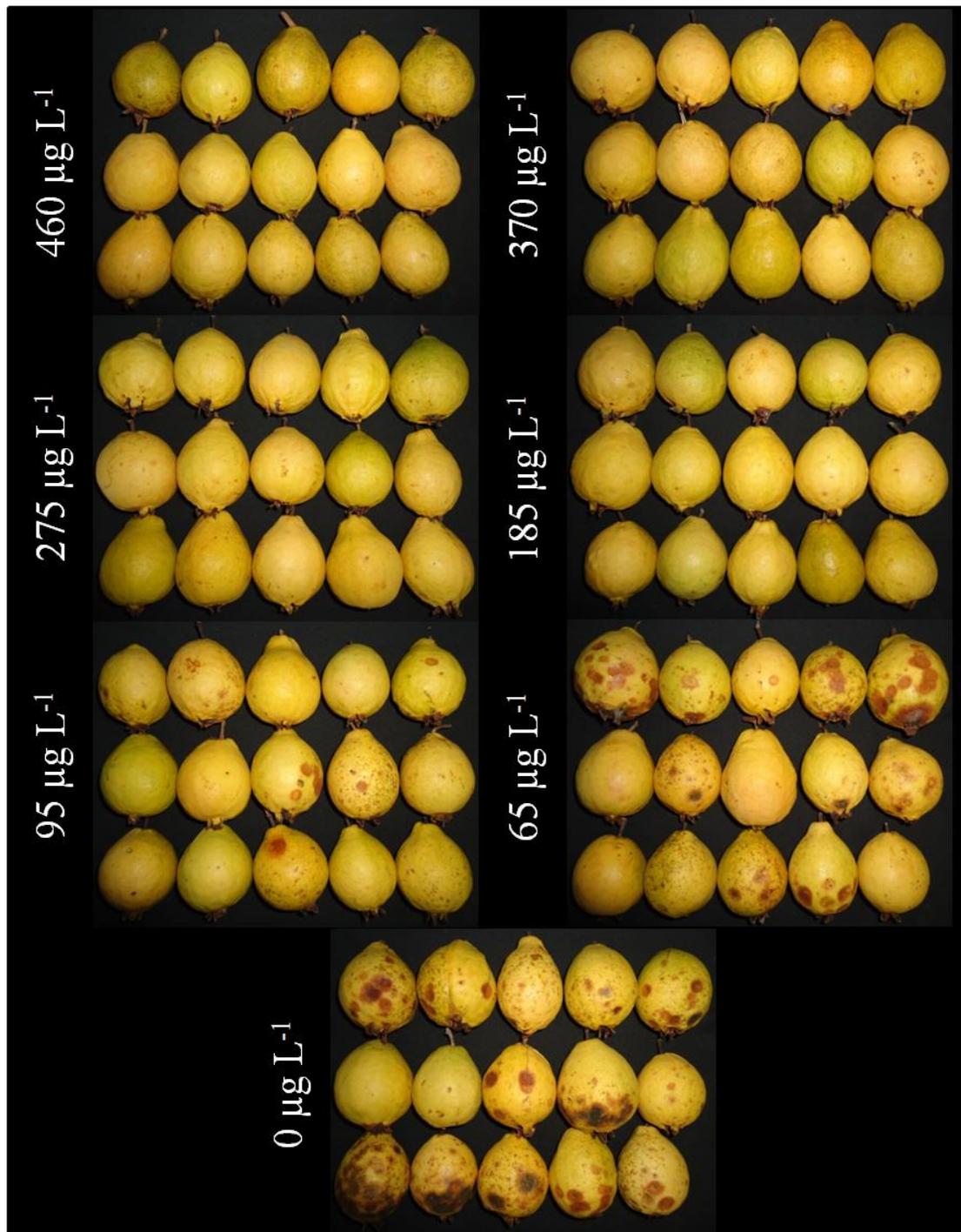


Figura 8 – Incidência e severidade de doenças nas goiabas ‘Pedro Sato’ submetidas ao processo de ozonização às concentrações de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460  $\mu\text{g L}^{-1}$ , depois de nove dias de armazenamento em condições ambientes ( $23\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $70\pm 2\%$  UR).

Amostras dos frutos de goiaba 'Pedro Sato', utilizadas na elaboração da escala diagramática, encaminhadas à Clínica de Doença de Plantas para observação de sintomas e sinais de doenças sob microscopia de luz, revelaram presença do fungo *C. gloeosporioides* Penz., agente causal da antracnose em goiabeira, como o único microrganismo presente nos frutos infectados no campo (Figura 9).



Figura 9 – Antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) incidente nas goiabas 'Pedro Sato', depois de nove dias de armazenamento ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR). Sintomas nos frutos (A); Conídios (B); Conídios hialinos e unicelulares (C).

A penetração natural do patógeno *C. gloeosporioides* promoveu podridão nos frutos de goiaba ‘Pedro Sato’ maduros com pequenas manchas circulares de coloração marrom, que aumentaram de tamanho, atingindo grande extensão do fruto. A Figura 9 mostra os aspectos morfológicos dos conídios, com formatos cilíndricos, às vezes levemente elipsoides, hialinos, unicelulares e protegidos por uma massa mucilaginosa de coloração castanha.

Não foram constatados sinais da pinta preta causada por *Guignardia psidii*, de podridão-preta (*Fusicoccum* sp.) ou peduncular (*Botryodiplodia theobromae*), podridão-mole causada por *Gliocladium roseum*, *Rhizopus stolonifer* e *Sclerotium rolfsii*, manchas e/ou apodrecimento causados por *Alternaria* sp. e mancha bacteriana (*Xanthomonas campestris* pv. *passiflorae*), principais doenças (BARKAI-GOLAN, 2001; AMARAL et al., 2006; MARTINS et al., 2007) encontradas nos frutos após a colheita, ocasionadas por patógenos que infectam os frutos antes e/ou após a colheita, independentemente da presença ou ausência de ferimentos

Estes resultados sugerem que o uso da escala diagramática desenvolvida, com o intuito de avaliar a severidade de antracnose em goiabas ‘Pedro Sato’, causada por *C. gloeosporioides*, permitirá quantificar os sintomas desta doença.



Figura 10 – Goiabas ‘Pedro Sato’ com anomalia no epicarpo, provocada pelo processo de ozonização às concentrações de 0, 65, 95, 185, 275, 370 e 460  $\mu\text{g L}^{-1}$  depois de nove dias de armazenamento. Imagens: **José Lino Neto**.

As anomalias induzidas pelo ozônio se caracterizaram por pontuações esverdeadas e pela formação de bolhas vermelho-amarronzadas no epicarpo dos frutos (Figura 10). Estas anomalias foram observadas quatro dias após a exposição ao ozônio gasoso nas concentrações acima de 185  $\mu\text{g L}^{-1}$  (Figura 11). Com o decorrer

do armazenamento e consequente avanço no processo de amadurecimento dos frutos, as anomalias passaram a se destacar, restringindo-se, no entanto, apenas ao epicarpo dos frutos. Sintomas similares foram descritos por vários pesquisadores (FURLAN et al.; 2007; PINA e MORAES 2007, 2011; TRESMONDI e ALVES, 2011) quando relataram o efeito do ozônio em goiabeiras ‘Paluma’ e em ‘Pedro Sato’ (MORAES et al., 2011). Portanto, as anomalias observadas no presente trabalho estão de acordo com o padrão estabelecido na literatura (SÁNCHEZ et al., 2002; NOVAK et al., 2003).





Figura 11 – Anomalias (lupa: aumento 5X) induzidas pelo ozônio no epicarpo dos frutos expostos às concentrações de  $275 \mu\text{g L}^{-1}$  (A),  $370 \mu\text{g L}^{-1}$  (B) e  $460 \mu\text{g L}^{-1}$  (C) depois de nove dias de armazenamento em condições ambientes ( $23\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $70\pm 2\%$  UR). Imagens: *José Lino Neto*

Informações sobre distúrbios fisiológicos que podem levar a anomalias na casca (epicarpo) de frutos de goiaba, independentemente da variedade, submetidos ao processo de ozonização são inexistentes.

A manifestação de sintomas como pontuações vermelho-amarronzadas comumente são denominadas de pigmentação ou bronzeamento, constituindo uma forma de injúria crônica resultante da formação e acúmulo dentro da célula viva de pigmentos fenólicos, como a antocianina, quinonas polimerizadas ou proteínas (KRUPA e MANNING 1988; HEATH et al., 2009).

Spalding (1966) relatou lesões do tipo sardas amarronzadas em pêssegos tratados com ozônio a  $1,7 \mu\text{g L}^{-1}$ . Outros pesquisadores (SMOCK e WATSON, 1941; RIDLEY e SIMS, 1967) também verificaram douramento da região dos estômatos de pêssegos quando expostos a uma concentração de  $3,7 \mu\text{g L}^{-1}$  de ozônio.

O ozônio absorvido pelo vegetal pode ser responsável por desencadear uma intensa produção de EROs, Espécies Reativas de Oxigênio (MUDD, 1996; PELL et al., 1997). As EROs são caracterizadas em um grupo químico que atua como agente oxidante, incluindo desde radicais oxigenados (radical superóxido –  $\text{O}_2^{\bullet}$ , radical hidroxila –  $\text{OH}^{\bullet}$ , e radical hidroperoxila –  $\text{HO}_2^{\bullet}$ ) até não-radicais derivados do oxigênio (peróxido de hidrogênio –  $\text{H}_2\text{O}_2$  e oxigênio singlete –  $^1\text{O}_2$ ) (MITTLER, 2002, HALLIWELL, 2006).

A produção de EROs é uma consequência inerente da vida aeróbica e de várias vias metabólicas localizadas em diferentes compartimentos celulares (mitocôndrias, cloroplastos, peroxissomos e apoplasto) (APEL e HIRT, 2004), participando como mensageiros secundários responsáveis pela sinalização de mudanças que venham ocorrer no ambiente, na defesa contra patógenos, na expressão gênica, na morte celular, assim como no desenvolvimento e no

crescimento celular (MITTLER, 2002; FOYER e NOCTOR, 2005). No entanto, devido à sua reatividade, quando em excesso, as EROs apresentam ação deletéria, oxidando moléculas biológicas como: proteínas, aminoácidos, lipídeos, ácidos nucleicos, levando à produção de outras EROs (BLOKHINA et al., 2003; HALLIWELL, 2006), sendo necessário seu controle para minimização destes efeitos deletérios.

Mecanismos que evitam a produção excessiva de EROs incluem adaptações anatômicas e fisiológicas, movimento dos cloroplastos e supressão da fotossíntese (MITTLER, 2002), além da ação de compostos e enzimas antioxidantes que dissipam o excesso de energia sem que eles mesmos se convertam em um radical destrutivo (BLOKHINA et al., 2003; APEL e HIRT, 2004, GRATÃO et al., 2005; JALEEL et al. 2009).

Após ser absorvido pelos estômatos e se difundir no espaço apoplástico, o ozônio ainda pode reagir com moléculas gasosas (etileno e isoprenoides, por exemplo), produzindo radicais orgânicos reativos ou pode se solubilizar na água que circunda os espaços aéreos, reagir com componentes da parede celular e com grupos sulfidrilas e promover a formação de EROs, que por sua vez irão reagir formando mais EROs (KANGASJÄRVI et al., 1994; MUDD 1996). Se a produção de EROs for superior à capacidade de sua remoção pelo sistema antioxidativo, o O<sub>3</sub> e/ou seus produtos de reação podem alcançar o plasmalema e promover um severo estresse oxidativo no interior da célula (LONG E NAIDU, 2002). Contudo, se a concentração de EROs for muito alta e ocorrerem danos oxidativos irreparáveis ao DNA, a morte celular programada e/ou necroses podem ocorrer (HALLIWELL, 2006).

Embora os mecanismos do efeito do ozônio sobre os frutos da goiabeira, não estejam totalmente elucidados, sabe-se que os mecanismos que justificam os

sintomas foliares nesta planta, exposta a diferentes concentrações de ozônio, podem auxiliar na elucidação das anomalias observadas, entre elas, a: formação de pontuações esverdeadas e de bolhas vermelho-amarronzadas, no epicarpo dos frutos quando submetidos ao processo de ozonização pós-colheita.

Devido ao aspecto visual do epicarpo, as goiabas ‘Pedro Sato’ tornam-se inviáveis para o consumo *in natura*, podendo ser aproveitadas para a industrialização, pois tal como a ocorrência da anomalia “anelamento juvenil da goiaba” (WATANABE et al., 2011), as anomalias aqui observadas somente afetaram o epicarpo dos frutos e podem não ter comprometido sua polpa.

Estes resultados foram importantes para as escolhas das concentrações e períodos de exposição a serem empregados no processo de ozonização dos experimentos discutidos nos próximos capítulos.

#### 4. CONCLUSÕES

A análise dos dados e a interpretação dos resultados obtidos, durante o processo de ozonização das goiabas ‘Pedro Sato’, permitiram concluir que mais de 20% do gás injetado interagiu com os frutos e pode ser o responsável pela redução na incidência da severidade da doença, aqui identificada como sendo a antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides*.

Concentrações de ozônio inferiores a  $185 \mu\text{g L}^{-1}$  não foram suficientes para impedir o desenvolvimento da antracnose nos frutos. A incidência de doenças ficou abaixo dos 3%, quando os frutos foram submetidos às concentrações de ozônio de 185, 275 e  $370 \mu\text{g L}^{-1}$ . Não foi observada incidência de doenças nos frutos de goiaba ‘Pedro Sato’, submetidos ao ozônio na concentração de  $460 \mu\text{g L}^{-1}$ .

Os frutos de goiaba ‘Pedro Sato’ responderam ao estresse oxidativo induzido pelo ozônio em concentrações acima de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$ , causando anomalias visíveis, injúrias com formação de pontuações esverdeadas, e bolhas vermelho-amarronzadas no epicarpo dos frutos.

## 5. REFERÊNCIAS

- AMARAL, C. S.; SALVAIA, A.; ANGELI, S. S.; MARTINS, M. C.; LOURENÇO, S. A.; AMORIM, L. Incidência de patógenos pós-colheita em goiabas Kumagai. In: XXIX Congresso Paulista de Fitopatologia, 2006, Botucatu, **Summa Phytopathologica**, v.32, p.57-58, 2006.
- AMORIM, L. Colonização e reprodução. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. Manual de Fitopatologia. São Paulo: Ceres, 1995. 919p.
- APEL, K.; HIRT, H. 2004. Reactive oxygen species: Metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annul Review of Plant Biology**, v.55, p.373-399, 2004.
- AZZOLINI, M.; JACOMINO, A. P.; BRON, I. U. Índices para avaliar qualidade pós-colheita de goiabas em diferentes estádios de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.2, p.139-145, 2004.
- BARKAI-GOLAN, R. **Postharvest diseases of fruits and vegetables: Development and control**. Amsterdam: Elsevier, 2001. 418p.
- BARNETT, H.L.; HUNTER, B.B. **Illustrated Genera of Imperfect Fungi**. 4<sup>th</sup> ed. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1998. 218p.
- BLOKHINA, O.; VIROLAINEN, E.; FAGERSTEDT, K. V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. **Annals of Botany**, v.91, p.179-194, 2003.
- BIALKA, K. L.; DEMIRCI, A. Utilization of Gaseous Ozone for the Decontamination of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* on Raspberries and Strawberries. **Journal of Food Protection**, v.70, p.1093-1098, 2007.
- CLESCERL, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Denver: Americam Water Works Association, 2000. 1220p.
- CORKIDI, G.; BALDERAS-RUÍZ, K. A.; TABOADA, B.; SERRANO-CARREÓN, L.; GALINDO, E. Assessing mango anthracnose using a new three-dimensional image-analysis technique to quantify lesions on fruit. **Plant Pathology**, v.55, p.250-257, 2006.
- CULLEN, P. J.; TIWARI, B. K.; O'DONNELL, C. P.; MUTHUKUMARAPPAN, K. Modelling approaches to ozone processing of liquid foods. **Trends in Food Science & Technology**, v.20, p.125-136, 2009.
- FISCHER, I. H.; ALVES, S. A. M.; ALMEIDA, A. M.; ARRUDA, M. C.; BERTANI, R. M. A.; GARCIA, M. J. M. Elaboração e validação de escala diagramática para quantificação da severidade da antracnose em frutos de maracujá amarelo. **Summa Phytopathologica**, v.35, n.3, p.226-228, 2009.
- AGRIANUAL 2012 – **Anuário da agricultura brasileira**. São Paulo: IFNP, 2012. 482p.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxidant signaling in plants: a re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. **Plant, Cell & Environment**, v.28, p.1056-1071, 2005.

FURLAN, C. M.; MORAES, R. M.; BULBOVAS, P.; DOMINGOS, M.; SALATINO, A.; SANZ, M. J. *Psidium guajava* 'Paluma' (the guava plant) as a new bio-indicator of ozone in the tropics. **Environmental Pollution**, n.147, p.691-695, 2007.

GRATÃO, P. L.; POLLE, A.; LEA, P.; AZEVEDO, R. A. Making the life of heavy metalstressed plant a little easier. **Functional Plant Biology**, v.32, p.481-494, 2005.

HALLIWELL, B. Reactive species and antioxidants. Redox biology is a fundamental theme of aerobic life. **Plant Physiology**, v.141, p.312-322, 2006.

HEATH, R. L.; LEFOHN, A. S.; MUSSELMAN, R. C. Temporal processes that contribute to nonlinearity in vegetation responses to ozone exposure and dose. **Atmospheric Environment**, v.43, p.2919-2928, 2009.

JALEEL, C. A.; RIADH, K.; GOPI, R.; MANIVANNAN, P.; INÈS, J.; AL-JUBURI, H. J.; CHANG-XING, Z.; HONG-BO, S.; PANNEERSELVAM, R. Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. **Acta Physiology Plant**, v.31, p.427-436, 2009.

KANGASJÄRVI, J.; TALVINEN, J.; UTRIAINEN, M.; KARJALAINEN, R. 1994. Plant defence systems induced by ozone. **Plant, Cell and Environment**, v.17, p.783-794, 1994.

KHADRE, M. A.; YOUSEF, A. E.; KIM, J. G. Microbiological Aspects of Ozone Applications in Food: A Review. **Journal of Food Science**, v.66, n.9, p.1242-1252, 2001.

KLUGE, R.; SCARPARE FILHO, J. A.; JACOMINO, A. O.; PEIXOTO, C. P. **Distúrbios fisiológicos em frutos**. Piracicaba: FEALQ, 2001. 56p.

KRUPA, S. V.; MANNING, W. J. Atmospheric ozone: formation and effects on vegetation. **Environmental Pollution**, v.50, p.101-137, 1988.

LONG, S. P.; NAIDU, S. L. Effects of oxidants at the biochemical, cell and physiological levels, with particular reference to ozone. **In:** J.N.B. Bell & M. Treshow (eds.). *Air Pollution and Plant Life*. 2ed. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, 2002. p.69-118.

MARTINS, M. C.; LOURENÇO, S. A.; GUTIERREZ, A. S. D.; JACOMINO, A. P.; AMORIM, L. Quantificação de danos pós-colheita em pêssegos no mercado atacadista de São Paulo. **Fitopatologia Brasileira**, v.31, n.1, p.5-10, 2006.

MARTINS, M. C.; AMORIM, L.; LOURENÇO, S. A.; GUTIERREZ, A. S. D.; WATANABE, H. S. Incidência de danos pós-colheita em goiabas no mercado atacadista de São Paulo e sua relação com a prática de ensacamento dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, n.2, p.245-248, 2007.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v.7, n.9, p.405-410, 2002.

MORAES, R. M.; FURLAN, C. M.; MEIRELLES, S. T.; SANTOS, D. Y. A. C.; SOUZA, S. R.; VIOLA, S. R. A. S.; REZENDE, F. M.; BARBOSA, J. M.; DOMINGOS, R. L. Avaliação da sensibilidade da goiabeira 'Pedro Sato' ao ozônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.9, p.971-978, 2011.

MUDD, J. B. Biochemical basis for the toxicity of ozone. **In:** M. Yunus & M. Iqbal (eds.). *Plant Response to Air Pollution*. John Wiley & Sons Ltd., New York, 1996. p.267-283.

NOVAK, J. S.; YUAN, J. T. C. The ozonation concept: advantages of ozone treatment and commercial developments. **In:** Tewari, G.; Juneja, V. K. (Eds.) **Advances in Thermal and Non-Thermal Food Preservation**. Ames: Blackwell Publishing, p.185-193, 2007.

NOVAK, K., SKELLY, J. M., SCHAUB, M., KRÄUCHI, N., HUG, C.; LANDOLT, W.; BLEULER, P. Ozone air pollution and foliar injury development on native plants of Switzerland. **Environmental Pollution**, v.125, p.41-52, 2003.

NUTTER JR., F. W. SCHULTZ, P. M. Improving the accuracy and precision of disease assessments: selection of methods and use of computer-aided training programs. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v.17, p.174-184, 1995.

PALOU, L.; SMILANICK, J. L.; CRISOSTO, C. H.; MANSOUR, M. Effect of gaseous ozone exposure on the development of green and blue molds on cold stored citrus fruit. **Plant Disease**, v.85, p.632-638, 2001.

PINA, J. M.; MORAES, R. M. Ozone-induced foliar injury in saplings of *Psidium guajava* 'Paluma' in São Paulo, Brazil. **Chemosphere**, v.66, p.1310-1314, 2007.

PINA, J. M.; MORAES, R. M. Gas exchange, antioxidants and foliar injuries in saplings of a tropical woody species exposed to ozone. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.73, p.685-691, 2010.

PUJA, C.; OROIAN, I.; FLORIAN, V. Effect of Ozone Exposure on Phytopathogenic Microorganisms on Storage Apples. **Journal of Agricultural Sciences**, v.15, p.9-13, 2004.

RICE, R. G.; ROBSON, C. M.; MILLER, G. W.; HILL, A. G. Uses of ozone in drinking water treatment. **Journal of the American Water Works Association**, v.73, p.44-57, 1981.

RIDLEY, J. D.; SIMS, E. T. **The Response of Peaches to Ozone During Storage**. Technical Bulletin 1027. South Carolina Agricultural Experiment Station, Clemson University, Clemson, SC, 1967. p.24.

SAEG – **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SALVADOR, A.; ABAD, I.; ARNAL, L.; MATÍNEZ-JÁVEGA, J. M.; Effect of Ozone on Postharvest Quality of Persimmon. **Journal of Food Science**, v.71, n.6, p.443-446, 2006.

SANTOS, J. E.; MARTINS, M. A.; FARONI, L. R. A.; ANDRADE, M. P.; CARVALHO, M. C. S.; Ozonation process: saturation time, decomposition kinetics and quality of maize grains (*Zea mays* L.). In: IOA Conference and Exhibition, 2007, Valência, Espanha, **Proceedings...** 2007. Valência: International Ozone Association.

SÁNCHEZ, M. J. S.; PEÑA, G. S.; LORENTE, V. C.; GALLEGO, T. M.; ALBERT, J. C. **La contaminación atmosférica de los bosques: Guía para la identificación de los daños visibles causados por Ozono**. Madrid: Ministerio del Medio Ambiente. 2002. 165p.

SIGMAPLOT. **Scientific Graphing Software**. Versão 10.0. San Rafael, Jandel Corporation, 2006.

SMOCK, R. M.; WATSON, R. D. Ozone in apple storage. **Refrigeration Engineering**, v.42, p.97-101, 1941.

SPALDING, D. H. **Appearance and decay of strawberries, peaches, and lettuce treated with ozone**. Marketing Research Report 756. Agricultural Research Service-United States Department of Agriculture, 1966. p.11.

TRESMONDI, F.; ALVES, E. S. Structural changes in *Psidium guajava* 'Paluma' leaves exposed to tropospheric ozone. **Acta Botanica Brasilica**, v.25, n.3, p.542-548, 2011.

VENEGAS, J. G.; HARRIS, R. S.; SIMON, B. A. A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve. **American Physiological Society**, v.84, n.1, p.389-395, 1998.

von GUNTEN, U. Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. **Water Research**, v.37, p.1443-1467, 2003.

WATANABE, T.; ROZANE, D. E.; NATALE, W.; FURLAN, C. M. Avaliação da influência de substâncias fenólicas e carotenóides na anomalia do epicarpo da goiaba, "anelamento". **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.33, n.1, p. 8-13, 2011.

# Segundo capítulo

## Eficácia do ozônio na pós-colheita de goiabas ‘Pedro Sato’

Rodrigo de Oliveira Simões<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Agrícola

Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

e-mail: rodrigoosimoes@gmail.com

### RESUMO

Objetivou-se com este trabalho avaliar a eficácia do gás ozônio na conservação pós-colheita de goiabas ‘Pedro Sato’. Os frutos foram submetidas ao processo de ozonização, injetando-se o gás nas concentrações de 0, 95, 185 e 275  $\mu\text{g L}^{-1}$ , e vazão de 2  $\text{L min}^{-1}$ , durante 60 min, em uma câmara de fumigação. A conservação dos frutos foi avaliada pela análise de qualidade fisiológica e físico-química, durante o armazenamento em condições ambientes. O experimento foi realizado em esquema de parcelas subdivididas, sendo nas parcelas as concentrações do gás ozônio (0, 95, 185, 275  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e nas subparcelas os dias de avaliação ou colheita (0, 1, 3, 5, 7 e 9 dias), no delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições de 6 frutos por unidade experimental. O teor de vitamina C foi reduzido, em cerca de 20%, enquanto aumentos nos teores de sólidos solúveis totais (32%) e na acidez titulável total (29%) foram observados em função do incremento na concentração do gás ozônio. Verificou-se, também, eficácia gradativa para as concentrações de ozônio utilizadas, especialmente para a concentração de 185  $\mu\text{g L}^{-1}$ , que resultou na redução de mais de 50% na incidência de doenças, aqui identificada como antracnose.

