

LAURENCE SOUZA VIEIRA

**AÇÃO DO OZÔNIO NO AMADURECIMENTO DE BANANA (*Musa* spp. AAB)
'PRATA ANÃ'**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroquímica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

V657a Vieira, Laurence Souza, 1991-
2016 Ação do ozônio no amadurecimento de banana (*Musa* spp.
AAB) 'Prata Anã' / Laurence Souza Vieira. – Viçosa, MG, 2016.
xvii, 64f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Maria Eliana Lopes Ribeiro de Queiroz.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 60-64.

1. Banana - Amadurecimento. 2. *Musa*. 3. Banana -
Fisiologia pós-colheita. 4. Ozônio. 5. Banana - Efeito do etileno.
6. Banana - Qualidade. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Química. Programa de Pós-graduação em
Agroquímica. II. Título.

CDD 22. ed. 634.772

LAURENCE SOUZA VIEIRA

**AÇÃO DO OZÔNIO NO AMADURECIMENTO DE BANANA (*Musa spp.* AAB)
'PRATA ANÃ'**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroquímica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 15 de julho de 2016

Dr^a. Fernanda Fernandes Heleno

Prof. Dr. Antônio Augusto Neves
(Coorientador)

Prof. Dr. Luiz Carlos Chamhum Salomão
(Coorientador)

Prof. Dr. André Fernando de Oliveira
(Coorientador)

Prof^a. Dr^a. Maria Eliana Lopes Ribeiro de Queiroz
(Orientadora)

À Deus.

Aos meus pais Galvâni Martins Vieira e Maria Socorro de Fátima Souza.

Aos meus irmãos Giovane e Lilian.

Com amor, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por toda força e sabedoria, pela infinita bondade e proteção.

Aos meus pais, Galvâni e Socorro, pelo amor incondicional, apoio e incentivo, mesmo à distância; aos meus irmãos, Giovane e Lilian, pela confiança e pelo companheirismo.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Química, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela cessão da bolsa de auxílio financeiro.

À Professora Maria Eliana Lopes Ribeiro de Queiroz, por sua essencial participação no processo de aprendizagem, por todo o conhecimento científico compartilhado e, principalmente, por sua amizade e cuidado.

Ao Professor Antônio Augusto Neves e ao Professor André Fernando de Oliveira, pelos aconselhamentos, ensinamentos e pela dedicação.

Ao Professor Luiz Carlos Chamhum Salomão, por sua fundamental participação no aprimoramento do trabalho, pela paciência e por compartilhar seu conhecimento.

À Fernanda Fernandes Heleno, pelos conselhos, pelas brilhantes observações e por ter aceitado o convite para participar da Banca Examinadora.

Ao Robson, pela amizade, motivação e apoio, essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos do LAQUA, Luiz Manoel, Nelson, Marcos, Maria Luíza, Luiza, Raquel, Gleissy, Thaís, Alessandra, Ana Carolina, Jéssika, Liany, Ana Cecília, Cristiane e Camila, por sempre terem me incentivado a prosseguir.

Ao Miquéias, pela paciência, amor e carinho e por cada palavra de incentivo nos momentos difíceis.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, estiveram ao meu lado, dando-me todo o apoio durante a minha caminhada.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota” (Madre Teresa de Calcutá).

BIOGRAFIA

LAURENCE SOUZA VIEIRA, filha de Maria Socorro de Fátima Souza e Galvâni Martins Vieira, nasceu na cidade de Araçuaí, Minas Gerais, em 30 de janeiro de 1991.

Em março de 2009, iniciou o curso de Química, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa-MG, diplomando-se como Bacharela e Licenciada em 08 de agosto de 2014.

Neste mesmo mês e ano, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agroquímica, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa-MG, em nível de Mestrado, submetendo-se à defesa de dissertação em 15 de julho de 2016.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xiv
ABSTRACT	xvi
INTRODUÇÃO GERAL	1
OBJETIVOS	2
Objetivo geral	2
Objetivos específicos	2
CAPÍTULO 1	3
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
1. Banana	3
2. Amadurecimento da banana	3
2.1. Etileno	4
2.2. Respiração	6
3. Ozônio	8
3.1. O ozônio como controlador da produção de etileno de frutos	10
3.2. O ozônio como controlador da produção de CO ₂ de frutos	10
3.3. O ozônio na manutenção da qualidade de frutos	11
CAPÍTULO 2	12
ESTUDOS DA AÇÃO DO OZÔNIO NO AMADURECIMENTO DE BANANAS ‘PRATA ANÃ’	12
RESUMO	12
1. INTRODUÇÃO	14
2. MATERIAL E MÉTODOS	15
2.1. Efeito da exposição contínua de bananas ‘Prata Anã’ ao ozônio	15