## Efficiency of ozone in 'Pedro Sato' guavas after harvest

### ABSTRACT

This study aimed to evaluate the efficiency of ozone gas in the conservation of after harvest 'Pedro Sato' guavas. Fruits were submitted to the process of ozonization, injecting gas in concentrations of 0, 95, 185 and 275  $\mu\text{g L}^{-1}$ , and output of 2  $\text{L min}^{-1}$ , during 60 min, in fumigation chamber. Fruit conservation was evaluated through physicochemical and physiological analysis of fruits quality, during storage in environmental conditions. The experiments were made in scheme of subdivided parcels, being the parcel of ozone concentration (0, 95, 185, 275  $\mu\text{g L}^{-1}$ ), and in sub parcels the days of evaluation or harvest (0, 1, 3, 5, 7 and 9 days) in delineation entirely randomized with 4 replications of 6 fruits by experimental unity. The amount of vitamin C was reduced, in around 20%, while there was an increase in the amounts of total soluble solids (32%) and the total titrable acidity (29%) were observed in function of the increase in the concentration of ozone gas. It was also verified gradual efficiency for concentrations of ozone used, especially for concentrations of 185  $\mu\text{g L}^{-1}$ , which resulted in the reduction of more than 50% incidence of illness, here identified as anthracnose.

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de goiaba *in natura* tem experimentado significativa expansão, possibilitada pela melhoria da qualidade dos frutos, cada vez mais exigida por consumidores mais conscientes sobre a importância do consumo de alimentos saudáveis e pelo aumento de sua vida útil pós-colheita (CARVALHO et al., 2009; VIEIRA, 2011).

Os atributos de qualidade são influenciados pelas variedades, condições edafoclimáticas e práticas culturais. O manejo inadequado durante a colheita e a pós-colheita antecipa o processo de deterioração e diminui a qualidade dos frutos, ocasionando perdas e limitando o período de comercialização (AZZOLINI et al., 2004; FREIRE et al., 2011). Pesquisas científicas em pós-colheita empregando tratamentos químicos (inibidores de amadurecimento, fungicidas sistêmicos e protetores) (WHANGCHAI et al., 2010; SCHIRRA et al., 2011; TZORTZAKIS et al., 2011), biológicos (antagonistas) (SHARMA et al., 2009; JANISIEWICZ et al., 2011; CAO et al., 2012) e físicos (refrigeração, tratamento térmico, radiação, atmosfera controlada e modificada) (VIEIRA et al., 2008; MORGADO et al., 2010; CANALE et al., 2011; SANCHES et al., 2011) estão sendo impulsionadas em todo o mundo e buscam viabilizar a utilização de novas técnicas na expectativa de reduzir as podridões pós-colheita e prolongar a vida útil dos vegetais (JACOMINO et al., 2003; SILVEIRA et al., 2005; TERAQ et al., 2008). A eficácia dessas medidas de controle pode variar conforme a espécie ou cultivar, a maturação fisiológica e as características bioquímicas do tecido da fruta (BARKAI-GOLAN, 2001).

O ozônio vem sendo empregado como uma alternativa de controle ao uso de fungicidas sintéticos, pois é um gás instável, decompõe-se rapidamente, tem ação

fungicida e fungistática, retarda a maturação, colabora na manutenção da cor de fundo e firmeza do fruto, diminui a desidratação (PALOU et al., 2002), pode ser usado como inseticida, no tratamento de ar ou água, além de ser recomendado para a remoção de etileno no armazenamento de produtos hortícolas (SKOG; CHU, 2001).

A maior dificuldade na utilização do ozônio e da maioria dos métodos de controle de doenças em pós-colheita se deve à diversidade dos tipos de podridões e à sua ocorrência nas diferentes fases da cadeia produtiva, desde o campo até o consumidor, pois, de modo geral, os sintomas iniciais das desordens físicas e fitopatológicas podem ser muito semelhantes (KLUGE et al., 2002). Portanto, é importante definir níveis de tratamento para cada espécie vegetal que sejam, a um só tempo, efetivos e não causadores de perda da qualidade comercial (em aspectos como aparência, firmeza, cor, odor).

Desta forma, considerando a importância das doenças pós-colheita e a necessidade de redução dos agroquímicos, objetivou-se avaliar a conservação de goiabas ‘Pedro Sato’ submetidas ao processo de ozonização em diferentes concentrações do gás ozônio, por meio de análises de qualidade fisiológica e físico-química dos frutos, durante o armazenamento em condições ambientes.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Grãos do Setor de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas (DEA), no Laboratório de Análise de Frutas do Setor de Fruticultura (DFT), na Clínica de Doenças de Plantas (DFP), todos localizados no campus da Universidade Federal de Viçosa – UFV, em Viçosa, MG.

Os frutos da goiabeira ‘Pedro Sato’ foram colhidos no estágio de maturação 1 (verde-escuro) conforme classificação de Azzolini et al. (2004), com ângulo de cor hue (°h) médio de 118,2 °h. Ainda no campo, os frutos foram ensacados para evitar infestação natural pelas moscas-das-frutas: *Anastrepha* e *Ceratitis capitata* (Wied.), principais pragas da goiaba (MANICA et al., 2000).

Os dados meteorológicos (Figura 1) relativos à temperatura média (°C) e à precipitação pluviométrica (mm), para os meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012, período de desenvolvimento dos frutos, foram obtidos através do Sistema de Aquisição de Informações do SIMGE (Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais), apoiado pelo CPTEC – INPE (Centro de Previsão e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), oriundos de estações meteorológicas e hidrológicas automáticas, com transmissão de dados em tempo real através de satélite ou rádio (SIMGE, 2012).

Depois de colhidos, os frutos foram transportados até o Laboratório de Grãos, onde foram selecionados, padronizados quanto à maturação e ausência de defeitos e submetidos à desinfecção com hipoclorito de sódio (NaClO) a 2% e colocados sobre papel toalha em bancadas para secar em condições ambientes de laboratório.

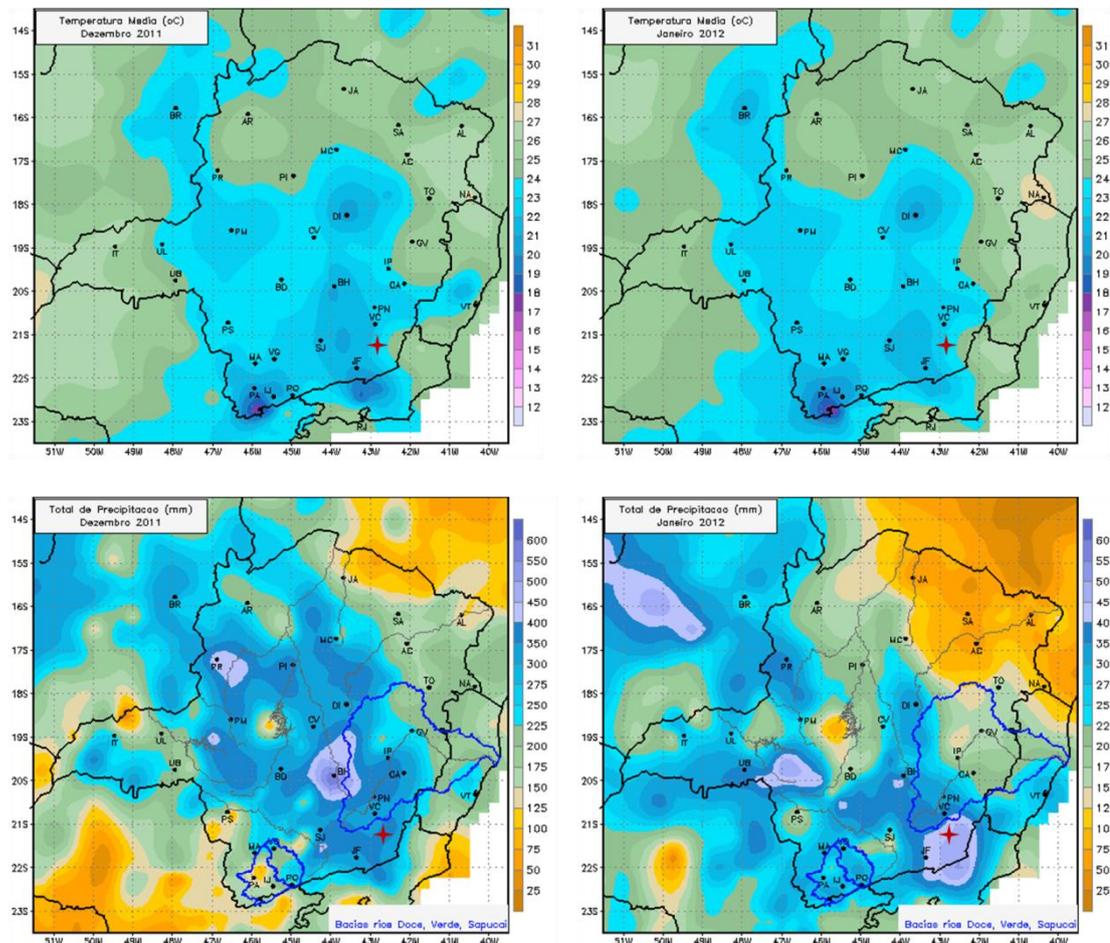


Figura 1 – Temperatura média (°C) e total de precipitação (Guiricema★), durante o desenvolvimento dos frutos, nos meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012.

O gás ozônio foi produzido em um gerador, baseado no método de descarga corona, desenvolvido pelo Departamento de Física do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, SP. No processo de geração do ozônio, foi utilizado como insumo o oxigênio com grau de pureza de  $90\pm 3\%$ , isento de umidade, obtido do concentrador Mark 5 Plus Oxygen Concentrator.

A concentração de ozônio foi determinada pelo método iodométrico, descrito por Clescerl et al. (2000), que consiste no borbulhamento do ozônio em 50 mL de solução de iodeto de potássio (KI) 1 N, com produção de Iodo ( $I_2$ ). Para garantir o

deslocamento da reação para a produção de  $I_2$ , foi necessário acidificar o meio com 2,5 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 1 N. A solução foi então titulada com tiosulfato de sódio ( $Na_2S_2O_3$ ) 0,005 N, com uso de solução de amido 1% como indicador.

O processo de ozonização fundamentou-se na exposição dos frutos ao gás ozônio, nas concentrações de 0, 95, 185 e 275  $\mu g L^{-1}$  e vazão de 2  $L min^{-1}$ , durante 60 min em uma câmara de fumigação confeccionada em acrílico. Em seguida, os frutos foram acondicionados em bandejas de poliestireno expandido, dentro de caixas plásticas, onde permaneceram até não mais atenderam aos padrões comerciais, armazenados em condições ambientes ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR) (Figura 2).



Figura 2 – Goiabas ‘Pedro Sato’ submetidas ao processo de ozonização e armazenadas em condições ambientes ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR).

### **Avaliação qualitativa das goiabas ‘Pedro Sato’ ozonizadas**

A qualidade das goiabas ‘Pedro Sato’ submetidas ao processo de ozonização foi avaliada pelos parâmetros taxa respiratória (produção de CO<sub>2</sub>), perda de massa fresca, análise de cor da casca e da polpa, teste de firmeza da polpa, acidez titulável total, sólidos solúveis totais e vitamina C, durante o armazenamento em condições ambientes em intervalos de dois dias, até não mais atenderem aos padrões de comercialização. Frutos recém-chegados, em número de 24, foram selecionados aleatoriamente para as análises correspondentes ao dia zero.

A liberação de CO<sub>2</sub> foi determinada por cromatografia gasosa. Para isso, os frutos foram acondicionados em frascos de vidro herméticos. E 60 min depois do fechamento dos frascos, alíquotas de 1,0 mL de sua atmosfera foram retiradas com seringa e injetadas em cromatógrafo a gás GOW MAC, Série 550, com detector de condutividade térmica, equipado com coluna de alumínio preenchida com Porapak Q. As condições de trabalho foram: fluxo de 40 mL min<sup>-1</sup> de gás hélio, que foi o gás de arraste; corrente elétrica de 150 mA; temperaturas da coluna, do detector e do injetor de 50, 70 e 80 °C, respectivamente; e temperatura ambiente de 20 a 23 °C. A quantificação de CO<sub>2</sub> foi feita por meio de comparação dos picos produzidos pela amostra, no cromatograma, e os produzidos pela injeção de uma alíquota-padrão composta de 5,96% mol de CO<sub>2</sub> por mol de mistura CO<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>. Os resultados foram expressos em mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

Para a determinação da perda de massa fresca, os frutos foram pesados, utilizando-se uma balança de precisão marca Gehaka, modelo BG 2000. Posteriormente, a perda de massa foi determinada, em relação à massa inicial, de acordo com a Equação 1:

$$\text{Perda de Massa Fresca (\%)} = \frac{\text{massa inicial} - \text{massa final}}{\text{massa inicial}} \times 100 \quad \text{eq.1}$$

A cor da casca foi medida em dois pontos equidistantes da região equatorial do fruto. Para esta análise, utilizou-se o colorímetro Konica – Minolta Modelo CR 400, que forneceu os valores no padrão C.I.E. (Commission Internationale d’Eclairage)  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  e  $^{\circ}h$ . O coeficiente  $L^*$  (luminosidade) expressa o grau de luminosidade da cor medida ( $L^* = 100 =$  branco;  $L^* = 0 =$  preto). A coordenada  $a^*$  expressa o grau de variação entre o vermelho e o verde ( $a^*$  mais negativo = mais verde;  $a^*$  mais positivo = mais vermelho) e a coordenada  $b^*$  expressa o grau de variação entre o azul e o amarelo ( $b^*$  mais negativo = mais azul;  $b^*$  mais positivo = mais amarelo).

Segundo McGuirre (1992), o  $^{\circ}h$  (ângulo hue) é o ângulo de cor entre a hipotenusa e  $0^{\circ}$  no eixo  $a^*$ , consistindo-se na medida mais apropriada para expressar a variação da coloração durante o amadurecimento de vegetais, sendo  $0^{\circ}$  a cor vermelha,  $90^{\circ}$  a amarela,  $180^{\circ}$  a verde e  $270^{\circ}$  a cor azul. A conversão dos parâmetros  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  em ângulo de cor é dada pela Equação 2:

$$h = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad \text{eq.2}$$

A cor da polpa também foi determinada com emprego do mesmo colorímetro. Para tanto, os frutos foram cortados transversalmente para efetuar uma leitura no centro da polpa de cada fruto. Para a análise dos dados de cor da casca e cor da polpa, foram utilizados apenas os parâmetros  $b^*$  e  $^{\circ}h$  para a casca e os parâmetros  $a^*$  e  $^{\circ}h$  para a polpa.

Definiu-se a firmeza da polpa dos frutos medindo-se a força máxima necessária para introduzir uma ponteira cilíndrica de 8 mm de diâmetro a uma profundidade de 10 mm na polpa dos frutos. Essa medida foi feita com penetrômetro de bancada digital, da marca SHIMPO, modelo DFS 100, tomando-se duas leituras

por fruto em lados opostos de sua região de menor diâmetro, a equatorial, obtendo-se um valor médio da força máxima de penetração que expressa a resistência da polpa à penetração. Antes de efetuar a medida, foi retirada a casca no local da leitura, com o auxílio de uma lâmina metálica. Os resultados foram expressos em Newton (N).

Nesses frutos, além das análises fisiológicas e físicas, foram feitas avaliações físico-químicas. Para isso, os frutos, depois de terem sido cortados ao meio, foram separados da casca e das sementes e a polpa restante foi triturada com o auxílio de um homogeneizador de amostras “mixer” da marca Black & Decker.

Para determinar a acidez titulável total, foram retiradas amostras da polpa, com massa aproximada de 5,0 g. As amostras foram acondicionadas em papel-alumínio, congeladas em nitrogênio líquido e armazenadas em “freezer” a -20 °C até o momento da determinação. As amostras foram trituradas em homogeneizador de tecidos (Polytron – Tekmar Company), com 50 mL de água destilada. Posteriormente, foram transferidas para erlenmeyers, completando-se o volume para 100 mL, com água destilada e adicionadas a este extrato, três gotas de indicador fenoltaleína 1%, procedendo-se às titulações, sob agitação, com solução de NaOH 0,1 N, previamente padronizada com biftalato de potássio (AOAC, nº 942.15, 2002). Os resultados foram expressos em % de ácido cítrico (g de ácido cítrico por 100 g de polpa).

Para determinar os sólidos solúveis totais da polpa, foi feita a maceração do tecido da região do mesocarpo em cadinhos de porcelana. O macerado foi envolto em algodão e comprimido manualmente, para extração do suco, diretamente no refratômetro portátil Atago, modelo N1, com leitura na faixa de 0 a 32 °Brix (AOAC, nº 932.12, 2002). Os dados foram expressos em °Brix.

A vitamina C foi determinada pelo método de Tillman, que se baseia na propriedade redutora dessa vitamina, medida pela titulação com um agente oxidante, no caso o 2,6-diclorofenolindofenol (DFI) (sal sódico) a 0,1%, até viragem de azul, sua forma oxidada, para rosa claro, que deve ser persistente por 15 s (AOAC, nº 43.064, 1984, modificado por BENASSI e ANTUNES, 1988). Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de massa fresca da polpa.

### Ozônio no controle das doenças em goiabas ‘Pedro Sato’

Para avaliar o efeito do gás ozônio no controle da doença, as goiabas ‘Pedro Sato’ foram analisadas individualmente quanto à incidência (porcentagem do fruto com doenças) e à severidade (níveis de infecção) determinada por uma escala diagramática (Figura 3).

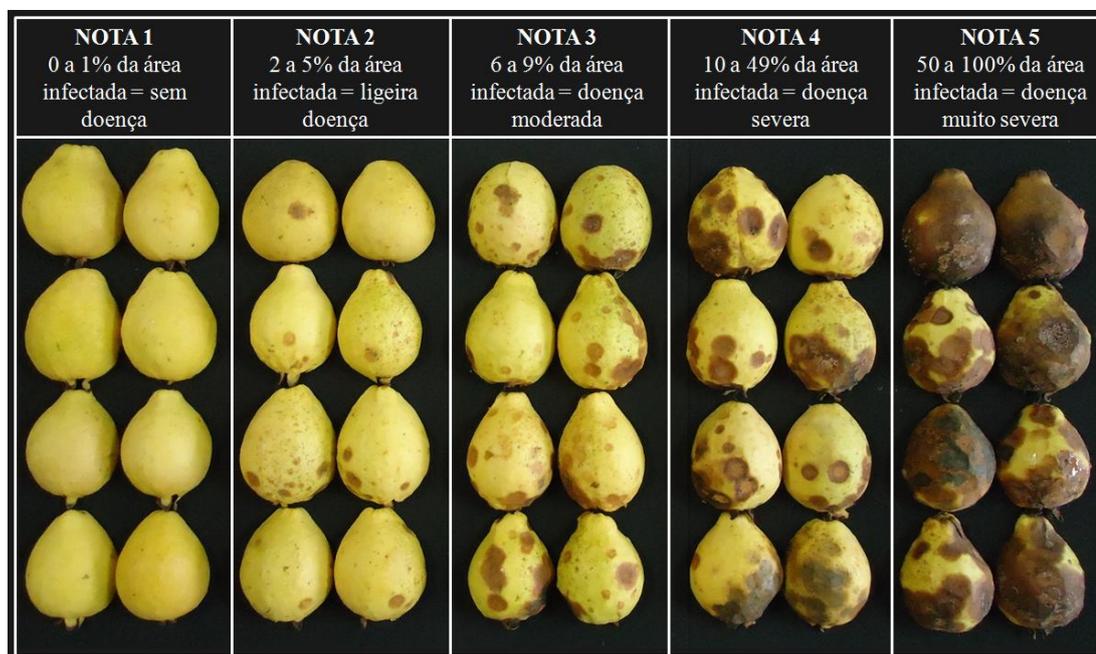


Figura 3 – Escala diagramática para avaliação da severidade da doenças em goiabas ‘Pedro Sato’ com base na porcentagem de área afetada.

Os valores de incidência foram obtidos por meio da equação 3:

$$I(\%) = \frac{NFD}{NTF} \times 100 \quad \text{Eq. 3}$$

em que

$I(\%)$  = Incidência de podridões (%);

$NFD$  = Número de frutos doentes; e

$NTF$  = Número total de frutos.

Ao final desta avaliação, amostras de frutos foram encaminhadas para a Clínica de Doenças de Plantas para observação de sintomas e sinais de doenças, sob microscopia de luz (BARNETT e HUNTER, 1998).

O experimento foi realizado em esquema de parcelas subdivididas, sendo nas parcelas as concentrações do gás ozônio (0, 95, 185, 275  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) e nas subparcelas os dias de avaliação ou colheita (0, 1, 3, 5, 7 e 9 dias), no delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições de 6 frutos por unidade experimental. Os dados foram analisados através dos gráficos de contorno dos modelos obtidos por meio da análise de regressão. Os modelos ajustados por meio de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão até o nível de 10% de probabilidade pelo teste “t”, de Student, no coeficiente de determinação e no potencial para explicar o fenômeno biológico. O programa estatístico utilizado foi o SAEG – Sistemas para Análises Estatísticas, software SAEG 9.0 (SAEG, 2007). Para a plotagem dos gráficos, referentes ao efeito do ozônio nas diferentes concentrações, avaliado durante o armazenamento em condições ambientes, utilizou-se o software SigmaPlot versão 10.0 (SIGMAPLOT, 2006).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa respiratória dos frutos aumentou com os períodos de avaliação durante os nove dias de armazenamento em condições ambientes ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR) (Figura 4).

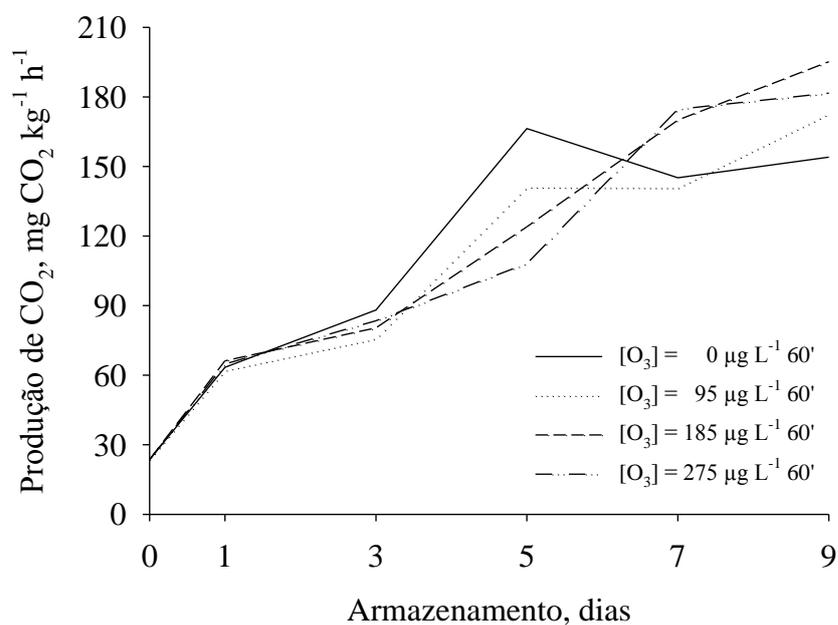


Figura 4 – Produção de CO<sub>2</sub> (mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) de goiabas ‘Pedro Sato’ ozonizadas nas concentrações de 0, 95, 185, 275 µg L<sup>-1</sup> de ozônio durante 60 min, em função do período de armazenamento ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR).

A respiração dos frutos mostrou-se intensa e com aumentos sucessivos a partir de  $28,6$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> depois de colhidos, atingindo, no 9º dia, em média  $175,8$  mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> para os frutos submetidos ao processo de ozonização. Não foi observado comportamento que se caracterizasse como climatério para os frutos submetidos ao processo de ozonização, nas concentrações utilizadas, o que é

concordante com o observado por Mattiuz et al. (2000) que trabalharam com goiabas ‘Paluma’. Contudo, o padrão respiratório dos frutos que não foram expostos ao gás ozônio apresentou tendência pré-climatérica, pois os níveis basais de respiração apresentaram aumento brusco do terceiro ( $88,1 \text{ mg de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) para o quinto ( $166,3 \text{ mg de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) dia de armazenamento, com posterior redução na atividade respiratória, caracterizando uma fase pós-climatérica (KAYS, 1991; OETIKER e YANG, 1995). Comportamento respiratório semelhante também foi observado para os frutos expostos ao gás ozônio a  $95 \mu\text{g L}^{-1}$  durante 60 min, com aumento na produção de  $\text{CO}_2$ , do terceiro ( $75,6 \text{ mg de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) para o quinto ( $140,9 \text{ mg de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) dia. No entanto, esta elevação no padrão respiratório dos frutos não tratados e expostos ao gás ozônio a  $95 \mu\text{g L}^{-1}$  durante 60 min não foi acompanhada por queda subsequente que a caracterizasse pela formação do pico climatérico.

A literatura sobre a fisiologia pós-colheita de frutos de goiabeira é muito limitada e os dados ainda contraditórios. Para alguns autores (BIALE e BARCUS, 1970; MEDINA, 1978; CHITARRA e CHITARRA, 2005), a goiaba é um fruto não climatérico e não apresenta aumento brusco na liberação de  $\text{CO}_2$ . Entretanto, goiabas ‘Sardar’, colhidas no estágio de mudança de cor da casca de verde para amarela, apresentaram elevação da atividade respiratória de  $53 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , após a colheita, para  $82 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , depois de 6 dias de armazenamento a  $24 \text{ }^\circ\text{C}$  e 85% UR (SINGH et al., 1981).

Elevadas taxas respiratórias durante o desenvolvimento dos vegetais ocorrem em função de seu crescimento ativo (GILLASPY et al., 1993). Azzolini et al. (2005) observaram aumento gradual da atividade respiratória com posterior diminuição, no decorrer do período de armazenamento de goiabas ‘Pedro Sato’ colhidas em

diferentes estádios de maturação fisiológica. No entanto, Cavalini et al. (2006) constataram que, para goiabas ‘Kumagai’ e ‘Paluma’, os picos de produção de CO<sub>2</sub> só ocorrem após o completo amadurecimento dos frutos.

Após a colheita de qualquer vegetal, a respiração torna-se o seu principal processo fisiológico (CHITARRA e CHITARRA, 2005) e o seu controle é fator determinante para a manutenção da qualidade e para o prolongamento da sua vida útil, considerando que este é um processo oxidativo das substâncias de reserva, levando o órgão à senescência (WILLS et al., 1998).

A perda de massa fresca das goiabas ‘Pedro Sato’ aumentou com o período de armazenamento em condições ambientes ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR), independentemente da exposição ou não dos frutos ao gás ozônio (Figura 5). A perda de massa fresca dos frutos depois de nove dias de armazenamento foi, em média, de 9,7% em relação à massa inicial. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), perdas da ordem de 6% para produtos hortícolas podem causar um marcante declínio na qualidade. Entretanto, alguns destes produtos podem, ainda, ser comercializáveis com até 10% de perda de massa fresca. A redução imediata da massa fresca do fruto é um sintoma inicial de perda de umidade e uma das principais causas da deterioração pós-colheita (FONTES et al., 1999). A perda de massa fresca basicamente é decorrente dos processos transpiratórios e respiratórios e leva ao amolecimento dos tecidos, diminuindo sua aceitabilidade comercial (WOODS, 1990).

$$\widehat{PMF} = 1,0741^{**}(d) \quad r^2 = 0,9964$$



Figura 5 – Valores observados e estimados de perda de massa fresca (%) de goiabas ‘Pedro Sato’ em função do período de armazenamento ( $23 \pm 2$  °C e  $70 \pm 2\%$  UR).

A coloração da casca das goiabas ‘Pedro Sato’ apresentou variações, reduzindo a cor verde em função do período de armazenamento, mensurada pelo ângulo hue (Figura 6A), independentemente da exposição ou não dos frutos às concentrações do gás ozônio. As goiabas foram armazenadas com cor da casca apresentando ângulo de cor médio de 119,2 °h (verde) e depois de iniciarem o processo de amadurecimento, em torno do quinto dia de armazenamento, apresentaram cor da casca no estágio ‘turning’, com mudança de verde-claro para amarelo, correspondendo ao ângulo hue de 105,0 °h, atingindo valor médio de 93,7 °h (amarelo) ao final dos nove dias de armazenamento.

Os valores obtidos para o parâmetro  $b^*$ , que corresponde à evolução da cor amarela (Figura 6B), foram crescentes em função do período de armazenamento dos

frutos. Entretanto, este aumento não foi influenciado ( $p>0,05$ ) pelo processo de ozonização, nas diferentes concentrações e período de exposição ao gás ozônio.

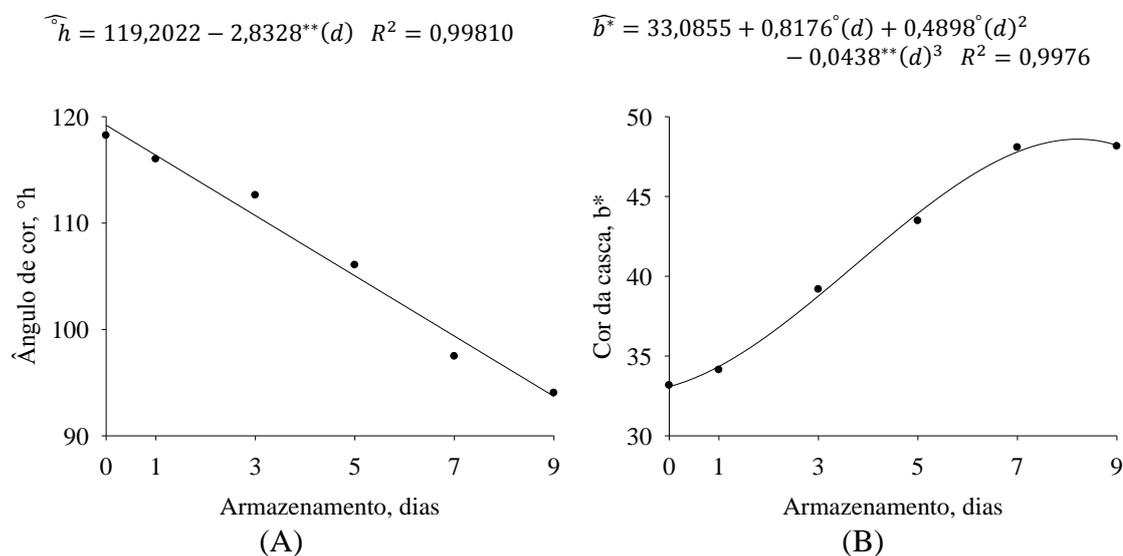


Figura 6 – Valores observados e estimados de ângulo hue (°h) (A) e parâmetro b\* (B) da casca de goiabas ‘Pedro Sato’, em função do período de armazenamento ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR).

Salvador et al. (2006) também não verificaram alteração na cor da casca de frutos de caqui, quando expostos ao gás ozônio. Entretanto, o efeito do ozônio, na mudança da coloração de outros produtos hortícolas, já foi constatado. Nadas et al. (2000) verificaram evolução na cor da casca de frutos cítricos de verde para laranja quando expostos ao gás ozônio. Alterações na coloração de cenouras também foram observadas, quando Liew e Prange (1994) avaliaram o efeito do ozônio sobre sua fisiologia e no tratamento de doenças pós-colheita.

A coloração da polpa dos frutos de goiaba ‘Pedro Sato’ foi expressa em valores do ângulo hue e do parâmetro a\*, com o objetivo de avaliar a intensidade da

cor e possíveis escurecimentos nessa região, o que deprecia a qualidade e compromete a aceitação do fruto pelo consumidor.

O ângulo hue da polpa não foi afetado ( $p>0,05$ ) pelas concentrações e período de exposição ao ozônio, em função do período de armazenamento em condições ambientes ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR) (Figura 7A). Uma pequena alteração na coloração da polpa dos frutos foi verificada, evoluindo-se os valores do parâmetro de cor  $a^*$  de 23,1 após a colheita a 32,9 depois de nove dias de armazenamento, independentemente das concentrações de ozônio e período de exposição (Figura 07B).

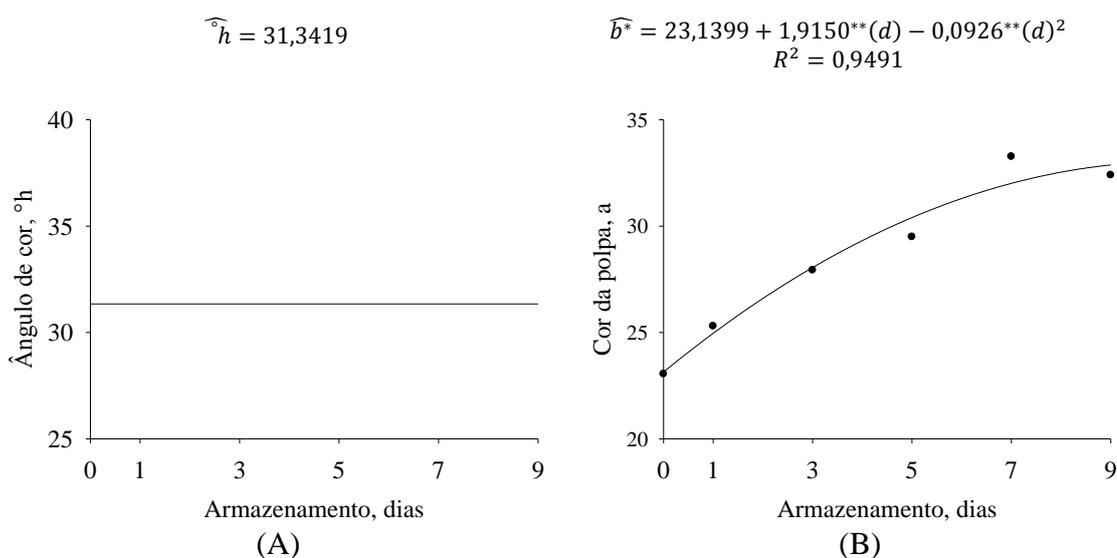


Figura 7 – Ângulo hue (°h) (A) e valores observados e estimados do parâmetro  $a^*$  (B) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’, em função do período de armazenamento ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR).

A Figura 8 mostra um leve escurecimento na cor da polpa dos frutos no nono dia de armazenamento. Este escurecimento pode ter sido provocado por reações oxidativas que ocorrem após o corte transversal do fruto, devido ao rompimento das

células, com conseqüente extravasamento de líquido celular e exposição ao oxigênio pela atividade da enzima polifenoloxidase (PPO) (RADI et al., 1997), formando *o*-quinonas e sua subsequente polimerização, num mecanismo complexo envolvendo proteínas, aminoácidos e fenóis, culminando com a formação de pigmentos escuros (VALDERRAMA et al., 2001).



Figura 8 – Cor da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’ observada no 9º dia de armazenamento em condições ambientes ( $23 \pm 2$  °C e  $70 \pm 2\%$  UR) expostas às concentrações de ozônio, durante 60 min.

Depois da alteração da cor, o amaciamento dos frutos é a mudança mais importante que ocorre no seu processo de maturação (AWAD, 1993). A firmeza da polpa se reduziu com o período de armazenamento (Figura 9). Este comportamento é confirmado por Bashir e Abu-Goukh (2003), Gouveia et al. (2003) e Azzolini et al. (2004). Segundo Tucker (1993), a firmeza da polpa dos frutos de goiaba ‘Pedro Sato’ também pode ser influenciada por diferenças no grau de maturação dos frutos, ou ainda, pela perda da integridade da parede celular.

$$\hat{F} = 108,3570 - 0,4980^{**}(O_3) + 0,0020^{**}(O_3)^2 - 14,3370^{**}(d) \quad R^2 = 0,5739$$

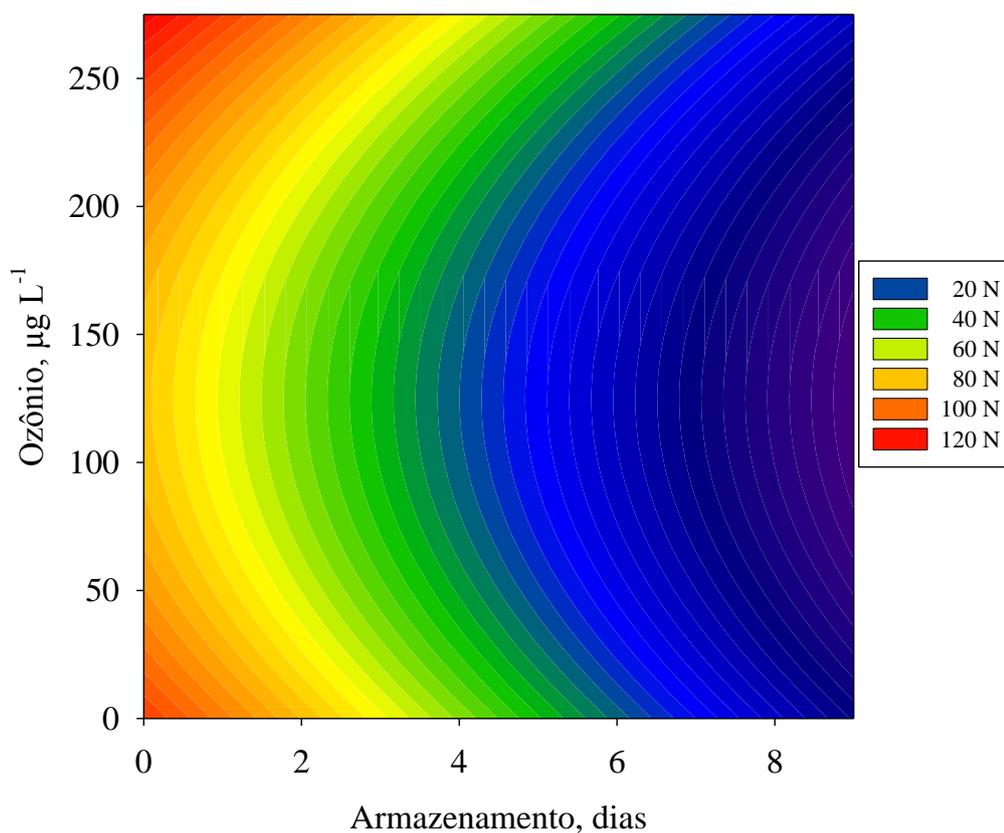


Figura 9 – Firmeza (N) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas às concentrações de 0, 95, 185, 275 µg L<sup>-1</sup> de ozônio durante 60 min, em função do período de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR).

O processo de amolecimento é parte integrante do amadurecimento dos frutos, que ocorre principalmente pelo incremento na atividade de um grande número de enzimas, como a pectinametilesterase (PME) e a poligalacturonase (PG), que participam da degradação biológica das substâncias pectínicas, classe de polissacarídeos da estrutura da parede celular dos frutos (HUBER, 1983; BRUMMELL e LABAVITCH, 1997; ESTEBAN et al., 2005; LINHARES et al., 2007) e tem grande importância comercial, porque podem limitar a vida pós-colheita e tornar os frutos mais suscetíveis a injúrias mecânicas e a doenças durante o manuseio (BICALHO et al., 2000; JACOMINO et al., 2002).

Apesar de não ter sido possível estabelecer uma relação entre a textura e as variáveis avaliadas, alguns autores (NADAS et al., 2000; SKOG e CHU, 2001) vêm constando que a firmeza dos produtos hortícolas não é afetada pelo tratamento pós-colheita com o ozônio. Trabalhando com morangos, Nadas et al. (2003) constataram que o ozônio atrasou a perda de firmeza dos frutos durante o armazenamento refrigerado e em condições ambientes. Salvador et al. (2006) verificaram que o ozônio manteve a firmeza de frutos de caqui acima dos limites comerciais, mesmo depois de 30 dias de vida de prateleira a 15 °C.

Os teores de sólidos solúveis totais (SST) aumentaram em média de 6,6 °Brix, após a colheita, até no máximo 11,6 °Brix para as goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ou não ao gás ozônio ao final dos nove dias de armazenamento (Figura 10). Comportamento semelhante foi observado por Gouveia et al. (2003), em goiabas ‘Paluma’. Entretanto, Bueno et al. (2002) relatam que o teor de SST para a variedade em estudo pode alcançar até 13,0 °Brix em frutos maduros. A precipitação pluvial (Figura 2) no período de desenvolvimento e colheita pode, provavelmente, ser uma

das causas que explicaria os valores de SST inferiores aos encontrados na literatura, pois promoveria sua diluição.

$$\widehat{SST} = 6,6118 + 0,0023^{**}(O_3) - 0,00004^{\circ}(O_3)^2 + 0,6405^{**}(d) - 0,0510^{**}(d)^2$$

$$R^2 = 0,9563$$

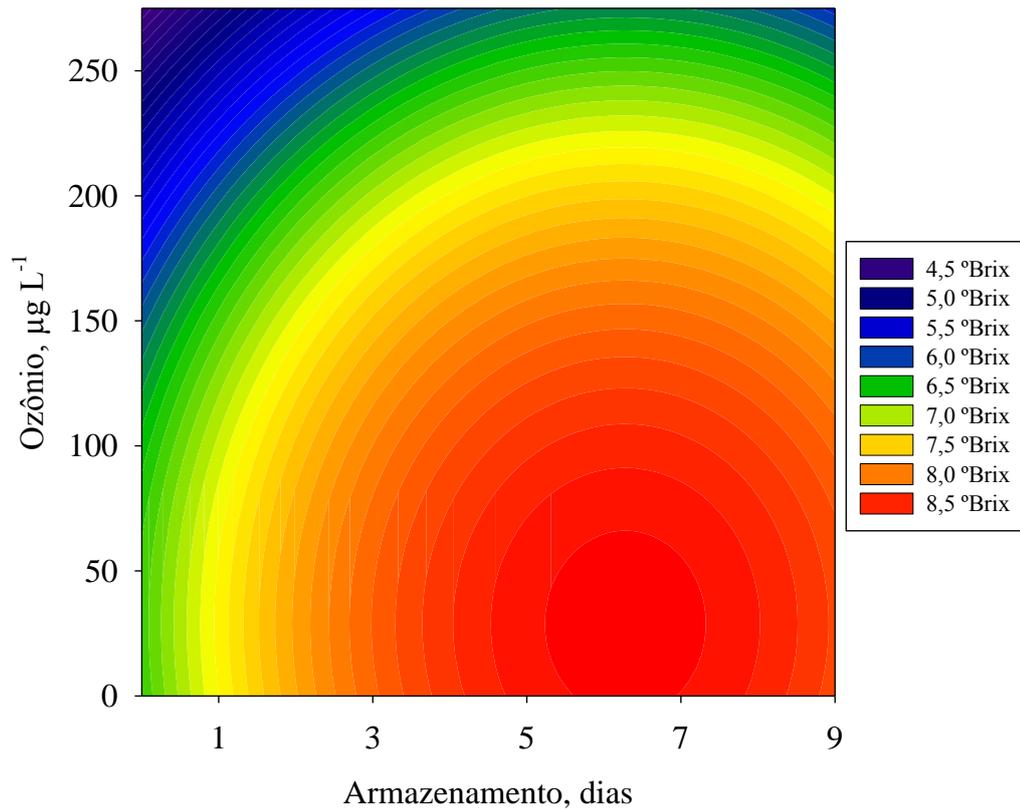


Figura 10 – Sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas às concentrações de 0, 95, 185, 275  $\mu\text{g L}^{-1}$  de ozônio durante 60 min, em função do período de armazenamento ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR).

Observa-se que os teores de SST (Figura 10) da polpa dos frutos expostos ao gás ozônio aumentaram conforme se reduziu a consistência dos frutos (Figura 09), corroborando os resultados encontrados por Bashir e Abu-Goukh (2003), ao avaliar

as mudanças composicionais de frutos de goiaba durante o processo de maturação. Já Salvador et al. (2006) ressaltaram que não houve nenhum efeito do gás ozônio no teor de SST de frutos de caqui. Shalluf et al. (2007) e Minas et al. (2012), no entanto, observaram efeitos deletérios, quando expuseram frutos de tomate e kiwi, respectivamente, ao tratamento pós-colheita com ozônio, com reduções da ordem de até 10% no teor de SST destes produtos hortícolas durante o período de amadurecimento.

A acidez titulável total (ATT) da polpa dos frutos de goiaba ‘Pedro Sato’ apresentou incremento gradativo até o nono dia de armazenamento, independentemente da concentração do gás ozônio empregada (Figura 11). Os valores de ATT, em porcentagem de ácido cítrico, variaram entre 0,5 depois da colheita, até 1,2% após o período de armazenamento.

O incremento na ATT na polpa dos frutos da goiabeira, ao longo do seu amadurecimento durante o período de armazenamento, pode estar relacionado com a provável formação de ácido galacturônico, em consequência da hidrólise da pectina, por meio das enzimas PME e PG (BARRET e GONZALEZ, 1994; SHARAF e EL-SAADANY, 1996). Talvez esta seja a melhor explicação para este comportamento, tendo em vista que várias pesquisas vêm demonstrando que a ATT dos produtos hortícolas não é afetada pelo ozônio utilizado no processo de ozonização pós-colheita destes produtos (KEUTGEN e PAWELZIK, 2008; KOYUNCU et al., 2008; WHANGCHAI et al., 2010; MINAS et al., 2012).

$$\widehat{ATT} = 0,5472 + 0,0013^{**}(O_3) + 0,0305^{**}(d) \quad R^2 = 0,8077$$

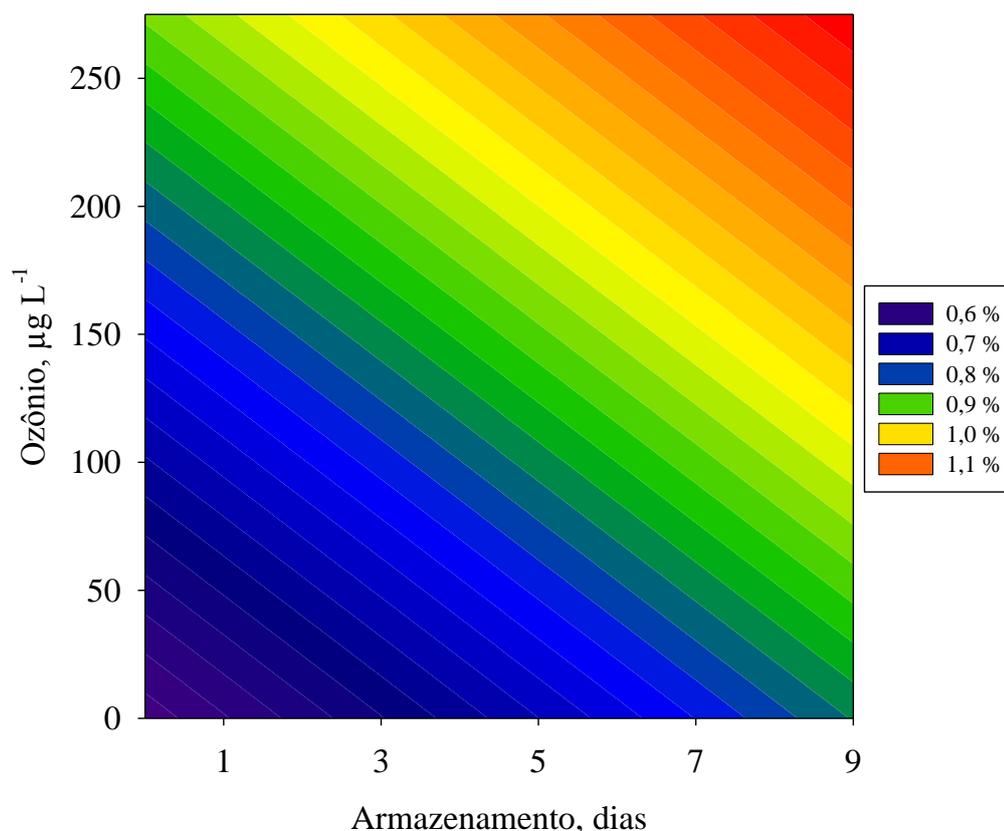


Figura 11 – Acidez titulável total (% ácido cítrico) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas às concentrações de 0, 95, 185, 275 µg L<sup>-1</sup> de ozônio durante 60 min, em função do período de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR).

O conteúdo de vitamina C, avaliado pelo teor de ácido ascórbico, da goiaba aumentou com o período de armazenamento (Figura 12). Apesar deste aumento, verifica-se que o ozônio, independentemente da concentração utilizada, teve efeito deletério significativo ( $p < 0,05$ ) sobre o teor de ácido ascórbico das goiabas ‘Pedro Sato’. O conteúdo de vitamina C nos frutos que não foram expostos ao gás ozônio foi de 21,2 mg de ácido ascórbico por 100 g de massa fresca. Este valor é quase três vezes o encontrado para os frutos submetidos ao gás ozônio que, em média, é de 8,1

mg de ácido ascórbico por 100 g de massa fresca. Comportamento semelhante foi verificado por Keutgen e Pawelzik (2008). Estes autores, estudando o efeito de uma atmosfera enriquecida com ozônio na qualidade de frutos de morango, relataram que os teores de ácido ascórbico diminuíram significativamente após o tratamento, enquanto os teores de ácido dehidroascórbico se mantiveram praticamente constantes. Em contrapartida, Shalluf et al. (2007), avaliando os efeitos de diferentes doses e períodos de exposição ao ozônio na manutenção da qualidade de tomates verdes e maduros, verificaram que o teor de ácido ascórbico dos frutos não foi afetado pelos tratamentos. Já Minas et al. (2012), estudando a fisiologia para entender o papel ativo do ozônio no processo de maturação pós-colheita de frutos de kiwi, verificaram que os frutos tratados, em geral, apresentaram maiores níveis de teor de ácido ascórbico em comparação aos frutos não tratados, refletindo a importância do ozônio na manutenção do valor nutritivo de alguns produtos hortícolas.

Em geral, os produtos hortícolas reduzem seu conteúdo de vitamina C durante o período em que ficam armazenados (LEE e KADER, 2000). Entretanto, para os frutos da goiabeira ocorre um incremento nos teores de ácido ascórbico, concomitantemente à evolução do processo de amadurecimento, indicando a síntese dessa vitamina durante esse processo fisiológico (DHILLON et al., 1987; JACOMINO et al., 2001; AZZOLINI et al., 2004; PEREIRA et al., 2006; MONDAL et al., 2009; MORGADO et al., 2010; CERQUEIRA et al., 2011).

Assim, considerando os diversos cultivares de goiabas existentes, de uma maneira geral, o teor de ácido ascórbico aumenta no fruto durante os estádios iniciais de desenvolvimento até a maturação e, quando maduro, este teor tende a diminuir

(ESTEVES et al., 1984; DHILLON et al., 1987; VAZQUEZ-OCHOA e COLINAS-LEON, 1990).

$$\widehat{Vit.C} = 10,8765 - 0,0323^{**}(O_3) + 3,1064^{**}(d) \quad R^2 = 0,7888$$

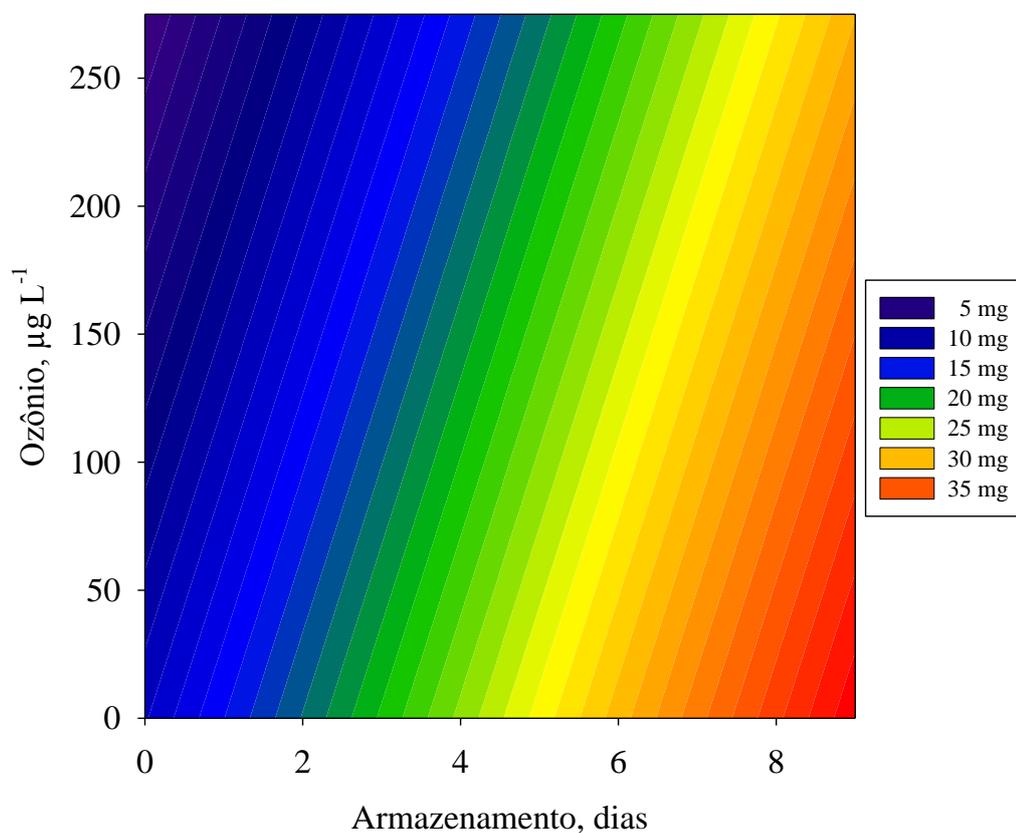


Figura 12 – Vitamina C (mg de ácido ascórbico 100g<sup>-1</sup> de massa fresca) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas às concentrações de 0, 95, 185, 275 µg L<sup>-1</sup> de ozônio durante 60 min, em função do período de armazenamento (23±2 °C e 70±2% UR).

Definida como o termo genérico para todos os compostos que exibem atividade biológica do ácido ascórbico (AA) e do ácido dehidroascórbico (ADA), a vitamina C é um importante parâmetro que determina a qualidade nutricional de vários produtos hortícolas, além de desempenhar funções importantes nas atividades biológicas do corpo humano (WILLS et al., 1984).

Avaliando-se o progresso das doenças nas goiabas 'Pedro Sato' no decorrer do período de armazenamento, verificam-se menores níveis de lesões frente às maiores dosagens de ozônio. Com o aumento das concentrações de ozônio (Figura 13), de um modo geral, o número de lesões nos frutos foi menor a partir do segundo dia de armazenamento, principalmente para as concentrações do gás ozônio acima de  $95 \mu\text{g L}^{-1}$ , sugerindo eficácia do gás ozônio no controle das podridões pós-colheita da goiaba.

A incidência das doenças, ao final do período de armazenamento, variou de 28,0 a 78,4% nos frutos expostos ou não ao gás ozônio. O maior índice de doenças foi de 78,4% para os frutos não tratados, de 61,0% para a concentração de ozônio de  $95 \mu\text{g L}^{-1}$ , 44,5% para a concentração de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$  e de 28,0% para a concentração de  $275 \mu\text{g L}^{-1}$  ao final dos nove dias de armazenamento em condições ambientes.

Os mecanismos que explicam a supressão dos agentes fitopatogênicos que infectam os produtos hortícolas são pouco compreendidos. Acredita-se que o ozônio induza a formação de EROs (Espécies Reativas de Oxigênio) que, conseqüentemente, ativam a sinalização via ácido salicílico (AS) e jasmonato (JA), hormônios vegetais responsáveis pela mediação nas respostas de defesa dos vegetais aos estresses bióticos e também abióticos (FOYER e NOCTOR, 2005; TZORTZAKIS et al., 2011), que induzem direta ou indiretamente uma variedade de reações oxidativas, incluindo morte celular e indução de mecanismos de defesas antimicrobianos (KANGASJÄRVI et al., 1994; OVERMYER et al., 2000; RAO et al., 2000; PARISH et al., 2003).

$$\widehat{INC} = 14,4889 - 0,1834^{**}(O_3) + 0,0004^{**}(O_3)^2 - 3,0619^{\circ}(d) + 1,1288^{**}(d)^2$$

$$R^2 = 0,8643$$

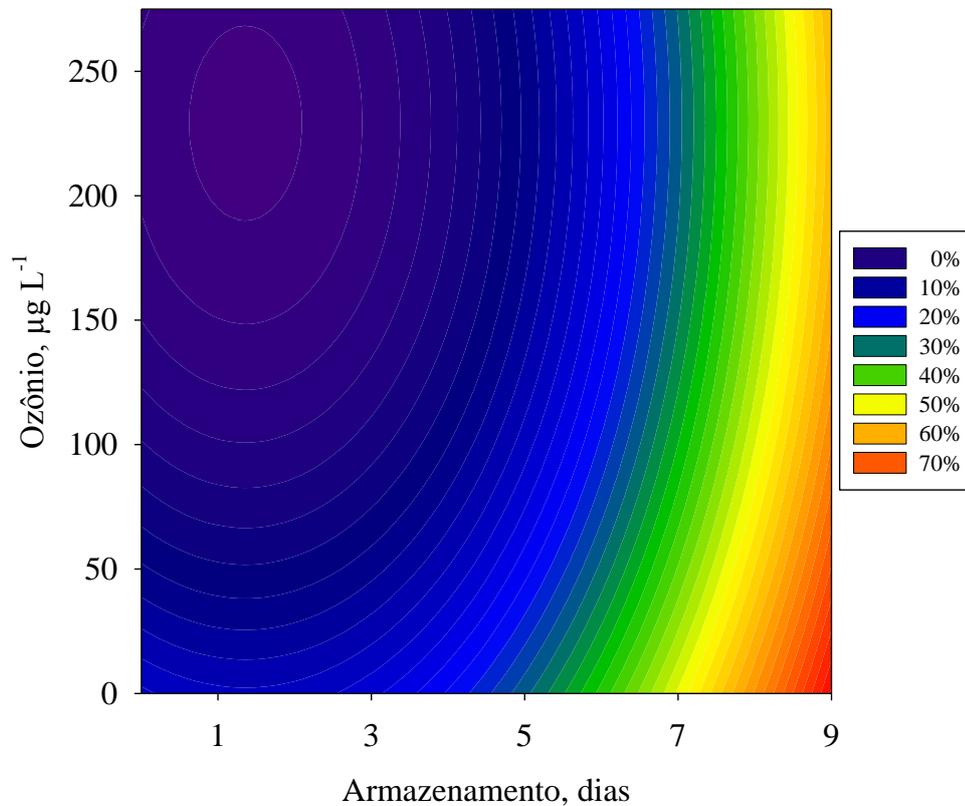


Figura 13 – Incidência de doença (%) em goiabas ‘Pedro Sato’ expostas às concentrações de 0, 95, 185, 275  $\mu\text{g L}^{-1}$  de ozônio durante 60 min, em função do período de armazenamento ( $23\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $70\pm 2\%$  UR).

O ozônio, em diferentes combinações de concentrações e períodos de exposição, tem sido utilizado na etapa pós-colheita para prevenir e/ou controlar a deterioração, causada por fungos fitopatogênicos, de uma grande variedade de produtos hortícolas. A exposição ao ozônio de produtos hortícolas como pimenta preta, cenoura, alface e morango resultou em reduções de 3 a 6 ciclos log no desenvolvimento de espécies de *Penicillium* e *Aspergillus* (SMILANICK, 2003; RAY e BHUNIA, 2008), com diminuição na produção de esporos. Alguns pesquisadores (PALOU et al., 2002; PARISH et al., 2003; MINAS et al., 2010)

observaram reduções no desenvolvimento de fungos e incremento na vida de prateleira de frutas devido ao atraso no processo de maturação fisiológico, provocado pela oxidação do etileno.

A maior severidade de doença avaliada nas goiabas 'Pedro Sato', durante os nove dias de armazenamento, foi de 5,3, que corresponde aos frutos não tratados, enquanto para os frutos tratados com as concentrações do gás ozônio, o valor foi de 4,8 para 95  $\mu\text{g L}^{-1}$ , de 4,6 para 185  $\mu\text{g L}^{-1}$  e de 4,5 para 275  $\mu\text{g L}^{-1}$ .

Concomitantemente ao processo de maturação, observou-se o crescimento das lesões, que começaram a se destacar a partir do quinto dia de armazenamento, período no qual a maioria dos frutos já se encontrava em estágio de maturação fisiológico mais avançado. Em goiaba, as podridões pós-colheita aumentam conforme o amadurecimento avança, sendo um dos principais problemas depreciadores da qualidade dos frutos (JACOMINO, 2000). A maioria dos fungos responsáveis por provocarem podridões em hortícolas na fase de pós-colheita costuma infectar os frutos ainda na planta, no estágio de maturação verde, quando ainda apresentam completa sanidade, permanecendo quiescentes, com desenvolvimento sintomatológico condicionado ao estágio de maturação (AMORIM, 1995).

O processo de ozonização pós-colheita reduziu significativamente ( $p < 0,05$ ) a agressividade das doenças em relação às lesões das goiabas 'Pedro Sato' não tratadas (Figura 14). Estes resultados corroboram aqueles encontrados por Tzortzakis et al. (2008) quando verificaram o impacto do enriquecimento atmosférico com ozônio no controle da mancha preta e da antracnose em frutos do tomateiro. Estes autores constataram que o desenvolvimento de lesões causadas por *Alternaria alternata* e *Colletotrichum coccodes* foi reduzido em cerca de 50%, quando os frutos de tomate

foram expostos ao gás ozônio, e que os impactos desta redução foram dependentes da concentração e da duração do período de exposição ao gás.

$$\widehat{SEV} = 1,7455 - 0,0054^{**}(O_3) + 0,00001^{**}(O_3)^2 - 0,4513^{**}(d) + 0,0939^{**}(d^2)$$

$$R^2 = 0,6972$$

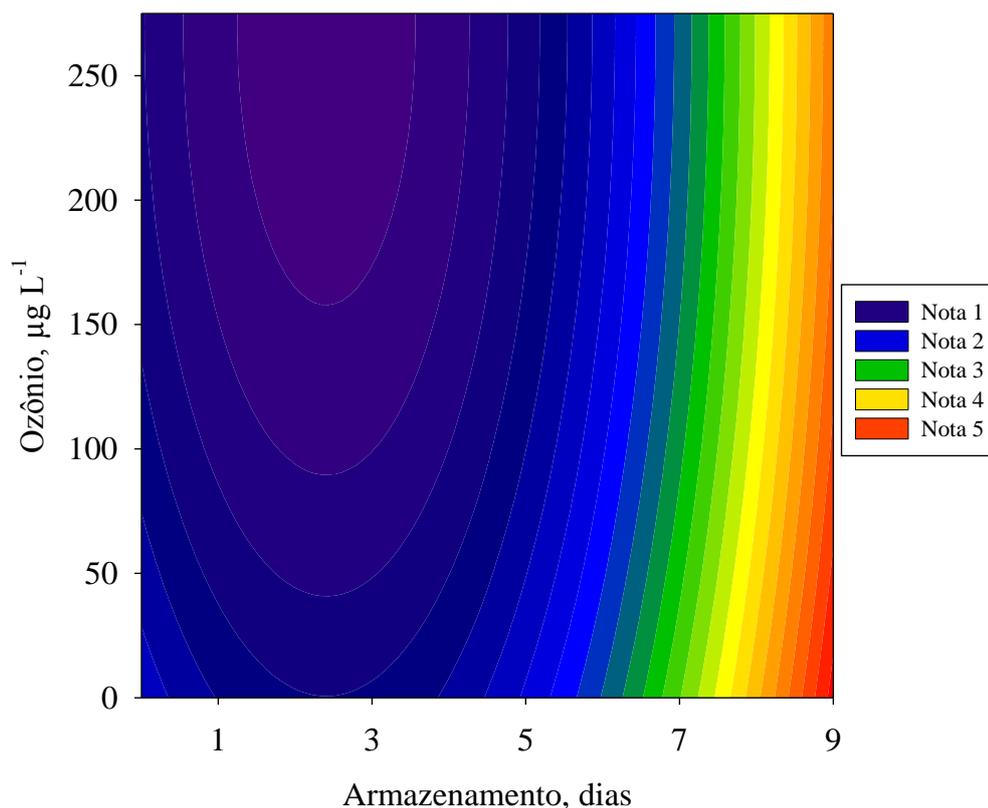


Figura 14 – Severidade de doença (notas) em goiabas ‘Pedro Sato’ expostas às concentrações de 0, 95, 185, 275  $\mu\text{g L}^{-1}$  de ozônio durante 60 min, em função do período de armazenamento ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR). Notas: 1 (0 a 1% da área infectada = sem doença), 2 (2 a 5% da área infectada = ligeira doença), 3 (6 a 9% da área infectada = doença moderada), 4 (10 a 49% da área infectada = doença severa) e 5 (50 a 100% da área infectada = doença muito severa).

O modo de ação do ozônio sobre os esporos dos fungos fitopatogênicos ainda não é bem entendido. A morfologia dos esporos desses fungos, associada ao teor de umidade do substrato, é considerada o fator mais determinante da susceptibilidade de uma doença e/ou podridão ao gás ozônio (HIBBEN e STOTZKY, 1969). Esporos presentes em uma atmosfera mais seca são considerados mais resistentes ao ozônio, quando comparados aos esporos presentes num ambiente úmido (HEAGLE, 1973). A umidade relativa do ambiente influencia diretamente a taxa de decomposição do ozônio e na geração de EROs, que resultam da oxidação de constituintes celulares presentes nos vegetais e reduzem as chances de eficácia do gás contra estes microrganismos (HEAGLE e STRICKLAND, 1972; KRAUSE e WEIDENSAUL, 1977; SETLOW e SETLOW, 1993).

Estudos revelaram um declínio acentuado na produção de esporos (13-78%) em frutos mantidos em atmosferas enriquecidas com ozônio, com eficiência dependente do tipo de patógeno, do inóculo, da concentração e do período de exposição ao gás ozônio (TZORTZAKIS et al., 2008). Palou et al. (2001; 2003) também verificaram efeito marcante do gás ozônio na redução da produção de esporos de *Penicillium* ssp. em frutos cítricos e de esporos de *B. cinerea* em frutos de tomate (TZORTZAKIS et al., 2007).

O efeito do ozônio na inibição da produção de esporos é fundamental, pois quebra o ciclo de infecção do agente patogênico (SMILANICK, 2003) e da quantidade de inóculo disponível para a reinfestação durante o período de armazenamento (SONG et al., 2000; PALOU et al., 2002), sendo de grande importância para aplicações comerciais.

Os resultados para a observação de sintomas e sinais de doenças, obtidos pela Clínica de Doenças de Plantas da UFV, revelaram a presença do fungo *C.*

*gloeosporioides* Penz., agente causal da antracnose, nos frutos infectados no campo. As incidências da podridão causada por *Lasiodiplodia theobromae* (Pat.) e por *Fusicoccum* ssp., que comumente infectam os frutos de goiaba, não foram observadas. Os sintomas da antracnose nos frutos foram caracterizados pela presença de lesões necróticas recobertas por massas de esporos de coloração alaranjada na superfície dos frutos (Figura 15).



Figura 15 – Sintomas da doença antracnose (*C. gloeosporioides*) em goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ou não ao ozônio no nono dia de armazenamento ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR).

A incidência da antracnose constitui num alerta em relação à utilização de fungicidas nos tratamentos fitossanitários de pré ou pós-colheita no manejo da

cultura da goiabeira, evidenciando a necessidade de serem desenvolvidos novos e efetivos métodos de controle. As podridões causadas pelo fungo *C. gloeosporioides* em qualquer número ou intensidade de acordo com as normas referentes à classificação da fruta goiaba, prevista nos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros (CEASA, 2012), inevitavelmente ocasionam a desclassificação do produto para a comercialização.

#### 4. CONCLUSÕES

O processo de ozonização não afetou os parâmetros fisiológicos e físico-químicos das goiabas 'Pedro Sato', exceto o conteúdo de vitamina C, expresso pelo teor de ácido ascórbico, que não apresentou o mesmo incremento com o armazenamento em comparação com os frutos não ozonizados.

A concentração de ozônio de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$  reduziu mais de 50% da doença, aqui identificada como antracnose. O gás ozônio pode ser considerado um eficiente agente fungicida atuando no controle do fungo *Colletotrichum gloeosporioides*.

## 5. REFERÊNCIAS

AMORIM, L. Colonização e reprodução. **In:** BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. Manual de Fitopatologia. São Paulo: Ceres, 1995. 919p.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 13<sup>th</sup> ed. Washington: AOAC, 1984. 1141p.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 17<sup>th</sup> ed. Washington: AOAC, 2002. 1115p.

AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. São Paulo: Nobel, 1993. 114p.

AZZOLINI, M.; JACOMINO, A. P.; BRON, I. U. Índices para avaliar qualidade pós-colheita de goiabas em diferentes estádios de maturação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.2, p.139-145, 2004.

AZZOLINI, M.; JACOMINO, A. P.; BRON, I. U.; KLUGE, R. A.; SCHIAVINATO, M. A. Ripening of “Pedro Sato” guava: study on its climacteric or non-climacteric nature. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.17, n.3, p.299-306, 2005.

BARKAI-GOLAN, R. **Postharvest diseases of fruits and vegetables: Development and control**. Amsterdam: Elsevier, 2001. 418p.

BARNETT, H.L.; HUNTER, B.B. **Illustrated Genera of Imperfect Fungi**. 4<sup>th</sup> ed. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1998. 218p.

BARRET, D. M.; GONZALEZ, C. Activity of softening enzymes during cherry maturation. **Journal of Food Science**, v.59, n.3, p.574-577, 1994.

BASHIR, H. A.; ABU-GOUKH, A. B. A. Compositional changes during guava fruit ripening. **Food Chemistry**, v.80, p.557-563, 2003.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractants solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.31, n.4, p.507-513, 1988.

BIALE, J. B.; BARCUS, D. E. Respiratory patterns in tropical fruits of the amazon Basin. **Tropical Science**, v.12, n.2, p.93-104, 1970.

BICALHO, U. O.; CHITARRA, A. B.; CHITARRA, M. I. F.; COELHO, A. H. Modificações texturais em mamões submetidos à aplicação pós-colheita de cálcio e embalagens de PVC. **Ciência e Agrotecnologia**, v.24, n.1, p.136-146, 2000.

BRUMMEL, D. A.; LABAVITCH, J. M. Effect of antisense suppression of endopolygalacturonase activity on polyuronide molecular weight in ripening tomato fruit and in fruit homogenates. **Plant Physiology**, v.115, n.2, p.717-725, 1997.

BUENO, S. M.; LOPES, M. R. V.; GRACIANO, R. A. S.; FERNANDES, E. C. B.; GARCIA-CRUZ, C. H. Avaliação da qualidade de polpas de frutas congeladas. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v.62, n.2, p.121-126, 2002.

CANALE, M. C.; BENATO, E. A.; CIA, P.; HADDAD, M. L.; PASCHOLATI, S. F. In vitro effect of UV-C irradiation on *Guignardia citricarpa* and on postharvest control of citrus black spot. **Tropical Plant Pathology**, v.36, n.6, p.356-361, 2011.

CAO, B.; LI, H.; TIAN, S.; QIN, G. Boron improves the biocontrol activity of *Cryptococcus laurentii* against *Penicillium expansum* in jujube fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.68, p.16-21, 2012.

CARVALHO, V. L.; CUNHA, R. L.; CHALFUN, N. N. J.; MOURA, P. H. A. Alternativas de controle pós-colheita da podridão-parda e da podridão-mole em frutos de pessegueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.31, n.1, p.78-83, 2009.

CAVALINI, F. C.; JACOMINO, A. P.; LOCHOSKI, M. A.; KLUGE, R. A.; ORTEGA, E. M. M. Maturity indexes for 'Kumagai' and 'Paluma' guavas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, n.2, p.176-179, 2006.

CEASA – Central de Abastecimento de Campinas S. A. Padronização: **Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros – Goiaba**. Disponível em: <[http://www.ceasacampinas.com.br/novo/Serv\\_Padronizacao.asp](http://www.ceasacampinas.com.br/novo/Serv_Padronizacao.asp)>. Acesso em: 02 jul. 2012.

CERQUEIRA, T. S.; JACOMINO, A. P.; SASAKI, F. F.; ALLEONI, A. C. C. Recobrimento de goiabas com filmes protéicos e de quitosana. **Bragantia**, v.70, n.1, p.216-221, 2011.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2 ed. 2005. 785p.

CLESCERL, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Denver: American Water Works Association, 2000. 1220p.

DHILLON, B. S.; SINGH, S. N.; KUNDAL, G. S.; MINHAS, P. P. S. Studies on the developmental physiology of guava fruit (*Psidium guajava* L.) II. Biochemical characters. **Punjab Horticultural Journal**, v.27, p.212-221, 1987.

ESTEBAN, R.; LABRADOR, E.; DOPICO, B. A family of beta-galactosidase cDNAs related to development of vegetative tissue in *Cicer arietinum*. **Plant Science**, v.168, n.2, p.457-466, 2005.

ESTEVEZ, M. T. C.; CARVALHO, V. D.; CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B.; PAULA, M. B. Caracterização dos frutos de seis cultivares de goiabeiras (*Psidium guajava* L.) na maturação. I – Determinações físicas e químicas. **In: VII Congresso Brasileiro de Fruticultura**, Florianópolis, SC. 1983, Anais Florianópolis, SC: SBF, 1984, v.2, p.477-489.

FONTES, V. L.; MOURA, M. A.; VIEIRA, G.; FINGER, F. L. Efeito de filmes plásticos e temperatura de armazenamento na manutenção da cor do pericarpo de

lichia (*Litchi chinensis*). **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.24, n.1, p. 56-59, 1999.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Oxidant and antioxidant signalling in plants: a reevaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. **Plant, Cell and Environment**, v.28, p.1056-1071, 2005.

FREIRE, E. C. B. S.; SILVA, F. V. G.; SANTOS, A. F.; MEDEIROS, I. F. Avaliação da qualidade de ciriguela (*Spondias purpúrea*, L.) em diferentes estádios de maturação. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.6, n.2, p.27-40, 2011.

GILLASPY, G.; BEM-DAVID, H.; GRUÍSSEM, W. Fruits: a developmental perspectives. **The Plant Cell**, v.5, p.1439-1451, 1993.

GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; MEDEIROS, B. G. S.; RIBEIRO, C. F. A.; SILVA, M. M. Maturação da goiaba (*Psidium guajava* L.) mediante parâmetros físico-químicos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.1, p.85-94, 2003.

HEAGLE, A. S.; STRICKLAND, A. Reaction of *Erysiphe graminis* f. sp. *Hordei* to low levels of ozone. **Phytopathology**, v.62, p.1144-1148, 1972.

HEAGLE, A. S. Interaction between air pollutants and plant parasites. **Annual Review of Phytopathology**, v.11, p.365-388, 1973.

HIBBEN, C. R., STOTZKY, G. Effects of ozone on the germination of fungus spores. **Canadian Journal of Microbiology**, v.15, p.1187-1196, 1969.

HUBER, D. J. Polyuronide degradation and hemicelluloses modifications in ripening tomato fruit. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, v.108, p.405-409, 1983.

JACOMINO, A. P.; SARANTÓPOULOS, C. D. I. L.; SIGRIST, J. M. M.; KLUGE, R. A.; MINAMI, K. Armazenamento de goiabas 'Kumagai' sob diferentes temperaturas de refrigeração. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.1, n.3, p.165-169, 2000.

JACOMINO, A. P.; SIGRIST, J. M. M.; SARANTÓPOULOS, C. I. G. L.; MINAMI, K.; KLUGE, R. A. Embalagens para conservação refrigerada de goiabas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.23, n.1, p.50-54, 2001.

JACOMINO, A. P.; KLUGE, R. A.; BRACKMANN, A.; CASTRO, P. R. C. Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropano. **Scientia Agricola**, v.59, n.2, p.303-308, 2002.

JACOMINO, A. P.; OJEDA, R. M.; KLUGE, R. A.; SCARPARE FILHO, J. A. Conservação de goiabas tratadas com emulsões de cera de carnaúba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.3, p.401-405, 2003.

- JANISIEWICZ, W. J.; KURTZMAN, C. P.; BUYER, J. S. Yeasts associated with nectarines and their potential for biological control of brown rot. **Yeast**, v.27, p.389-398, 2010.
- KANGASJÄRVI, J.; TALVINEN, J.; UTRIAINEN, M.; KARJALAINEN, R. 1994. Plant defence systems induced by ozone. **Plant, Cell and Environment**, v.17, p.783-794, 1994.
- KAYS, S. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. Athens: Avi, 1991. 532p.
- KEUTGEN, A. J.; PAWELZIK, E. Influence of pre-harvest ozone exposure on quality of strawberry fruit under simulated retail conditions. **Postharvest Biology and Technology**, v.49, p.10-18, 2008.
- KLUGE, R. A.; NACHTIGAL, J. C.; FACHINELLO, J. C.; BILHALVA, A. B. **Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado**. 2 ed. Piracicaba: Livraria e Editora Rural, 2002. 214p.
- KOYUNCU, M. A.; SEYDIM, A. C.; DILMAÇÜNAL, T.; SAVRAN, H. E.; TAS, T. Effects of different precooling treatments with ozonated water on the quality of '0900 ZIRAAT' sweet cherry fruit. **Acta Horticulturae**, v.795, p.831-836, 2008.
- KRAUSE, C. R.; WEIDENSAUL, T. C. Effects of ozone on the sporulation, germination and pathogenicity of *Botrytis cinerea*. **Phytopathology**, v.68, p.195-198, 1977.
- LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v.20, p.207-220, 2000.
- LIEW, C. L.; PRANGE, R. K. Effect of ozone and storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots (*Daucus carota* L.). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.119, p.563-567, 1994.
- LINHARES, L. A.; SANTOS, C. D.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D. Transformações químicas, físicas e enzimáticas de goiabas 'Pedro Sato' tratadas na pós-colheita com cloreto de cálcio e 1-metilciclopropeno e armazenadas sob refrigeração. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, n.3, p.829-841, 2007.
- MANICA, I.; ICUMA, I. M.; JUNQUEIRA, N. T. V.; SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. **Fruticultura tropical 6**. Goiaba. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2000, 374p.
- MATTIUZ, B-H.; DURIGAN, J. F.; TEIXEIRA, G. H. A. Efecto de la injuria mecánica de impacto en la calidad poscosecha de guayaba 'Paluma'. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v.2, n.2, p.115-120, 2000.
- MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v.27, n.12, p.1254-1255, 1992.

MEDINA, J. C. **Goiaba, da cultura ao processamento e comercialização**. Campinas: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria da Agricultura, Coordenadoria da Pesquisa Agropecuária, Instituto de Tecnologia de Alimentos, Série Frutas tropicais nº 6. 1978. 106p.

MINAS, I. S.; KARAOGLANIDIS, G. S.; MANGANARIS, G. A.; VASILAKAKIS, M. Effect of ozone application during cold storage of kiwifruit on the development of stem-end rot caused by *Botrytis cinerea*. **Postharvest Biology and Technology**, v.58, p.203-210, 2010.

MINAS, I. S.; TANOU, G.; BELGHAZI, M.; JOB, D.; MANGANARIS, G. A.; MOLASSIOTIS, A.; VASILAKAKIS, M. Physiological and proteomic approaches to address the active role of ozone in kiwifruit post-harvest ripening. **Journal of Experimental Botany**, v.63, n.7, p.2449-2464, 2012.

MONDAL, K.; MALHOTRA, S. P.; JAIN, V.; SINGH, R. Oxidative stress and antioxidant systems in Guava (*Psidium guajava* L.) fruits during ripening. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.15, n.4, p.327-334, 2009.

MORGADO, C. M. A.; DURIGAN, J. F.; LOPES, V. G.; SANTOS, L. O. Conservação pós-colheita de goiabas 'Kumagai': efeito do estágio de maturação e da temperatura de armazenamento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, n.4, p.1001-1008, 2010.

NADAS A.; OLMO M.; GARCÍA J. M. Growth of *Botrytis cinerea* and strawberry quality in ozone-enriched atmospheres. **Journal of Food Science**, v.68, n.5, p.1798-1802, 2003.

NADAS A.; OLMO. M.; MARTÍNEZ, M. C.; GARCÍA, J. M. El ozono en la conservación de los cítricos. **Levante Agrícola**, v.352, p. 251-258, 2000.

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

OVERMYER, K.; TUOMINE, H.; KETTUNEN, R.; BETZ, C.; LANGEBAEELS, C.; SANDERMAN, H. J.; KANGASJÄRVI, J. Ozone-sensitive Arabidopsis rcd1 mutant reveals opposite roles for ethylene and jasmonate signalling pathways in regulating superoxi dedependent cell death. **The Plant Cell**, v.12, p.1849-1862, 2000.

PALOU, L.; SMILANICK, J. L.; CRISOTO, C. H.; MANSOUR, M. Effect of gaseous ozone exposure on the development of green and blue molds on cold stored citrus fruit. **Plant Disease**, v.85, n.6, p.632-638, 2001.

PALOU, L.; CRISOSTO, C. H.; SMILANICK, J. L.; ADASKAVEG, J. E.; ZOFFOLI, J. P. Effects of continuous 0.3 ppm ozone exposure on decay development and physiological responses of peaches and table grapes in cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, v.24, p.39-48, 2002.

PALOU, L.; SMILANICK, J. L.; CRISOSTO, C. H.; MANSOUR, M.; PLAZA, P. Ozone gas penetration and control of sporulation of *Penicillium digitatum* and

*Penicillium italicum* within commercial packages of oranges during cold storage. **Crop Protection**, v.22, p.1131-1134, 2003.

PARISH, M. E.; BEUCHAT, L. R.; SUSLOW, T. W.; HARRIS, L. J.; GARRET, E. H.; FARBER, J. N.; BUSTA, F. F. Methods to reduce/eliminate pathogens from fresh and fresh-cut produce. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v.2, p.161-173, 2003.

PEREIRA, T.; CARLOS, L. A.; OLIVEIRA, J. G.; MONTEIRO, A. R. Influência das condições de armazenamento nas características físicas e químicas de goiaba (*Psidium guajava*), cv. Cortibel de polpa branca. **Revista Ceres**, v.53, n.306, p.276-284, 2006.

RADI, M.; MAHROUZ, M.; JAOUAD, A. Phenolic composition, browning susceptibility, and carotenoid content of several apricot cultivars at maturity. **HortScience**, v.32, n.6, p.1087-1091, 1997.

RAO, M. V.; LEE, H. I.; CREELMAN, R. A.; MULLET, J. E.; DAVIS, K. R. Jasmonate perception desensitises O<sub>3</sub>-induced salicylic acid biosynthesis and programmed cell death in Arabidopsis. **The Plant Cell**, v.12, p.1633-1646, 2000.

RAY, B.; BHUNIA, A. **Fundamental Food Microbiology**. 4<sup>th</sup> ed. CRC Press Taylor & Francis Group, New York, USA, 2008. 475p.

SAEG – **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SALVADOR, A.; ABAD, I.; ARNAL, L.; MATÍNEZ-JÁVEGA, J. M.; Effect of Ozone on Postharvest Quality of Persimmon. **Journal of Food Science**, v.71, n.6, p.443-446, 2006.

SANCHES, J.; CIA, P.; VALENTINI, S. R. T.; BENATO, E.; CHAGAS, E. A.; PIO, R. Atmosfera modificada e refrigeração para conservação pós-colheita da nêspera 'Fukuhara'. **Bragantia**, v.70, n.2, p.455-459, 2011.

SCHIRRA, M.; D'AQUINO, S.; CABRAS, P.; ANGIONI, A. Control of postharvest diseases of fruit by heat and fungicides: efficacy, residue levels, and residue persistence. A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, p.8531-8542, 2011.

SETLOW, B., SETLOW, P. Binding of small, acid-soluble spore proteins to DNA plays a significant role in the resistance of *Bacillus subtilis* spores to hydrogen peroxide. **Applied and Environmental Microbiology**, v.59, p.3418-3423, 1993.

SHALLUF, M. A.; TIZAOUI, C.; KARODIA, N. Controlled atmosphere storage technique using ozone for delay ripening and extend the shelf life of tomato fruit. **In: IOA, Conference and Exhibition Valencia, Spain, 2007.** p.541-547.

SHARAF, A.; EL-SAADANY, S. S. Biochemical studies on guava fruits during different maturity stages. **Annals of Agriculture Science**, v.24, n.2, p.975-984, 1996.

SHARMA, R. R.; SINGH, D.; SINGH, R. Biological control of postharvest diseases of fruits and vegetables by microbial antagonists: A review. **Biological Control**, v.50, p.205-221, 2009.

SIGMAPLOT. **Scientific Graphing Software**. Versão 10.0. San Rafael, Jandel Corporation, 2006.

SILVEIRA, N. S. S.; MICHEREFF, S. J.; SILVA, I. L. S. S.; OLIVEIRA, S. M. A. Doenças fúngicas pós-colheita em frutas tropicais: patogênese e controle. **Caatinga**, v.18, n.4, p.283-299, 2005.

SIMGE – Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais. **In: Mapas Climáticos**. Disponível em: <[http://www.simge.mg.gov.br/monitoramento/mapas\\_climaticos.html](http://www.simge.mg.gov.br/monitoramento/mapas_climaticos.html)>. Acesso em: 02 jul. 2012.

SINGH, B. P.; SINGH, H. K.; CHAUHAN, K. S. Effect of post-harvest calcium treatments on the storage life of guava fruits. **Indian Journal Agricultural Science**, v.51, n.1, p.44-47, 1981.

SKOG, L. J.; CHU, C. L. Effect of ozone on qualities of fruits and vegetables in cold storage. **Canadian Journal of Plant Science**, v.81, n.4, p.773-778, 2001.

SMILANICK, J. L. Postharvest Use of Ozone on Citrus Fruit. **Packinghouse Newsletter 199**, USA, 2003. p.1-6.

SONG, J.; FAN, L.; HILDEBRAND, P. D.; FORNEY, C. F. Biological effects of corona discharge on onions in a commercial storage facility. **HortTechnology**, v.10, n.3, p.608-612, 2000.

TERAO, D.; OLIVEIRA, S. M. A.; VIANA, F. M. P.; SARAIVA, A. C. M. **Estratégias de controle de podridões em pós-colheita de melão: uma revisão**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008. 56p.

TUCKER, J. A. Introduction. **In: SEYMOR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A.** Biochemistry of fruit ripening. London: Chapman & Hall, 1993. p.2-51.

TZORTZAKIS, N. G., SINGLETON, I., BARNES, J. D. Deployment of low-level ozone-enrichment for the preservation of chilled fresh produce. **Postharvest Biology and Technology**, v.43, p.261-270, 2007.

TZORTZAKIS, N.; SINGLETON, I.; BARNES, J. Impact of low-level atmospheric ozone-enrichment on black spot and anthracnose rot of tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.47, p.1-9, 2008.

TZORTZAKIS, N.; ROBERTS, T. T. R.; SINGLETON, I.; BORLAND, A.; BARNES, J. Low-level atmospheric ozone exposure induces protection against *Botrytis cinerea* with down-regulation of ethylene-, jasmonate- and pathogenesis-related genes in tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.61, p.152-159, 2011.

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

VAZQUEZ-OCHOA, R. I.; COLINAS-LEON, M. T. Changes in guava fruits of three maturity stages in response to temperature and relative humidity. **HortScience**, v.25, n.1, p.86-87, 1990.

VIEIRA, S. M. J.; COUTO, S. M.; CORRÊA, P. C.; SANTOS, A. E. O.; CECON, P. R.; SILVA, D. J. P. Características físicas de goiabas (*Psidium guajava* L.) submetidas a tratamento hidrotérmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p.408-414, 2008.

VIEIRA, S. M. J. **Avaliação dos efeitos da água quente e radiação ultravioleta-C como tratamentos quarentenários para *Ceratitis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae) na qualidade de goiabas ‘Kumagai’ após a colheita.** 2011. 127p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP, Campinas.

WILLS, R.; MCGLASSON, B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. **Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales.** Trad. de J. B. Gonzáles. 2<sup>th</sup> ed. Zaragoza: Acribia, 1998. 240p.

WILLS, R. B. H.; WIMALASIRI, P.; GREENFIELD, H. Dehydroascorbic acid levels in fresh fruit and vegetables in relation to total vitamin C activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.32, p.836-838, 1984.

WOODS, J. L. Moisture loss from fruits and vegetables. **Postharvest News and Information**, v.1, n.3, p.195-199, 1990.

WHANGCHAI, K.; SAENGNIL, K.; SINGKAMANEE, C.; UTHAIBUTRA, J. Effect of electrolyzed oxidizing water and continuous ozone exposure on the control of *Penicillium digitatum* on tangerine cv. ‘Sai Nam Pung’ during storage. **Crop Protection**, v.29, p.386-389, 2010.

# Terceiro capítulo

## Eficácia do ozônio na conservação de goiabas ‘Pedro Sato’ armazenadas sob refrigeração seguida de condições ambientes

Rodrigo de Oliveira Simões<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia Agrícola

Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

e-mail: rodrigoosimoes@gmail.com

### RESUMO

Visando a simular as condições de exportação e comercialização das frutas brasileiras no mercado exterior, este trabalho teve por objetivo avaliar a eficácia do gás ozônio na conservação de goiabas ‘Pedro Sato’, armazenadas sob refrigeração seguida de condições ambientes. Os frutos foram submetidos ao processo de ozonização pós-colheita, injetando-se o gás na concentração de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$  e vazão de  $2 \text{ L min}^{-1}$  durante 0, 40, 60 e 80 min, em câmara de fumigação desenvolvida e confeccionada totalmente em material acrílico. A conservação dos frutos foi avaliada por meio de análises de qualidade fisiológica e físico-química, durante o armazenamento refrigerado, seguido de condições ambientes. O experimento foi realizado em esquema de parcelas subdivididas, sendo nas parcelas os períodos de exposição ao gás ozônio na concentração de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$  (0, 40, 60 e 80 min) e nas subparcelas os dias de armazenamento (0, 1, 5, 10, 15, 17 e 19 dias) no delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições de 6 frutos por unidade experimental. A respiração dos frutos, medida pela produção de  $\text{CO}_2$ , elevou-se em cerca de 10% em relação aos frutos não ozonizados. Os teores de sólidos solúveis totais e de vitamina

C foram reduzidos, em cerca de 3% e 50%, respectivamente, em função do incremento no período de exposição ao gás. Conclui-se também que as goiabas 'Pedro Sato' expostas durante 60 min à concentração de 185  $\mu\text{g L}^{-1}$  de ozônio apresentaram o menor índice de incidência (27,0%) e de severidade de doença (Nota 1,04), podendo, portanto, o ozônio ser considerado um eficiente agente fungicida atuando no controle da espécie, *Colletotrichum gloeosporioides*, a causadora da antracnose.

## Efficiency of ozone in conservation of ‘Pedro Sato’ guavas stored under refrigeration and environmental conditions

### ABSTRACT

Aiming to simulate exportation and commercialization conditions of Brazilian fruits in the market abroad, this work aimed to evaluate the efficiency of ozone gas in conservation of ‘Pedro Sato’ guavas, stored under refrigeration and in environmental conditions. ‘Pedro Sato’ guavas were submitted to the process of after harvest ozonization, injecting gas, at concentration of  $185 \mu\text{g L}^{-1}$ , and output of  $2 \text{ L min}^{-1}$ , during 0, 40, 60 and 80 min, in fumigation chamber. Fruit conservation was evaluated through physicochemical and physiological analysis of fruits quality, during refrigerated storage followed by environmental conditions. The experiments were made in scheme of subdivided parcels, being the parcels in which the exposition to ozone gas à  $185 \mu\text{g L}^{-1}$  (0, 40, 60 and 80 min), and in sub parcels the days of evaluation or harvest (0, 1, 5, 10, 15, 17 and 19 days) in delineation entirely randomized with 4 replications of 6 fruits by experimental unity. The respiration of fruits, measured by the production of  $\text{CO}_2$ , has risen around 10% in relation to the non fumigated fruits. The amount of total soluble solids and vitamin C were reduced, in around 3% and 50%, respectively, in function of the increment in the period of exposition to ozone gas. It was also concluded that ozone gas, at concentrations of  $185 \mu\text{g L}^{-1}$  applied during 60 min fumigation, presented a lower incidence rate (27,0%) and illness severity (Note 1,04), therefore being considered an efficient process of after harvest, acting in the control of the species, *Colletotrichum gloeosporioides*, which causes anthracnose.

## 1. INTRODUÇÃO

A goiabeira (*Psidium guajava*, L.) é originária da região tropical do continente americano, encontrando-se amplamente difundida por todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo (SAMSON, 1986; MEDINA, 1988). Tem grande importância, não só por apresentar elevado valor nutritivo e excelentes características sensoriais (PEREIRA e MARTINEZ JÚNIOR, 1986; CARVALHO, 1994), mas também pela sua excelente aceitação, seja como produto *in natura* ou como produto industrializado (GONGATTI NETTO et al., 1996).

O Brasil é um dos três maiores produtores mundiais de goiaba, sendo a ‘Pedro Sato’ a preferida no mercado nacional (AZZOLINI et al., 2005). Nos últimos anos, a exploração da goiabeira vem apresentando grande incremento devido ao interesse dos países europeus por frutas tropicais (PEREIRA e NACHTIGAL, 2002). Entretanto, sua participação no mercado internacional, principalmente como fruto *in natura*, ainda é inexpressiva. De acordo com Choudhury et al. (2001), o pouco conhecimento do produto por parte dos importadores e o alto grau de perecibilidade da fruta na fase pós-colheita são alguns dos fatores responsáveis por esse problema.

Os produtos hortícolas são acondicionados e escoados para o mercado internacional via aérea e em baixas temperaturas, para manter a qualidade, pela redução nos processos de respiração, produção de etileno, amadurecimento e desenvolvimento de podridões (HANDERBURG et al., 1986). Em frutos climatéricos, como a maioria dos cultivares de goiaba, a redução da temperatura retarda o pico climatérico e, por consequência, seu amadurecimento (KADER, 1992).

A goiaba apresenta atividade metabólica intensa, principalmente quando mantida à temperatura ambiente, podendo atingir o amadurecimento completo entre três e cinco dias (GONGATTI NETTO et al., 1996). O controle do processo de amadurecimento é fundamental para o aumento da sua vida de prateleira, e o emprego de métodos que possibilitem retardar este processo é benéfico para ampliar o período de exportação e comercialização.

Estudos vêm sendo conduzidos sobre o emprego do ozônio na pós-colheita, seja por meio da fumigação ou dissolvido na água, como alternativa na conservação de produtos hortícolas em fase de pós-colheita. Um dos mais importantes efeitos do gás ozônio em armazenamento refrigerado de produtos hortícolas é o retardamento do processo de amadurecimento, pela remoção do etileno por meio de reações químicas (RICE et al., 1982; PALOU et al., 2001). Puia et al. (2004) constataram redução no avanço de doenças fitopatológicas em maçãs armazenadas, com a aplicação de  $46 \mu\text{g L}^{-1}$  de ozônio em períodos de exposição que variaram entre 30 a 90 min.

Considerando o crescente mercado internacional de goiabas *in natura* e a pouca durabilidade desta fruta após a colheita, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia do gás ozônio na conservação de goiabas ‘Pedro Sato’, armazenadas sob refrigeração, seguida de condições ambientes, para fins de comercialização.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Grãos do Setor de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas (DEA), no Laboratório de Análise de Frutas do Setor de Fruticultura (DFT), na Clínica de Doenças de Plantas (DFP), todos localizados no campus da Universidade Federal de Viçosa – UFV, em Viçosa, MG.

Os frutos da goiabeira ‘Pedro Sato’ foram colhidos no estágio de maturação 1 (verde-escuro) conforme classificação de Azzolini et al. (2004), com ângulo de cor hue (°h) médio de 117,2 °h. Ainda no campo, os frutos foram ensacados para evitar infestação natural pelas moscas-das-frutas *Anastrepha fraterculus* e *Ceratitis capitata* (Wied.), principais pragas da goiaba (MANICA et al., 2000).

Os dados meteorológicos, Figura 1, relativos à temperatura média (°C) e à precipitação pluviométrica (mm), para os meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012, período de desenvolvimento dos frutos, foram obtidas no Sistema de Aquisição de Informações do SIMGE (Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais), apoiado pelo CPTEC – INPE (Centro de Previsão e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), oriundos de estações meteorológicas e hidrológicas automáticas, com transmissão de dados em tempo real através de satélite ou rádio (SIMGE, 2012).

Depois de colhidos, os frutos foram transportados até o Laboratório de Grãos, onde foram selecionados, padronizados quanto à maturação e à ausência de defeitos, submetidos à desinfecção com hipoclorito de sódio (NaClO) a 2% e colocados sobre papel toalha em bancadas para secar em condições ambientes de laboratório.

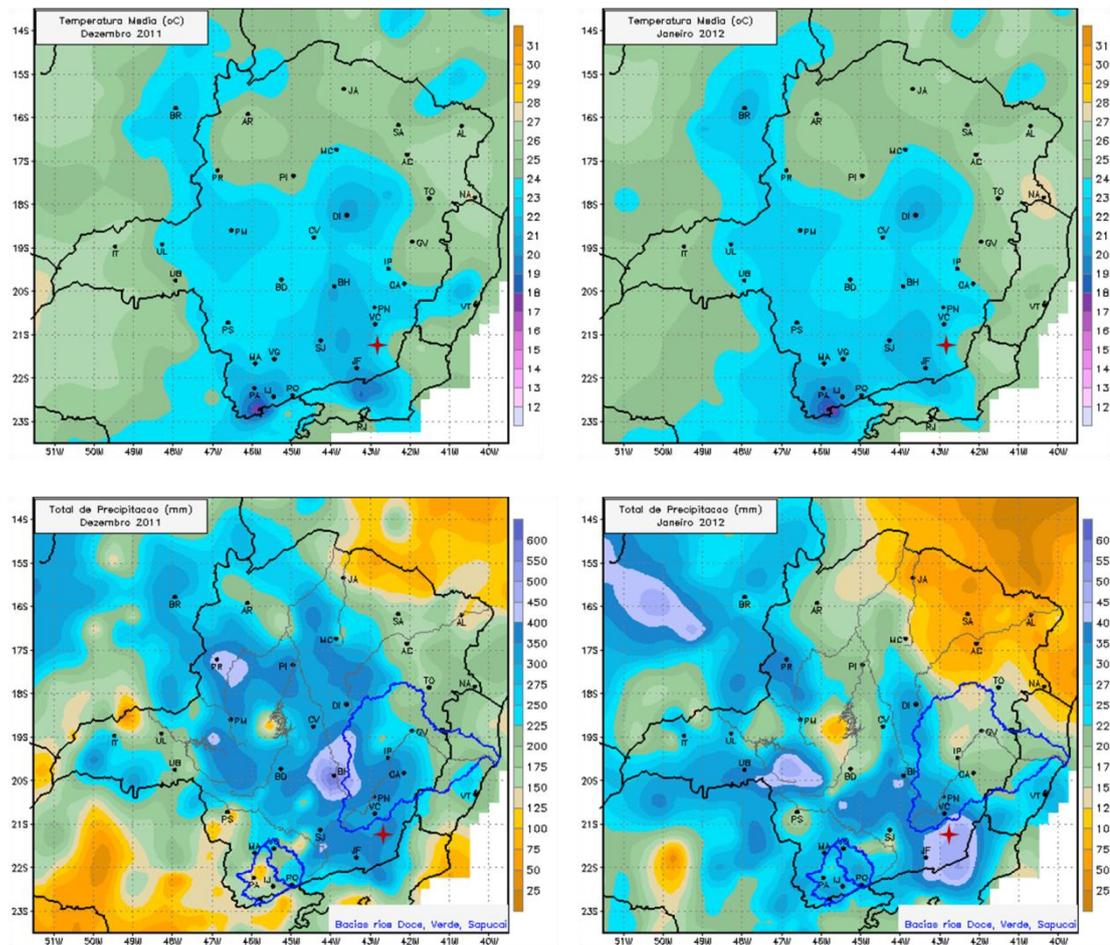


Figura 1 – Temperatura média (°C) e total de precipitação (Guiricema★), durante o desenvolvimento das goiabas ‘Pedro Sato’, nos meses de dezembro de 2011 e janeiro de 2012.

O gás ozônio foi obtido por meio de um gerador de ozônio, baseado no método de descarga corona, desenvolvido pelo Departamento de Física do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos, SP. No processo de geração do ozônio, foi utilizado como insumo o oxigênio com grau de pureza de  $90\pm 3\%$ , isento de umidade, obtido do concentrador Mark 5 Plus Oxygen Concentrator.

A concentração de ozônio foi determinada pelo método iodométrico, descrito por Clescerl et al. (2000), que consiste no borbulhamento do ozônio em 50 mL de

solução de iodeto de potássio (KI) 1 N, com produção de Iodo ( $I_2$ ). Para garantir o deslocamento da reação para a produção de  $I_2$ , foi necessário acidificar o meio com 2,5 mL de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 1 N. A solução foi então titulada com tiosulfato de sódio ( $Na_2S_2O_3$ ) 0,005 N, com uso de solução de amido 1% como indicador.

O processo de ozonização consistiu na exposição dos frutos ao gás na concentração de  $185 \mu g L^{-1}$  e vazão de  $2 L min^{-1}$  pelos períodos de 0, 40, 60 e 80 min em câmara de fumigação desenvolvida e confeccionada totalmente em material acrílico. Em seguida, os frutos foram acondicionados em bandejas de poliestireno expandido, dentro de caixas plásticas e mantidos em condições de refrigeração ( $11 \pm 2$  °C e  $85 \pm 2\%$  UR), durante 15 dias, para simular as condições às quais os frutos destinados à exportação são expostos durante a armazenagem e transporte. Decorrido o período do armazenamento refrigerado, os frutos foram, então, armazenados em condições ambientes ( $23 \pm 2$  °C e  $70 \pm 2\%$  UR), simulando a exposição do produto para fins de comercialização, onde permaneceram até não mais atenderem aos padrões comerciais. Um fluxograma com as principais etapas do experimento é mostrado na Figura 2.

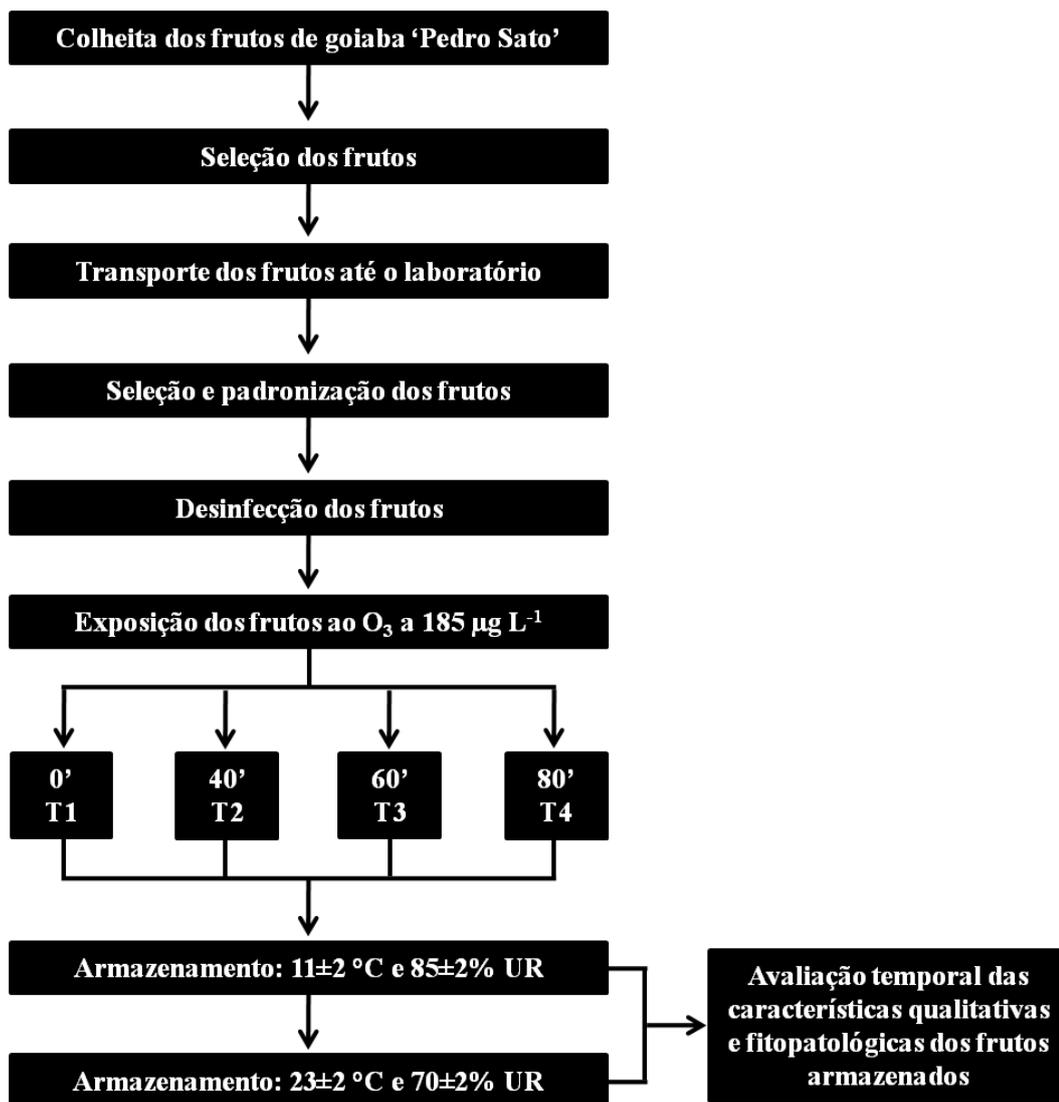


Figura 2 – Fluxograma de execução do experimento.

Além da taxa respiratória (produção de CO<sub>2</sub>), foram avaliados a perda de massa fresca, a cor da casca e da polpa, a firmeza da polpa, a acidez titulável total, os sólidos solúveis totais, o conteúdo de vitamina C, medido pelo teor de ácido ascórbico, a incidência de doenças e a severidade ou nível de infecção dos frutos. Durante o armazenamento refrigerado, os frutos foram avaliados em intervalos de cinco dias e em intervalos de dois dias quando armazenados em condições ambientes, até não mais atenderem aos padrões de comercialização. Frutos recém-chegados, em número de 24, foram selecionados aleatoriamente, e o período de

armazenamento, nesse caso, foi considerado o dia zero. As metodologias de análise utilizadas foram as mesmas descritas no Capítulo 2.

Ao final das avaliações, amostras de goiabas ‘Pedro Sato’ foram encaminhadas para a Clínica de Doenças de Plantas para observação de sintomas e sinais de doenças, sob microscopia de luz (BARNETT e HUNTER, 1998).

O experimento foi conduzido em esquema de parcelas subdivididas, sendo nas parcelas os períodos de exposição (0, 40, 60 e 80 min) ao gás ozônio na concentração de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$ , e nas subparcelas os dias de armazenamento (0, 1, 5, 10, 15, 17 e 19 dias) no delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições de 6 frutos por unidade experimental. Os dados foram analisados através dos gráficos de contorno dos modelos obtidos por meio da análise de regressão. Os modelos ajustados por meio de regressão foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão até o nível de 10% de probabilidade pelo teste “t”, de Student, no coeficiente de determinação e no potencial para explicar o fenômeno biológico. O programa estatístico utilizado foi SAEG – Sistema para Análises Estatísticas, software SAEG 9.0 (SAEG, 2007). Para a plotagem dos gráficos, referentes ao efeito do ozônio, avaliado durante o armazenamento em condições refrigeradas seguida de condições ambientes, nos diferentes períodos de exposição, utilizou-se o software SigmaPlot, versão 10.0 (SIGMAPLOT, 2006).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa respiratória das goiabas ‘Pedro Sato’ medida pela produção de CO<sub>2</sub> aumentou com o período de armazenamento (Figura 3). O aumento foi mais expressivo a partir do 15º dia, que coincide com o início do armazenamento em condições ambientes. Para os frutos ozonizados, observa-se também que à medida que se elevou o período de exposição ao ozônio maior foi a produção de CO<sub>2</sub>.

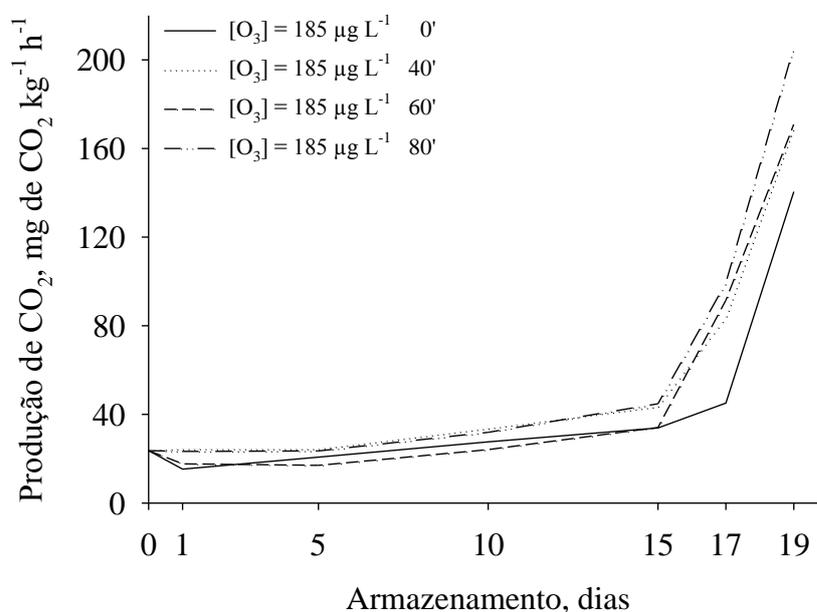


Figura 3 – Produção de CO<sub>2</sub> (mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ao gás ozônio em diferentes períodos de exposição, em função do período de armazenamento refrigerado (11±2 °C e 85±2% UR) por 15 dias seguido de condições ambientes (23±2 °C e 70±2% UR) por 4 dias.

O aumento na taxa respiratória dos frutos foi semelhante ao encontrado por Liew e Prange (1994), quando estudaram o efeito da concentração do gás ozônio e da

temperatura de armazenamento sobre a fisiologia e o controle de doenças pós-colheita de cenouras, encontrando incrementos médios na taxa respiratória de 20,7 mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, em temperaturas próximas de 20 °C. Estes autores propuseram que esta elevação na produção de CO<sub>2</sub>, concomitantemente à elevação na concentração de ozônio, pode ter sido provocada por alterações no metabolismo natural do produto quando exposto ao gás, podendo também resultar em perdas de nutrientes orgânicos e inorgânicos. Entretanto, os resultados encontrados ainda são pouco conclusivos.

O aumento na taxa respiratória dos frutos ozonizados ou não, Figura 3, observado durante o amadurecimento em condições ambientes pode ser considerado uma resposta homeostática das mitocôndrias, na tentativa de reparar os danos celulares causados pela produção do etileno (ROMANI, 1984). Observa-se ainda que as taxas respiratórias se mantiveram elevadas, mesmo depois do completo amadurecimento dos frutos. Estes resultados estão de acordo com os dados encontrados por Azzolini et al. (2005) quando estudaram o comportamento respiratório de frutos de goiaba durante o seu amadurecimento e por Bron et al. (2005) quando verificaram aumento na taxa respiratória dos frutos com o incremento na temperatura de armazenamento.

O percentual de perda de massa fresca das goiabas 'Pedro Sato' aumentou linearmente com o período de armazenamento refrigerado seguido de condições ambientes, independentemente da exposição ou não dos frutos ao gás ozônio (Figura 4). A perda de massa fresca dos frutos foi de 10,9%, valor um pouco acima daquele considerado apropriado para comercialização, que é até 10% (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

$$\widehat{PMF} = 0,5736^{**}(d) \quad r^2 = 0,9905$$

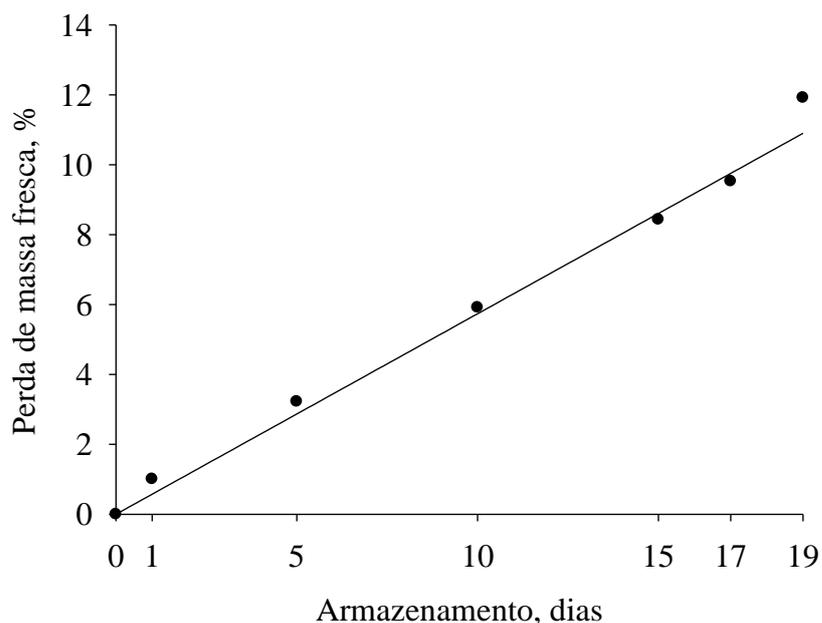


Figura 4 – Valores observados e estimados de perda de massa fresca (%) de goiabas ‘Pedro Sato’, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11\pm 2$  °C e  $85\pm 2\%$  UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR) por 4 dias.

Palou et al. (2002) relataram a ocorrência de perda de massa fresca de uvas de mesa, em exposição contínua de ozônio à concentração de 0,3 ppm armazenadas em condições refrigeradas seguidas de condições ambiente. Perdas de massa fresca também foram registradas para manga (MARTÍNEZ, et al., 2002), brócolis (FORNEY et al., 2003), caqui (ARNAL et al., 2005; SALVADOR et al., 2006), uva (CAYUELA et al., 2009) e tomate (TZORTZAKIS et al., 2007a; RODONI et al., 2010). A exposição prolongada ao gás ozônio pode afetar a cutícula do fruto, promovendo reações oxidativas de alguns componentes e favorecer a perda de água por evaporação (CRISOSTO et al., 1999).

A perda de massa fresca dos frutos é uma variável importante na avaliação de qualidade, sendo considerada um dos principais problemas durante o armazenamento de produtos hortícolas, pois a perda de água leva ao amolecimento dos tecidos, tornando os frutos mais susceptíveis às deteriorações bem como às alterações na cor e no sabor (BEM-YEHOSHUA, 1985).

O atributo cor é de grande importância na avaliação da qualidade de produtos hortícolas, pois é um dos primeiros parâmetros levados em conta pelo consumidor na hora da compra, determinando assim o seu valor comercial (AWAD, 1993 e CHITARRA e CHITARRA, 2005).

As alterações na coloração da casca dos frutos ocorreram com o período de armazenamento, Figura 5, independentemente da exposição ou não das goiabas ‘Pedro Sato’ ao ozônio.

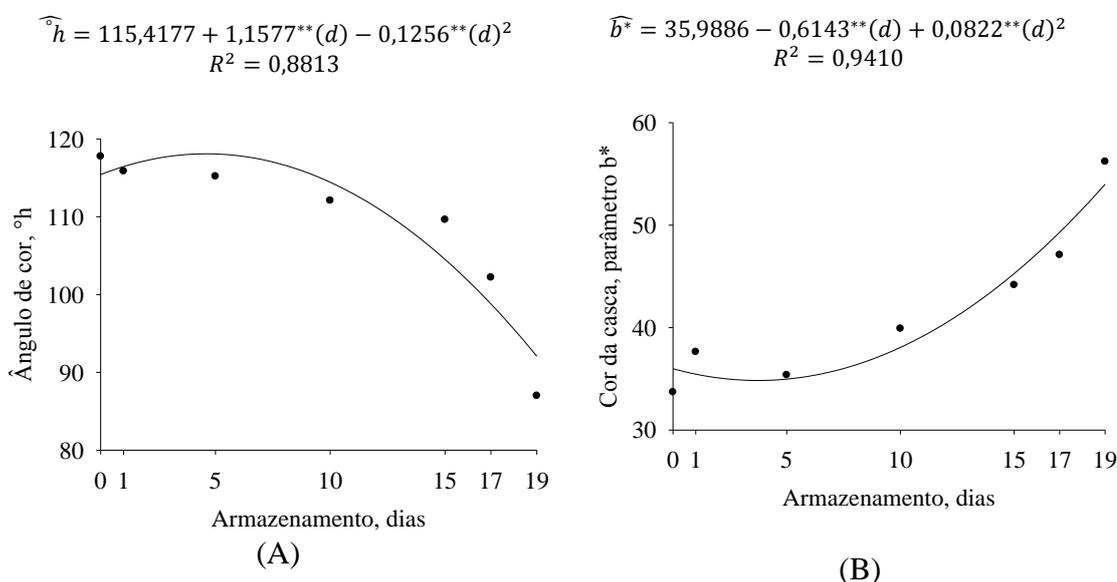


Figura 5 – Valores observados e estimados do ângulo hue ( $h$ ) (A) e parâmetro  $b^*$  (B) da casca de goiabas ‘Pedro Sato’, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11 \pm 2$  °C e  $85 \pm 2\%$  UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23 \pm 2$  °C e  $70 \pm 2\%$  UR) por 4 dias.

Uma redução mais expressiva, Figura 5A, da cor verde da casca, foi observada, principalmente após o 15º dia de armazenamento, quando as condições ambientes de temperatura e umidade relativa foram modificadas de  $11\pm 2$  °C e  $85\pm 2\%$  UR, condições de refrigeração para  $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR, condições ambientes.

A perda na coloração verde dos frutos de goiaba ‘Pedro Sato’, evidencia a evolução do processo de amadurecimento dos frutos, o que pode ser verificado pela mudança na cor dos frutos, em média, de verde (115,4 °h) no início, para amarela (92,07 °h) ao final dos 19 dias de armazenamento (Figura 5A). A perda do pigmento verde é atribuída ao desaparecimento da cor verde vívida da clorofila a um verde castanho, característica da feofitina. Este fenômeno é conhecido como feofitinação, em que o magnésio do centro da molécula de clorofila é substituído por hidrogênio (TUCKER, 1993). Essa decomposição da clorofila durante a fase de senescência faz parte do desenvolvimento da planta e está geralmente associada com a produção de etileno durante o amadurecimento do fruto (STREIT et al., 2005).

A evolução da coloração amarela da casca dos frutos, mensurada segundo o parâmetro  $b^*$ , se deu a partir do 10º dia de armazenamento, em que o valor registrado foi de 38,0 com aumento expressivo a partir do 15º dia, quando foi alterada a condição de refrigerada para ambiente da câmara de armazenamento (Figura 5B). Nesta mesma condição, os valores do parâmetro  $b^*$  elevaram-se, atingindo o valor de 54,0 ao final do período de armazenamento em condições ambientes, indicando aumento da coloração amarela dos frutos.

A mudança na coloração da casca durante o amadurecimento é devida tanto a processos degradativos, como, por exemplo, a degradação da clorofila, quanto a processos sintéticos, por exemplo, de carotenoides, que podem ocorrer ao mesmo

tempo (CERQUEIRA et al., 2011), sendo um dos principais critérios de julgamento do estado de maturação e amadurecimento de alguns produtos hortícolas.

Os valores elevados para o parâmetro  $b^*$  sugerem, sobretudo, a síntese ou revelação de pigmentos, como, por exemplo, o  $\beta$ -caroteno, responsável pela formação da coloração amarela (TUCKER, 1993), além de outros pigmentos como o licopeno, a xantofila e a antocianina, dependendo do vegetal.

A exposição ou não das goiabas ‘Pedro Sato’ ao gás ozônio, em diferentes períodos, não alterou a coloração da polpa, medida pelo ângulo hue ( $^{\circ}h$ ), com o período de armazenamento (Figura 6A). Em contrapartida, o parâmetro  $a^*$ , que mede a intensidade da cor amarela, apresentou um ligeiro aumento como o período de armazenamento, principalmente em condições refrigeradas (Figura 6B).

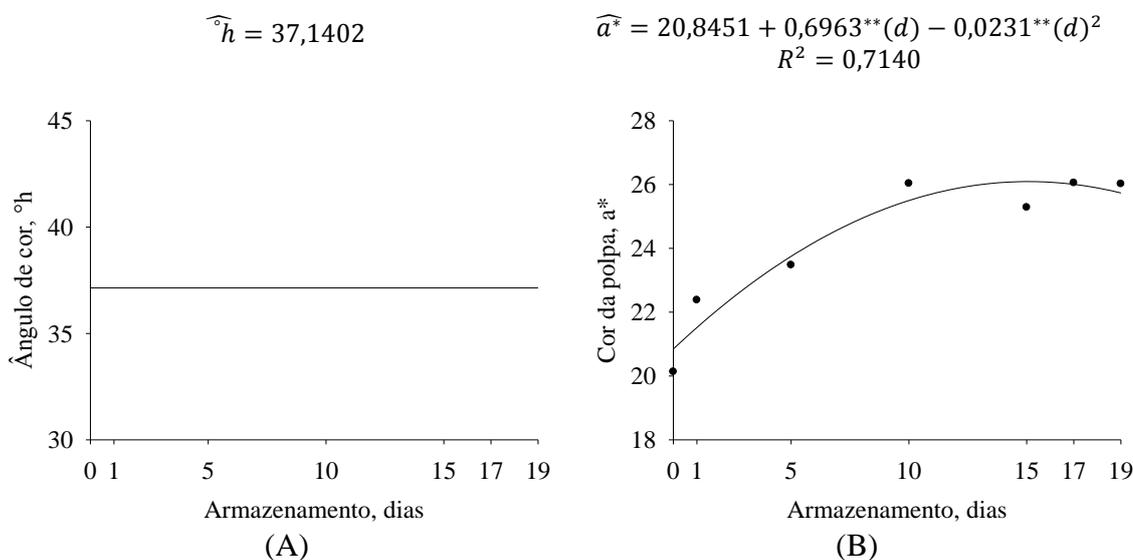


Figura 6 – Ângulo hue ( $^{\circ}h$ ) (A) e valores observados e estimados do parâmetro  $a^*$  (B) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11\pm 2$  °C e  $85\pm 2\%$  UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR) por 4 dias.

A mudança na cor da polpa de rosa para vermelho, comportamento esperado para esta variedade de goiaba, durante o amadurecimento (JACOMINO et al., 2003), não foi claramente observado, pois o valor do ângulo hue observado (Figura 6A) foi, em média, 37,1 °h, que corresponde à coloração vermelho-clara.

A firmeza é um dos componentes da textura, e em frutos fornece a indicação sobre o potencial de vida útil pós-colheita. Além da importância do ponto de vista econômico, já que afeta a qualidade do fruto e, conseqüentemente, a aceitação pelo consumidor, a firmeza deve ser levada em consideração quando se analisam a resistência ao transporte, o tempo de conservação e a presença de microrganismos (BRAZ et al., 2008). A firmeza dos frutos foi reduzida com o período de armazenamento, independentemente do processo de ozonização, sendo esta redução mais intensa a partir do 15º dia de armazenamento (Figura 7).

Cayuela et al. (2009), estudando o efeito do ozônio na conservação pós-colheita de uvas de mesa, verificaram menores perdas da firmeza durante o armazenamento, nos frutos tratados em relação aos não tratados. De acordo com estes autores, esta retenção na firmeza dos frutos, provavelmente, se deve ao fato de o ozônio atuar diretamente na estrutura da parede celular, atrasando, através de reações oxidativas, a ação de enzimas tais como a PME (pectinametilesterase) e a PG (poligalacturonase) responsáveis pela degradação da parede celular durante o amadurecimento de fruto.

Considerando os valores de firmeza da polpa no dia zero (118,4 N), no 15º dia (58,3 N) e no 19º dia (21,6 N) (Figura 7), a perda da firmeza da polpa das goiabas 'Pedro Sato', armazenadas em condição refrigerada, foi de 50% e, em condição ambiente, de 82%, em relação ao dia zero. Essa perda na firmeza se reflete

diretamente na qualidade dos frutos com conseqüente redução no período de conservação do produto.

$$\hat{F} = 118,4436 + 0,0919^{ns}(d) - 0,2731^{**}(d)^2 \quad R^2 = 0,9347$$

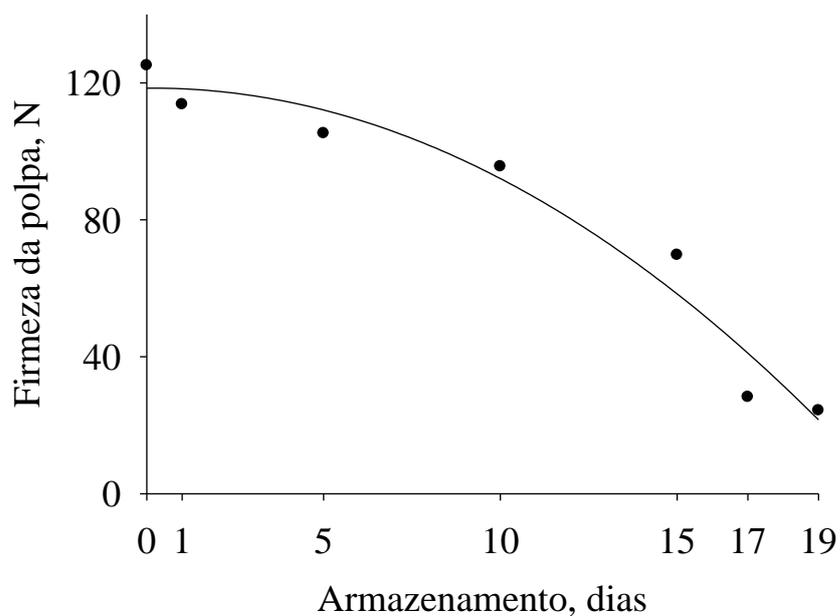


Figura 7 – Valores observados e estimados de firmeza (N) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11\pm 2$  °C e  $85\pm 2\%$  UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR) por 4 dias.

As maiores perdas na firmeza da maioria dos produtos hortícolas são registradas em condições de temperatura ambiente, quando comparadas a condições de refrigeração. Elevações na temperatura podem ocasionar perda na firmeza dos frutos e varia conforme a espécie, o cultivar e a fase de maturação fisiológica. Este tipo de desordem pode ser devido ao efeito direto da perda de umidade do produto que inclui danos às membranas celulares, às proteínas e aos ácidos nucléicos (ASREY e BARMAN, 2011). O aumento da temperatura na câmara de

armazenamento pode ter desencadeado uma série de reações enzimáticas que são em grande parte, responsáveis pela redução da textura dos frutos, observado pela perda de firmeza das goiabas ‘Pedro Sato’ representada pela Figura 7.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) dos frutos, expostos ao gás ozônio na concentração de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$  em diferentes períodos de exposição, apresentou aumento significativo ( $p < 0,05$ ) com o período de armazenamento (Figura 8).

$$\widehat{SST} = 7,9912 - 0,0120^{ns}(p) + 0,0001^{**}(p)^2 + 0,1311^{**}(d) \quad R^2 = 0,9772$$

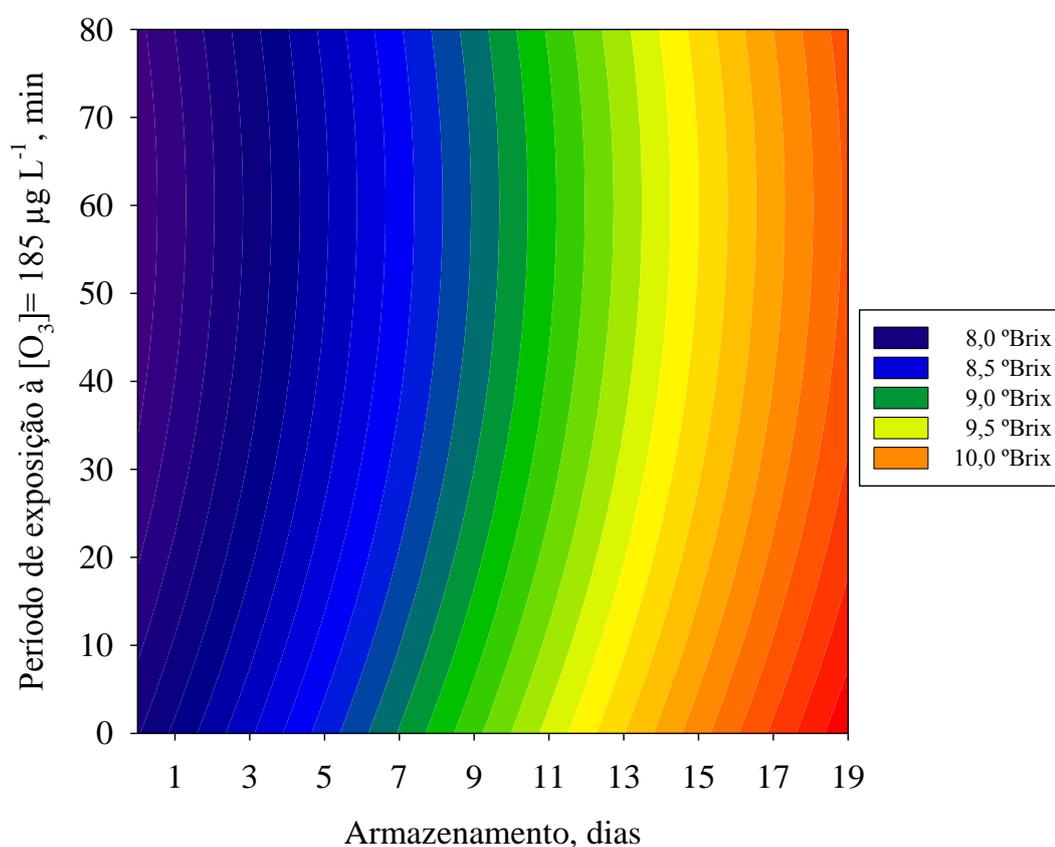


Figura 8 – Sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ao gás ozônio em diferentes períodos de exposição, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $85 \pm 2\%$  UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $70 \pm 2\%$  UR) por 4 dias.

Os valores crescentes no teor de SST (Figura 8), com o período de armazenamento, sugerem que a degradação de polissacarídeos possa contribuir para este aumento, que se justifica pela liberação de hexoses (AWAD, 1993), superando o consumo de açúcares, e que, associado à elevada perda de massa fresca, possa ter contribuído para concentrar os açúcares na goiaba (TUCKER, 1993; CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Os açúcares solúveis representam de 50% a 90% do teor de sólidos solúveis em goiabas (RATHORE, 1976; CHITARRA et al., 1981) e têm como principal açúcar a frutose, que compreende 52,8% do açúcar na variedade vermelha (MOWLAH e ITOO, 1982). Portanto, fatores que interferem na síntese deste açúcar podem atuar diretamente no teor de SST. O amido poderia ser outra fonte de variação no teor de SST, mas em frutos de goiaba corresponde apenas 1 a 3% do total dos carboidratos não estruturais (ALI e LAZAN, 1997).

Os valores da acidez titulável total (ATT) da polpa das goiabas ‘Pedro Sato’ aumentaram com o período de armazenamento, de 0,7% a 0,8% de ácido cítrico no 19º dia, independentemente do período de exposição dos frutos ao gás ozônio na concentração de 185  $\mu\text{g L}^{-1}$  (Figura 9). Este resultado corrobora os encontrados por Oshiro et al. (2011) quando avaliaram a conservação de goiabas ‘Pedro Sato’ em dois estádios de maturação, sob atmosfera modificada, em temperatura ambiente e sob refrigeração. Já Morgado et al. (2010) observaram redução da ATT da polpa de goiabas ‘Kumagai’, armazenadas em condições ambientes a 21 °C e aumento da ATT em condição refrigerada.

Em goiabas ‘Pedro Sato’, a ATT é um critério utilizado para a classificação da fruta pelo sabor, sendo que para este cultivar, variações no teor de ATT entre 0,2 a 0,9 (%) g de ácido cítrico por 100 gramas de polpa fresca são responsáveis por

conferir sabor moderado e boa aceitação para o consumo da fruta *in natura* (AZZOLINI et al., 2004; HOJO et al., 2007; OSHIRO et al., 2011).

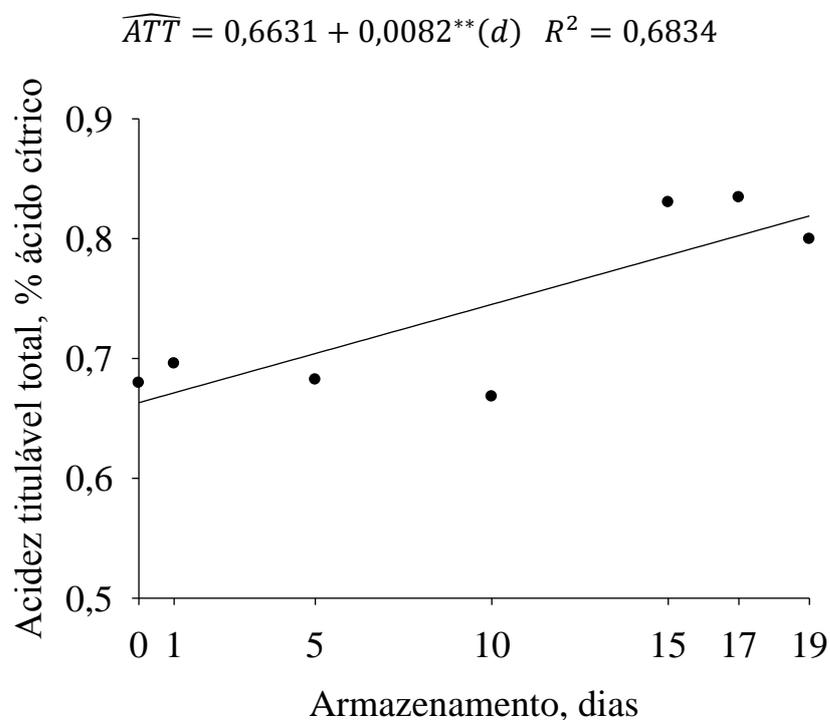


Figura 9 – Valores observados e estimados de acidez titulável total (% ácido cítrico) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11\pm 2$  °C e  $85\pm 2\%$  UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR) por 4 dias.

A síntese de vitamina C, medida pela evolução dos teores de ácido ascórbico, foi reduzida nas goiabas ‘Pedro Sato’ submetidas ao processo de ozonização em diferentes períodos de exposição ao gás, concomitantemente à evolução do amadurecimento em comparação aos frutos não expostos ao ozônio (Figura 10). Após o processo de ozonização dos frutos, o conteúdo de vitamina C foi reduzido de 24,5 mg de ácido ascórbico  $100\text{ g}^{-1}$  de massa fresca para, em média, 11,8 mg de

ácido ascórbico  $100 \text{ g}^{-1}$  de massa fresca quando expostos à concentração de  $185 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$  de ozônio em diferentes períodos de exposição ao gás.

$$\widehat{Vit.C} = 24,4699 - 0,3778^{**}(p) + 0,0026^{**}(p)^2 + 0,6903^{**}(d) \quad R^2 = 0,9004$$

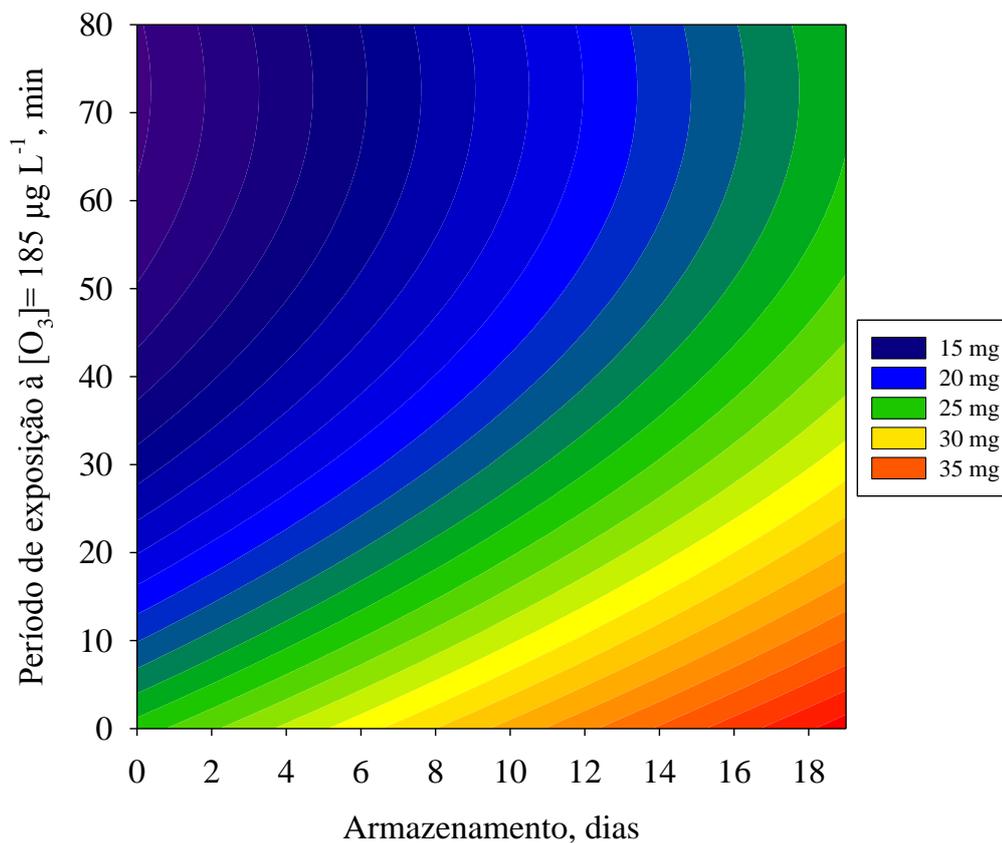


Figura 10 – Vitamina C (mg de ácido ascórbico  $100 \text{ g}^{-1}$  de massa fresca) da polpa de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ao gás ozônio em diferentes períodos de exposição, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$  e  $85 \pm 2\% \text{ UR}$ ) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$  e  $70 \pm 2\% \text{ UR}$ ) por 4 dias.

Decorridos os 19 dias de armazenamento, o teor de ácido ascórbico observado nos frutos não expostos ao gás ozônio foi 41%, 55%, 57% superior ao encontrado nos frutos ozonizados pelo período de 40, 60 e 80 min, respectivamente.

Em geral, o conteúdo de vitamina C, medido pelo teor de ácido ascórbico, aumenta na fase de amadurecimento da goiaba devido a uma maior síntese de metabólitos intermediários que promovem a síntese de glucose-6-fosfato, o precursor imediato do ácido ascórbico, e diminui na fase de senescência devido à oxidação dos ácidos orgânicos, em decorrência do processo respiratório ou da sua conversão em açúcares, através de sua oxidação via ciclo de Krebs (TUCKER, 1993; MERCADO-SILVA et al., 1998; MATTIUZ et al., 2003; PEREIRA et al., 2006).

A redução na síntese de vitamina C (Figura 10) pode ser explicada pela oxidação do ácido ascórbico pelo processo de ozonólise, um mecanismo complexo que envolve uma série de reações químicas (CULLEN et al., 2009). Estas reações podem ser diretas ou indiretas com o ozônio ou seus intermediários interagindo com o composto alvo, além de reagirem com radicais hidroxilas e radicais orgânicos (MISHCHUK et al., 2008).

De modo geral, nas reações de oxidação de compostos orgânicos, tais como carotenoides, antocianinas, aminoácidos e ácido ascórbico, encontrados em algumas frutas, o ozônio tende a reagir preferencialmente com compostos insaturados (alquenos, alquinos, anéis aromáticos etc). O ozônio é o reagente clássico usado em reações orgânicas para quebrar ligações duplas carbono-carbono via mecanismo de Criegee, ou simplesmente ozonólise (Figura 11) (SANTOS e MAGALHÃES, 1992; CULLEN et al., 2009; OLIVEIRA e WOSCH, 2012). Desta forma, a oxidação direta destes compostos orgânicos pelo ozônio é uma reação seletiva que muitas vezes apresenta constantes cinéticas relativamente lentas, com valores típicos entre  $10^{-1}$  e  $10^{-3} \text{ mol}^{-1} \text{ s}^{-1}$ , dependendo da espécie envolvida (CATALDO, 2001; MAHMOUD e FREIRE, 2007). As reações de ozonólise direta não costumam promover a oxidação completa dos compostos orgânicos até  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$ , sendo aldeídos, cetonas, alcoóis e

ácidos carboxílicos os principais produtos deste tipo de reação (OLIVEIRA e WOSCH, 2012).

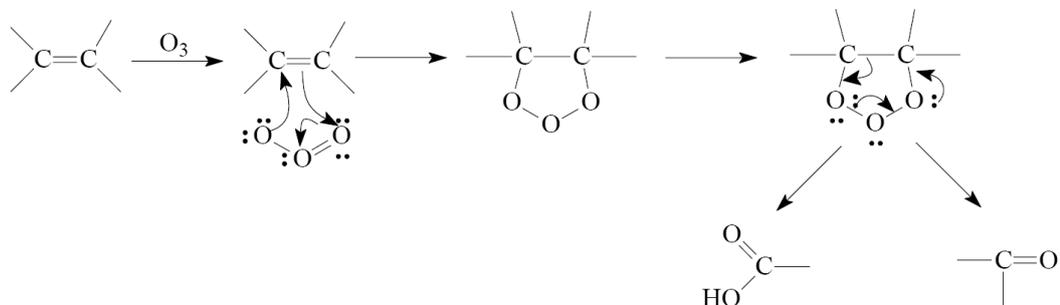


Figura 11 – Exemplo de um ataque eletrofílico do ozônio: mecanismo de Criegee.

Fonte: MAHMOUD e FREIRE, 2007.

Segundo Xue et al. (2008) o ozônio desempenha um papel importante não só no processo de degradação de compostos orgânicos, mas também na formação de espécies altamente reativas como  $\bullet OH$ ,  $HO_2\bullet$ ,  $\bullet O_2^-$  e  $\bullet O_3^-$ , o que acelera este processo. A degradação oxidativa do ácido ascórbico na presença de oxigênio foi observada e relatada por Robertson e Saminego-Esquerria (1986) e Kennedy et al. (1992). Entretanto, a redução na síntese do ácido ascórbico não foi observada quando alguns produtos hortícolas foram expostos ao ozônio, como, por exemplo, aipo (ZHANG et al., 2005), tomates (SHALLUF et al., 2007) e uvas de mesa (GERANSAYEH et al., 2012). Além de não reduzirem a síntese de ácido ascórbico, há relatos de que o ozônio possibilitou um incremento deste ácido em outros produtos hortícolas, como espinafre (LUWE et al., 1993), folhas de abóbora (RANIERI et al., 1996), morangos (PEREZ et al., 1999) e kiwi (MINAS et al., 2012). Desta forma, estudos são necessários para elucidar os mecanismos envolvidos

nas reações entre o ozônio e os compostos orgânicos encontrados nos produtos hortícolas, a fim de consolidar o seu uso na pós-colheita destes produtos.

Avaliando a incidência de doenças nas goiabas ‘Pedro Sato’ com o período de armazenamento, verificam-se menores níveis de lesões com o aumento no período de exposição ao gás O<sub>3</sub>, à concentração de 185 µg L<sup>-1</sup> (Figura 12). Os menores índices (27,0 e 27,9%) foram observados para os frutos expostos ao ozônio por 60 e 80 min, respectivamente. Os frutos não ozonizados apresentaram, em média, 57,6% de doenças no 19º dia de armazenamento.

Vários pesquisadores (PALOU et al., 2002; 2003; 2006; AGUAYO et al., 2006; KARACA e VELIOGLU, 2007; TZORTZAKIS et al., 2007b) demonstraram que atmosferas enriquecidas com ozônio em fluxo contínuo, durante o período de armazenamento, reduz a produção de esporos, com conseqüente perda do poder germinativo.

A incidência de doenças passou a ser observada depois da alteração nas condições de armazenamento refrigerado para ambiente, realizada após as avaliações do 15º dia, à exceção para os frutos não expostos ao gás ozônio, que já apresentavam sintomas de doenças em cerca de 21,9% dos frutos no 10º dia de armazenamento. A partir do 15º dia de armazenamento, sob condições ambientes, observou-se crescimento do tipo exponencial nos valores da incidência de doenças, com expressiva elevação para os frutos não ozonizados (Figura 12).

$$\widehat{U\bar{N}C} = 168,0800 - 0,9225^{**}(p) + 0,0069^{*}(p)^2 - 24,4804^{**}(d) + 0,9823^{**}(d)^2$$

$$R^2 = 0,9968$$

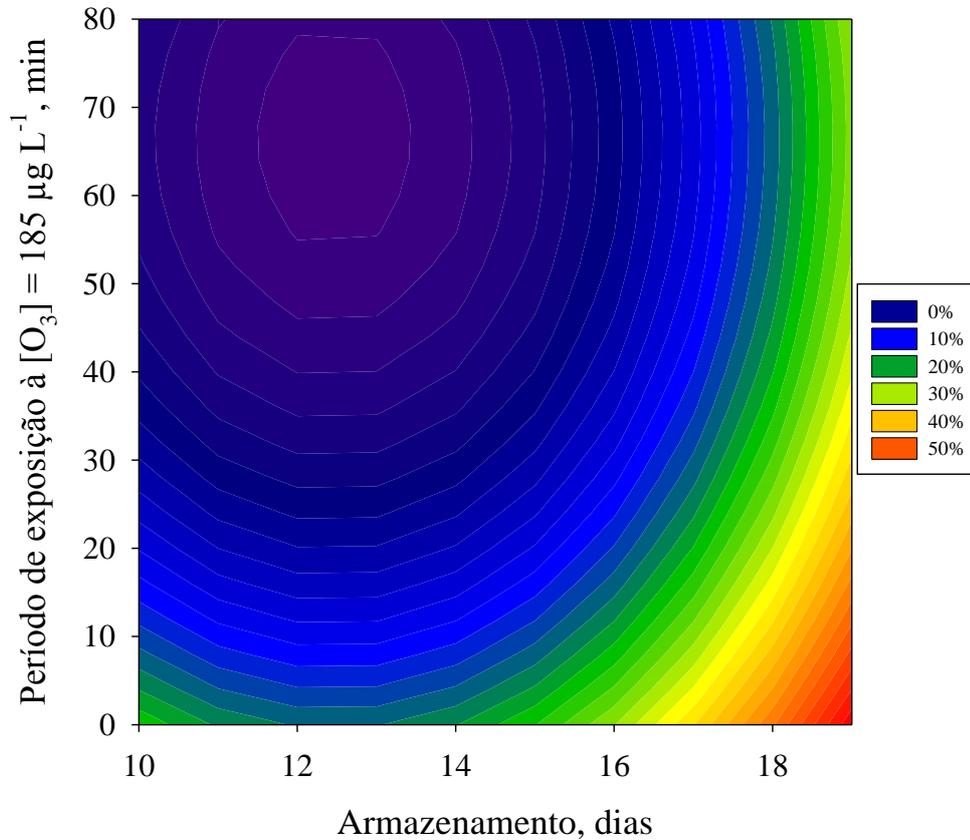


Figura 12 – Incidência de doenças (%) em goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ao gás ozônio em diferentes períodos de exposição, em função do período de armazenamento refrigerado (11±2 °C e 85±2% UR) por 15 dias seguido de condições ambientes (23±2 °C e 70±2% UR) por 4 dias.

Com o aumento do período de exposição das goiabas ‘Pedro Sato’ ao gás ozônio observa-se redução da severidade da doença (Figura 13), com o período de armazenamento. Comparando-se a maior nota atribuída aos frutos ozonizados (1,5) com os frutos não ozonizados (3,5), no final do 19º dia de armazenamento, pode-se inferir que o ozônio foi responsável pela redução em 57% na severidade das doenças.

$$\widehat{SEV} = 1,3850 - 0,0136^{**}(p) + 0,0001^{\circ}(p)^2 - 0,0692^{**}(d) + 0,0051^{**}(d)^2$$

$$R^2 = 0,7952$$

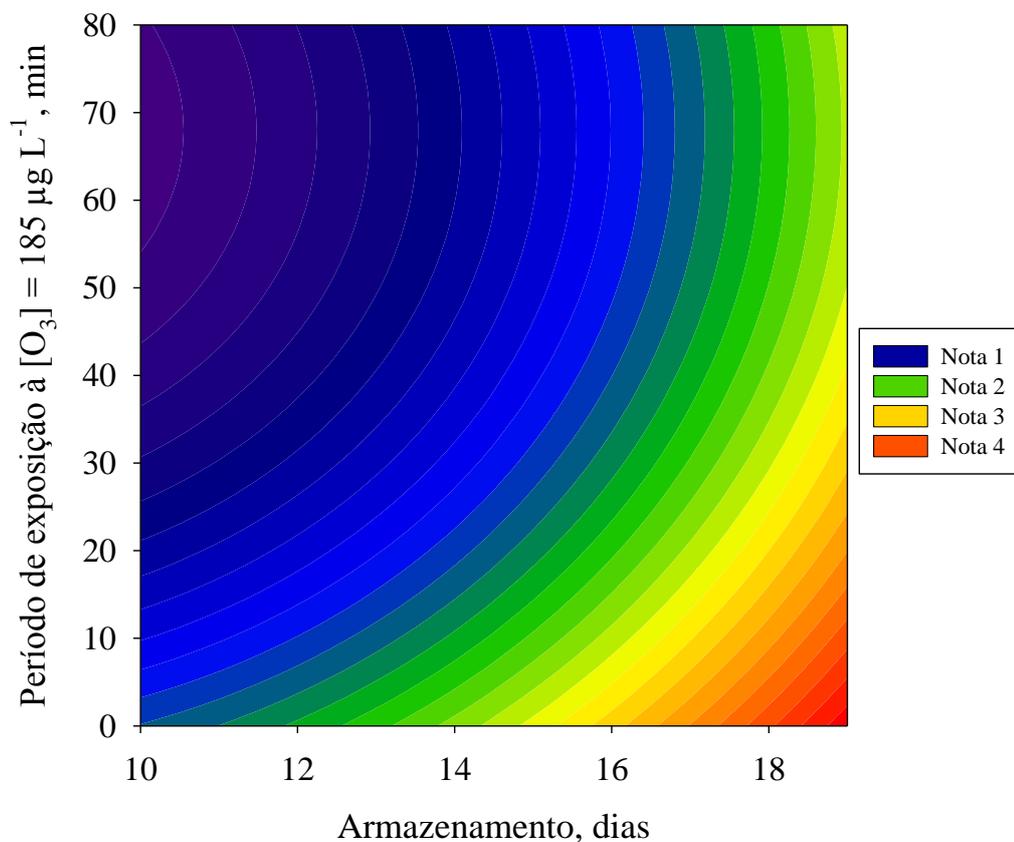


Figura 13 – Severidade de doenças (notas) de goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ao gás ozônio em diferentes períodos de exposição, em função do período de armazenamento refrigerado ( $11\pm 2$  °C e  $85\pm 2\%$  UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23\pm 2$  °C e  $70\pm 2\%$  UR) por 4 dias. Notas: 1 (0 a 1% da área infectada = sem doença), 2 (2 a 5% da área infectada = ligeira doença), 3 (6 a 9% da área infectada = doença moderada), 4 (10 a 49% da área infectada = doença severa) e 5 (50 a 100% da área infectada = doença muito severa).

Tzortzakis et al. (2007b), depois de inocularem *Botrytis cinerea* (mofo cinzento) em frutos de tomate, morango, uva e ameixa submeteram estes produtos a uma atmosfera refrigerada enriquecida com ozônio; verificaram reduções expressivas

na produção de esporos bem como no desenvolvimento de lesões visíveis em todas as frutas tratadas. A eficácia do ozônio para o fungo o *B. cinerea* também foi comprovada por Gabler et al. (2010) com reduções de até 50% na severidade da doença em uvas.

A inativação microbiana pelo ozônio é atribuída às reações de oxidação dos componentes celulares dos microrganismos, principalmente pela interação do gás com os lipídeos insaturados da membrana celular (VICTORIN, 1992; THANOMSUB et al., 2002), resultando em danos à membrana, com consequente extravasamento de compostos celulares, seguido de morte celular (SCOTT e LESHNER, 1963). Estes danos permitem que o ozônio, ao penetrar na célula, cause a quebra do DNA (ISHIZAKI et al., 1987), o que resulta em inativação viral (KIM et al., 1980; ROY et al., 1981) e danos em esporos bacterianos (KHADRE e YOUSEF, 2001).

Um fato não elucidado e que causa divergência no meio científico é se os efeitos observados são atribuídos às reações do ozônio molecular em si ou com os produtos de decomposição, EROs (Espécies Reativas de Oxigênio). Entre as EROs, o radical hidroxila ( $\text{OH}^{\bullet}$ ), a espécie oxidante considerada mais forte, é o que leva muitos autores a acreditar que os produtos de decomposição são os responsáveis pelos efeitos antimicrobianos (BLOCK, 2001). No entanto, em estudo realizado por Hunt e Marinas (1997), estes radicais (EROS) foram adicionados aos meios de tratamento, e esta adição não surtiu efeito significativo sobre a redução na população de *Escherichia coli*. Este resultado sugere que o ozônio molecular seja o responsável por desempenhar papel significativo na inativação de bactérias. Já Cho et al. (2002) verificaram que os radicais hidroxila foram os principais responsáveis pela inativação de esporos de *Bacillus subtilis*.

A análise das goiabas 'Pedro Sato', encaminhadas à Clínica de Doenças de Plantas da UFV, revelou a presença do fungo *C. gloeosporioides*, agente causal da antracnose. Outros agentes fitopatogênicos que podem ser encontrados infectando frutos de goiaba, tais como, *Guignardia psidii*, *Fusicoccum* sp., pertencentes à categoria das doenças quiescentes, entre outros dos gêneros *Aspergillus*, *Fusarium*, *Pestalotiopsis* e *Rhizopus* (BARKAI-GOLAN, 2001; MARTINS et al., 2007), não foram identificados.

O ozônio foi eficaz na redução da incidência e da severidade da antracnose, (Figura 14), nas goiabas 'Pedro Sato', sendo esta uma das doenças mais graves em pós-colheita de produtos hortícolas e que pode vir a ser, juntamente com o resíduo de produtos químicos, um grave entrave para a exportação destes produtos.

Desta forma, diante da necessidade de agentes antimicrobianos e dos resultados promissores deste estudo, a utilização do ozônio gasoso, como método alternativo a ser empregado na pós-colheita de produtos agrícolas, pode se torna uma realidade, embora estudos sejam necessários para elucidar os mecanismos e efeitos do ozônio sobre o patógeno *C. gloeosporioides*, agente causal da antracnose e de demais microrganismos causadores de doenças em frutas.

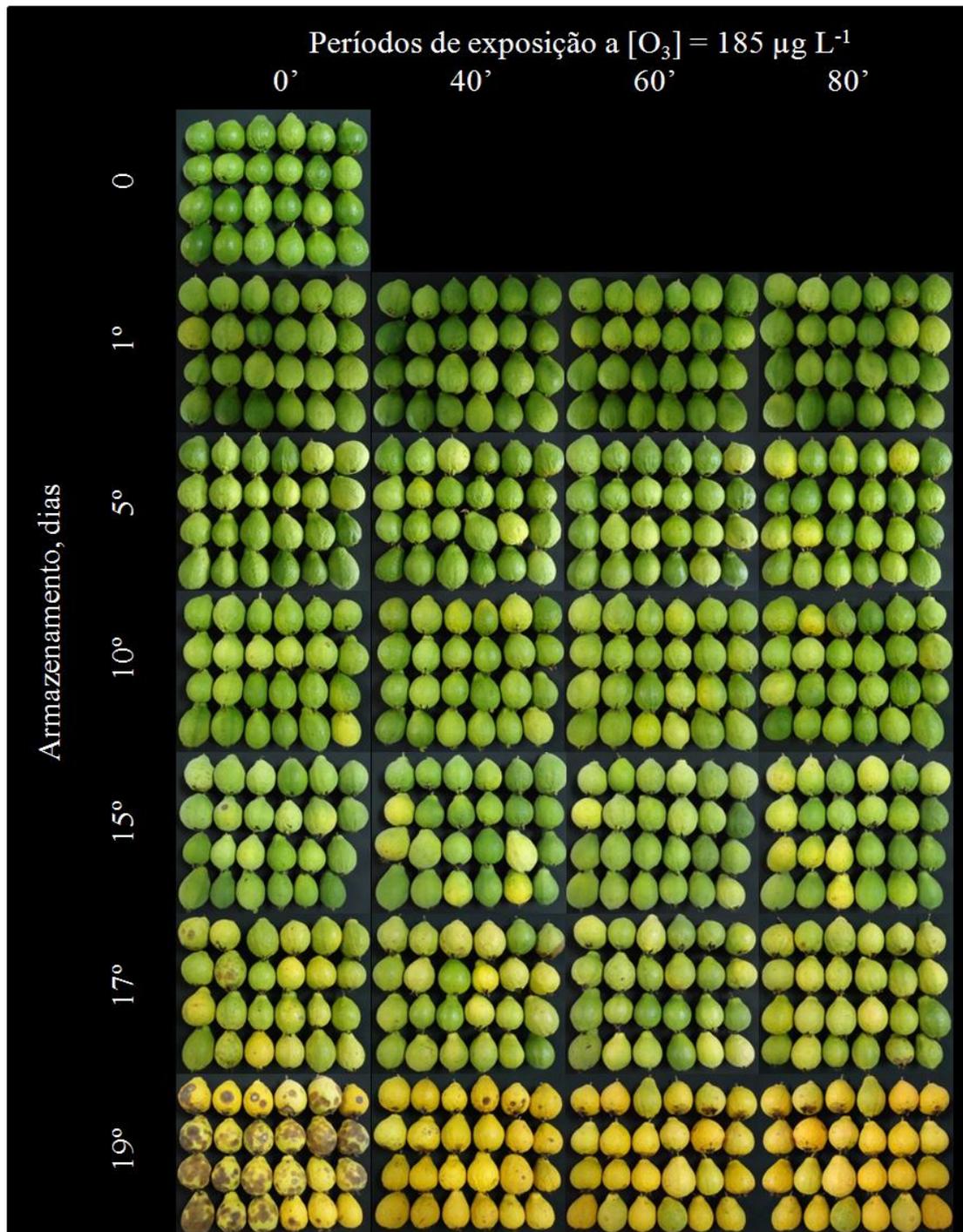


Figura 14 – Sintomas da doença antracnose em goiabas ‘Pedro Sato’ expostas ao ozônio ( $185 \mu\text{g L}^{-1}$ ) em diferentes períodos de exposição, armazenadas sob refrigeração ( $11 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $85 \pm 2\%$  UR) por 15 dias seguido de condições ambientes ( $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $70 \pm 2\%$  UR) por 4 dias.

#### 4. CONCLUSÕES

O aumento no período de exposição das goiabas 'Pedro Sato' ao ozônio, na concentração de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$ , resultou em aumento na taxa respiratória dos frutos, ligeira redução no teor de sólidos solúveis totais e diminuição na síntese de ácido ascórbico. Os frutos ozonizados na concentração de  $185 \mu\text{g L}^{-1}$  durante o período de exposição de 60 min apresentaram menor incidência e menor nota de severidade de doenças, quando comparados aos frutos não ozonizados. O ozônio gasoso poderá ser uma alternativa no controle do *Colletotrichum gloeosporioides*, agente causador da antracnose.

## 5. REFERÊNCIAS

AGUAYO, E.; ESCALONA, V. H.; ARTÉS, F. Effect of cyclic exposure to ozone gas on physicochemical, sensorial and microbial quality of whole and sliced tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v.39, p.169-177, 2006.

AHARONI, Y.; FALLIK, E.; COPEL, A.; GIL, A.; GRINBERG, S.; KLEIN, J. D. Sodium bicarbonate reduces postharvest decay development on melons. **Postharvest Biology and Technology**, v.10, p.201-206, 1997.

ALI, Z. M.; LAZAN, H. Guava. **In: MITRA, S.K.** Postharvest of physiology and storage of tropical and subtropical fruits. Wallingford: CAB International, 1997. p.145-165.

ASREY, R.; BARMAN, K. Effect of Preharvest Factors on Postharvest Quality of Fruit. **In: Advances in Post-Harvest Treatments and Fruit Quality and Safety.** Editors: VÁZQUES, M.; RAMÍREZ, J. A. Nova Science Publishers, Inc. New York, 2011. Chapter 10, p.193-207.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry.** 13<sup>th</sup> ed. Washington: AOAC, 1984. 1141p.

AOAC – ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry.** 17<sup>th</sup> ed. Washington: AOAC, 2002. 1115p.

AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos.** São Paulo: Nobel, 1993. 114p.

AZZOLINI, M.; JACOMINO, A. P.; SPOTO, M. H. F. Estádios de maturação e qualidade pós-colheita de goiabas 'Pedro Sato'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, n.1, p.29-31, abr. 2004.

AZZOLINI, M. A.; JACOMINO, A. P.; BRON, I. U.; KLUGE, R. A.; SCHIAVINATO, M. A. Ripening of “Pedro Sato” guava: study on its climacteric or non-climacteric nature. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.17, n.3, p.299-306, 2005.

BARKAI-GOLAN, R. **Postharvest diseases of fruits and vegetables: Development and control.** Amsterdam: Elsevier, 2001. 418p.

BARNETT, H.L.; HUNTER, B.B. **Illustrated Genera of Imperfect Fungi.** 4<sup>th</sup> ed. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1998. 218p.

BEM-YEHOSHUA, S. Individual seal-packaging of fruit and vegetables in plastic film a new postharvest technique. **HortScience**, v.20, n.1, p.32-37, 1985.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractants solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v.31, n.4, p.507–513, 1988.

BLOCK, S. S. Peroxygen compounds. **In:** Disinfection, Sterilization, and Preservation, 5<sup>th</sup> ed., Block, S. S. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2001. p.185-204.

BRAZ, V. B.; NUNES, E. S.; VIEIRA, G.; RIBEIRO JÚNIOR, J. I.; BERTINI, L. A.; COUTO, F. A. D. Indução do amadurecimento de mangas cv. Tommy Atkins e cv. Ubá pela aplicação de ethephon pós-colheita. **Bragantia**, v.67, n.1, p. 225-232, 2008.

BRON, I. B.; RIBEIRO, R. V.; CAVALINI, F. C.; JACOMINO, A. P.; TREVISAN, M. J. Temperature-related changes in respiration and Q10 coefficient of guava. **Scientia Agricola**, v.62, n.5, p.458-463, 2005.

CATALDO, F. The action of ozone on polymers having conjugated and cross- or linearly conjugated unsaturation: chemistry and technological aspect. **Polymer Degradation and Stability**, v.73, n.3, p.511-520, 2001.

CAYUELA, J. A.; VÁSQUEZ, A.; PÉREZ, A. G.; GARCÍA, J. M. Control of Table Grapes Postharvest Decay by Ozone Treatment and Resveratrol Induction. **Food Science and Technology International**, v.15, n.5, p.495-502, 2009.

CERQUEIRA, T. S.; JACOMINO, A. P.; SASAKI, F. F.; ALLEONI, A. C. C. Recobrimento de goiabas com filmes protéicos e de quitosana. **Bragantia**, v.70, n.1, p.216-221, 2011.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B.; CARVALHO, V. D. Algumas características dos frutos de duas cultivares de goiabeira (*Psidium guajava* L.) em fase de maturação. **In:** CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 6., 1981, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 1981. v.2, p.771-780.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: UFLA, 2 ed. 2005. 785p.

CHO, M.; CHUNG, H.; YOON, J. Effect of pH and importance of ozone initiated radical reactions in inactivating *Bacillus subtilis* spore. **Ozone: Science & Engineering**, v.24, p.145-150, 2002.

CHOUDHRY, M. M.; COSTA, T. S.; ARAÚJO, J. L. P. Goiaba: Pós-colheita. **In:** Agronegócio da Goiaba. EMBRAPA: Informação Tecnológica. 2001. 45p.

CRIEGEE, R. Mechanism of ozonolysis. **Angewandte Chemie International**, v.14, n.11, p.745-752, 1975.

CRISOSTO, C. H.; PALOU, L.; GARNER, D. T.; SMILANICK, J. L.; ZOFFOLI, J. P.; ADASKAVEG, J. E.; TEVIOTDALE, B. L. **Validación científica y tecnológica en EEUU del Sistema de ionización (Oxtomcav) para La conservación de frutas y alimentos**. Informe final de proyecto, 1999. 68p.

CULLEN, P. J.; TIWARI, C. P.; O'DONNELL, C. P.; MUTHUKUMARAPPAN, K. Modelling approaches to ozone processing of liquid foods. **Trends in Food Science & Technology**, v.20, p.125-136, 2009.

FORNEY, C. F.; SONG, J.; FAN, L.; HILDEBRAND, P. D.; JORDAN, M. A. Ozone and 1-Methylcyclopropene Alter the Postharvest Quality of Broccoli. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.128, n.3, p.403-408, 2003.

GABLER, F. M.; SMILANICK, J. L.; MANSOUR, M. F.; KARACA, H. Influence of fumigation with high concentrations of ozone gas on post-harvest gray mold and fungicide residues on table grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v.55, p.85-90, 2010.

GERANSAYEH, M.; MOSTOFI, Y.; ABDOSI, V.; NEJATIAN, M. A. Effects of Ozonated Water on Storage Life and Postharvest Quality of Iranian Table Grape (cv. Bidaneh Qermez). **Journal of Agricultural Science**, v.4, n.2, p.31-38, 2012.

GONGATTI NETTO, A.; GARCIA, A. E.; ARDITO, E. F. G. **Goiaba para exportação: procedimentos de colheita e pós-colheita**. Brasília: EMBRAPA, 1996. 35p.

HANDERBURG, R. E.; WATADA, A. E.; WANG, C. Y. **The commercial storage of fruits, vegetables, and florist, and nursery stocks**. Washintong: USDA, 1986. 130p.

HOJO, R. H.; CHALFUN, N. N. J.; HOJO, E. T. D.; VEIGA, R. D.; PAGLIS, C. M.; LIMA, L. C. O. Produção e qualidade dos frutos da goiabeira 'Pedro Sato' submetida a diferentes épocas de poda. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.3, p.357-362, 2007.

HUNT, N. K.; MARINAS, B. J. Kinetics of *Escherichia coli* inactivation with ozone. **Water Research**, v.31, n.6, p.1355-1362, 1997.

ISHIZAKI, K.; SAWADAISHI, K.; MIURA, K.; SHINRIKI, N. Effect of ozone on plasmid DNA of *Escherichia coli* in situ. **Water Research**, v.21, n.7, p.823-827, 1987.

JACOMINO, A. P.; OJEDA, R. M.; KLUGE, R. A.; SCARPARE FILHO, J. A. Conservação de goiabas tratadas com emulsões de cera de carnaúba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, n.3, p.401-405, 2003.

KADER, A. A. **Postharvest technology of horticultural crops**. Oakland: University of California, 1992. 269p.

KARACA, H.; VELIOGLU, Y. S. Ozone applications in fruit and vegetable processing. **Food Reviews International**, v.23, p.91-106, 2007.

KENNEDY, J. F.; RIVERA, Z. S.; LLOYD, L. L.; WARNER, F. P.; JUMEL, K. L. Ascorbic acid stability in aseptically processed orange juice in TetraBrik cartons and the effect of oxygen. **Food Chemistry**, v.45, p.327-331, 1992.

KHADRE, M. A.; YOUSEF, A. E. Sporicidal action of ozone and hydrogen peroxide: a comparative study. **International Journal of Food Microbiology**, v.71, p.131-138, 2001.

- KIM, C. K.; GENTILE, D. M.; SPROUL, O. J. Mechanism of ozone inactivation of bacteriophage f2. **Applied and Environmental Microbiology**, v.39, n.1, p.210-218, 1980.
- LIEW, C. L.; PRANGE, R. K. Effect of ozone and storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots (*Daucus carota* L.). **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.119, p.563-567, 1994.
- LUWE, M. W. F.; TAKAHAMA, U.; HEBER, U. Role of ascorbate in detoxifying ozone in the apoplast of spinach (*Spinacia oleracea* L.) leaves. **Plant Physiology**, v.101, n.3, p.969-976, 1993.
- MAHMOUD, A.; FREIRE, R. S. Métodos emergentes para aumentar a eficiência do ozônio no tratamento de águas contaminadas. **Química Nova**, v.30, n.1, p.198-205, 2007.
- MANICA, I; ICUMA, I. M.; JUNQUEIRA, N. T. V.; SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. **Fruticultura tropical 6**. Goiaba. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2000, 374p.
- MARTÍNEZ, C. B.; GARCÍA, L. P. L.; SÁNCHEZ, J. S. Effects of Ozone, Iodine and Chlorine on Spore Germination of Fungi Isolated from Mango Fruits. **Revista Mexicana de Fitopatología**, v.20, n.1, p.60-65.
- MARTINS, M. C.; AMORIM, L., LOURENÇO, S. A.; GUTIERREZ, A. S. D.; WATANABE, H. S. Incidência de danos pós-colheita em goiabas no mercado atacadista de São Paulo e sua relação com a prática de ensacamento dos frutos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, p.245-248, 2007.
- MATTIUZ, B. H.; DURIGAN, J. F. ROSSI JÚNIOR, O. D. Processamento mínimo em goiabas 'Paluma' e 'Pedro Sato'. Avaliação química, sensorial e microbiológica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 3, p. 409-413, 2003.
- MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v.27, n.12, p.1254-1255, 1992.
- MEDINA, J. C. Cultura. In: ITAL, **Goiaba: cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos**. 2 ed. Campinas: Ital, 1988. p.1-21.
- MERCADO-SILVA, E.; BENITO-BAUTISTA, P.; GARCIAVELASCO, M. A. Fruit development, harvest index and ripening changes of guavas produced in central México. **Postharvest Biology and Technology**, v.13, p.143-150, 1998.
- MINAS, I. S.; TANOU, G.; BELGHAZI, M.; JOB, D.; MANGANARIS, G. A.; MOLASSIOTIS, A.; VASILAKAKIS, M. Physiological and proteomic approaches to address the active role of ozone in kiwifruit post-harvest ripening. **Journal of Experimental Botany**, v.63, n.7, p.2449-2464, 2012.
- MISHCHUK, N. A.; GONCHARUK, V. V.; VAKULENKO, V. F. Theoretical analysis of physicochemical processes occurring during water treatment by ozone and ultraviolet radiation. **Advances in Colloid and Interface Science**, v.139, p.62-73, 2008.

MORAES, S. R. G.; MASSOLA JÚNIOR, N. S.; TANAKA, F. A. O. Estudos ultraestruturais da penetração de *Colletotrichum gloeosporioides* em goiabas com diferentes idades. **Summa Phytopathologica**, v.34, p.27, 2008.

MOWLAH, G.; ITOO, S. Guava (*Psidium guajava* L.) sugar components and related enzymes at stages of fruit- development a ripening. **Journal of Japanese Society of Food Science and Technology**, v.29, n.8, p.472-476, 1982.

OLIVEIRA, A. R. M.; WOSCH, C. L. Ozonólise: a busca por um mecanismo. **Química Nova**, v.35, n.7, p.1482-1485, 2012.

OSHIRO, A. M.; SCALON, S. P. Q.; ARGANDOÑA, E. J. S.; ZÁRATE, N. A. H. Conservação pós-colheita de goiabas 'Pedro Sato' em atmosfera modificada, associada ou não à refrigeração. **Revista Agrarian**, v.4, n.14, p.294-302, 2011.

PALOU, L.; SMILANICK, J. L.; CRISOTO, C. H.; MANSOUR, M. Effect of gaseous ozone exposure on the development of green and blue molds on cold stored citrus fruit. **Plant Disease**, v.85, n.6, p.632-638, 2001.

PALOU, L.; CRISOSTO, C. H.; SMILANICK, J. L.; ADASKAVEG, J. E.; ZOFFOLI, J. P. Effects of continuous 0.3 ppm ozone exposure on decay development and physiological responses of peaches and table grapes in cold storage. **Postharvest Biology and Technology**, v.24, p.39-48, 2002.

PALOU, L.; SMILANICK, J. L.; CRISOSTO, C. H.; MANSOUR, M.; Plaza, P. Ozone gas penetration and control of sporulation of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* within commercial packages of oranges during cold storage. **Crop Protection**, v.22, p.1131-1134, 2003.

PALOU, L.; SMILANICK, J. L.; MARGOSAN, D. A. Ozone applications for sanitation and control of postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. **In:** ROSALBA, T. R.; TIZNADO-HERNANDEZ, M. E.; GONZALEZ-LEON, A. (Eds.), Recent Advances in Alternative Postharvest Technologies to Control Fungal Diseases in Fruits and Vegetables. Transworld Research Network, Kerala, India, 2006. p.39-70.

PEREIRA, F. M.; MARTINEZ, J. R. M. **Goiabas para industrialização**. Jaboticabal: Legis Summa, 1986. 142p.

PEREIRA, F. M.; NACHTIGAL J. C. Melhoramento da goiabeira. **In:** BRUCKNER C. H. Melhoramento de Fruteiras Tropicais. Viçosa, MG: UFV, 2002.

PEREIRA, T.; CARLOS, L. A.; OLIVEIRA, J. G.; MONTEIRO, A. R. Influência das condições de armazenamento nas características físicas e químicas de goiaba (*Psidium guajava*), cv. Cortibel de polpa branca. **Revista Ceres**, v.53, n.306, p.276-284, 2006.

PÉREZ, A. G.; SANZ, C.; RÍOS, J. J.; OLÍAS, R.; OLÍAS, J. M. Effects of ozone treatment on postharvest strawberry quality. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.47, p.1652-1656, 1999.

PUIA, C.; OROIAN, I.; FLORIAN, V. Effect of Ozone Exposure on Phytopathogenic Microorganisms on Stored Apples. **Journal of Agricultural Sciences**, v.15, p.9-13, 2004.

RANIERI, A.; DURSO, G.; NALI, C.; LORENZINI, G.; SOLDATINI, G. F. Ozone stimulates apoplastic antioxidant systems in pumpkin leaves. **Physiologia Plantarum**, v.97, n.2, p.381-387, 1996.

RATHORE, D. S. Effect of season on growth and chemical composition of guava (*Psidium guajava* L.) fruits. **Journal of Horticultural Science**, v.51, p.41-47, 1976.

RICE, R. G.; FARQUHAR, W.; BOLLYKY, L. J. Review of the application of ozone for increasing storage time for perishable food. **Ozone: Science and Engineering**, v.4, n.1, p.147-163, 1982.

ROBERTSON, G. L.; SAMINEGO-ESGUERRA, C. M. Effect of initial dissolved oxygen levels on the degradation of ascorbic acid and browning of lemon juice during storage. **Journal of Food Science**, v.51, p.184-187, 1986.

RODONI, L.; CASADEI, N.; CONCELLÓN, A.; ALICIA, A. R. C.; VICENTE, A. R. Effect of short-term ozone treatments on tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit quality and cell wall degradation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.58, p.594-599, 2010.

ROMANI, R. J. Respiration, ethylene, senescence, and homeostasis in an integrated view of postharvest life. **Canadian Journal of Botany**, v.62, p.2950-2955, 1984.

ROY, D.; WONG P. K. Y.; ENGELBRECHT, R. S.; CHIAN, E. S. K. Mechanism of enteroviral inactivation by ozone. **Applied and Environmental Microbiology**, v.41, n.3, p.718-23, 1981.

SAEG – **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SALVADOR, A.; ABAD, I.; ARNAL, L.; MATÍNEZ-JÁVEGA, J. M.; Effect of Ozone on Postharvest Quality of Persimmon. **Journal of Food Science**, v.71, n.6, p.443-446, 2006.

SAMSON, J. A. **Tropical fruits**. 2<sup>th</sup> ed. New York: Longman Press, 1986. 335p.

SANTOS, M. L.; MAGALHÃES, G. C. Clivagem oxidativa de ligações duplas carbono-carbono, alcoóis alílicos: um caso particular. **Química Nova**, v.15, n.3, p.211-218, 1992.

SCOTT, D. B. M.; LESHER, E. C. Effect of ozone on survival and permeability of *Escherichia coli*. **Journal of Bacteriology**, v.85, n.3, p.567-576, 1963.

SENHOR, R. F.; SOUZA, P. A.; ANDRADE NETO, R. C.; MARACAJÁ, P. B.; NASCIMENTO, F. J. Manejo de doenças pós-colheita. **Revista Verde**, v.4, n.1, p.1-13, 2009.

SIGMAPLOT. **Scientific Graphing Software**. Versão 10.0. San Rafael, Jandel Corporation, 2006.

SIMGE – Sistema de Meteorologia e Recursos Hídricos de Minas Gerais. **In:** Mapas Climáticos. Disponível em: <[http://www.simge.mg.gov.br/monitoramento/mapas\\_climaticos.html](http://www.simge.mg.gov.br/monitoramento/mapas_climaticos.html)>. Acesso em: 02 jul. 2012.

SHALLUF, M. A.; TIZAOUI, C.; KARODIA, N. Controlled atmosphere storage technique using ozone for delay ripening and extend the shelf life of tomato fruit. **In:** IOA, Conference and Exhibition Valencia, Spain, 2007. p.541-547.

SMILANICK, J. L. **Postharvest Use of Ozone on Citrus Fruit**. Packinghouse Newsletter 199, USA, 2006. p.1-6.

SOARES, A. R.; LOURENÇO, S. A.; AMORIM, L. Infecção de goiabas por *Colletotrichum gloeosporioides* e *Colletotrichum acutatum* sob diferentes temperaturas e períodos de molhamento. **Tropical Plant Pathology**, v.33, n.4, p.265-272, 2008.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H. As Clorofilas. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p.748-755, 2005.

THANOMSUB, B.; ANUPUNPISIT, V.; CHANPHETCH, S.; WATCHARACHAIPONG, T.; POONKHUM, R.; SRISUKONTH, C. Effects of ozone treatment on cell growth and ultrastructural changes in bacteria. **Journal of General Applied Microbiology**, v.48, p.193-99, 2002.

TUCKER, G. A. Introducion. **In:** SEYMOVR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. Biochemistry of fruit ripening. London: Champmal e Hall. 1993. p.2-51.

TUSET, J. J. **Podedumbres de los frutos cítricos**. Valencia: Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, 1987. 206p.

TZORTZAKIS, N.; BORLAND, A.; SINGLETON, I.; BARNES, J. Impact of atmospheric ozone-enrichment on quality-related attributes of tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v.45, p.317-325, 2007a.

TZORTZAKIS, N.; SINGLETON, I.; BARNES, J. D. Deployment of low-level ozone-enrichment for the preservation of chilled fresh produce. **Postharvest Biology and Technology**, v.43, p.261-270, 2007b.

VICTORIN K. Review of the genotoxicity of ozone. **Mutation Research**, v.277, p.221-238, 1992.

WHANGCHAI, K.; SAENGNIL, K.; SINGKAMANEE, C.; UTHAIBUTRA, J. Effect of electrolyzed oxidizing water and continuous ozone exposure on the control of *Penicillium digitatum* on tangerine cv. ‘Sai Nam Pung’ during storage. **Crop Protection**, v.29, p.386-389, 2010.

XUE, J.; CHEN, L.; WANG, H. Degradation mechanism of Alizarin Red in hybrid gas-liquid phase dielectric barrier discharge plasmas: experimental and theoretical examination. **Chemical Engineering Journal**, v.138, p.120-127, 2008.

ZHANG, L. K.; LU, Z. X.; GAO, X. Preservation of fresh-cut celery by treatment of ozonated water. **Food Control**, v.16, n.3, p.279-283, 2005.

ZHANG, H. Q.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; BALASUBRAMANIAM, V. M. B.; DUNNE, C. P.; FARKAS, D. F.; YUAN, J. T. C. *Nonthermal Processing Technologies for Food*. 1<sup>th</sup> ed. Wiley-Blackwell, 2011. 672p.

## CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos no processo de saturação permitiram concluir que cerca de 20% do ozônio injetado nas concentrações de 65, 95, 185, 275, 370, 460  $\mu\text{g L}^{-1}$  tenha interagido com as goiabas 'Pedro Sato' e pode ser os responsável pela redução na incidência e severidade da antracnose, causada pelo *Colletotrichum gloeosporioides*. Concentrações superiores a 275  $\mu\text{g L}^{-1}$  causaram anomalias no epicarpo dos frutos, caracterizadas por pontuações esverdeadas, com formação de bolhas vermelho-amarronzadas.

O processo de ozonização como tecnologia pós-colheita, na concentração de 185  $\mu\text{g L}^{-1}$  e período de exposição de 60 min, foi eficiente no controle do fungo *C. gloeosporioides* em goiabas 'Pedro Sato', que apresentaram menor incidência e severidade da doença.

Os parâmetros de qualidade fisiológica e físico-química das goiabas 'Pedro Sato' não foram afetados pelo processo de ozonização em diferentes concentrações e períodos de exposição ao gás, à exceção da taxa respiratória que aumentou e do conteúdo de vitamina C, medida pelo teor de ácido ascórbico, que reduziu com o período de armazenamento, sendo este último parâmetro considerado um indicativo do estresse oxidativo pelo  $\text{O}_3$ .