2.1.1.	Material vegetal	15
2.1.2.	Etapas do experimento.....	16
2.2.	Determinação da concentração de ozônio adequada para controlar a produção de etileno e de CO ₂ de bananas ‘Prata Anã’	16
2.2.1.	Material vegetal	16
2.2.2.	Etapas do experimento.....	17
2.3.	Determinação do tempo de exposição adequado de bananas ‘Prata Anã’ ao ozônio	17
2.3.1.	Material vegetal	17
2.3.2.	Etapas do experimento.....	18
2.4.	Produção de ozônio.....	19
2.4.1.	Método para determinação da concentração de ozônio.....	20
2.5.	Análises.....	21
2.5.1.	Produção de etileno	21
2.5.2.	Produção de CO ₂	21
2.5.3.	Cor da casca.....	22
2.5.4.	Perda de massa fresca	23
2.5.5.	Firmeza da polpa	23
2.5.6.	Sólidos solúveis (SS).....	23
2.5.7.	Acidez titulável (AT).....	23
2.5.8.	Relação SS/AT	24
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.1.	Efeito da exposição contínua de bananas ‘Prata Anã’ ao ozônio	25
3.1.1.	Cor da casca.....	25
3.1.2.	Sintomas de fitotoxicidade do ozônio	27
3.1.3.	Perda de massa fresca	28
3.1.4.	Firmeza da polpa	31

3.2. Determinação da concentração de ozônio adequada para controlar a produção de etileno e de CO ₂ de bananas ‘Prata Anã’	32
3.2.1. Produção de etileno	33
3.2.2. Produção de CO ₂	36
3.2.3. Análises de qualidade	39
3.3. Determinação do tempo de exposição adequado de bananas ‘Prata Anã’ ao ozônio	41
3.3.1. Produção de etileno	42
3.3.2. Produção de CO ₂	43
3.3.3. Cor da casca.....	45
3.3.4. Sintomas de fitotoxicidade do ozônio	48
3.3.5. Perda de massa fresca	50
3.3.6. Firmeza da polpa	52
3.3.7. Sólidos solúveis (SS).....	54
3.3.8. Acidez titulável (AT).....	56
3.3.9. Relação SS/AT	57
4. CONCLUSÕES.....	59
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do ozônio.	9
Tabela 2. Valores obtidos para perda de massa fresca, firmeza da polpa e Ângulo Hue, de bananas ‘Prata Anã’ após exposição por 1 hora, para cada concentração de ozônio e para o controle.	39
Tabela 3. Valores obtidos para sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT de bananas ‘Prata Anã’ após exposição por 1 hora, para cada concentração de ozônio e para o controle.	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura molecular do etileno.	5
Figura 2. Rota biossintética do etileno. Fonte: TAIZ e ZEIGER, 2013.	5
Figura 3. Visão geral da respiração dos frutos. Fonte: TAIZ e ZEIGER, 2013.	7
Figura 4. Produção de etileno e de CO ₂ durante o amadurecimento da banana. Fonte: TAIZ e ZEIGER, 2013.	8
Figura 5. (A) Pencas após o transporte para o Laboratório de Análise de Frutas. (B) Frutos individuais, após a seleção realizada.	15
Figura 6. Pencas de bananas ‘Prata Anã’ após o transporte para o Laboratório de Análise de Frutas.	18
Figura 7. (A) Caixa hermética utilizada no experimento. (B) Sistema para entrada de ozônio nas caixas.	18
Figura 8. Gerador de ozônio utilizado durante os experimentos realizados.	20
Figura 9. Sistema de cores CIE L*, a* e b*, para medida, designação e acerto de cores, em um sólido de cores.	22
Figura 10. Valores de Ângulo Hue (°) de bananas ‘Prata Anã’, em função dos dias de armazenamento: (■) imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (CC); (●) não imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (SC), (▲) imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (CS) e (▼) não imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (SS).	25
Figura 11. Valores de Ângulo Hue (°) de bananas ‘Prata Anã’, identificadas como controle, em função dos dias de armazenamento: (■) imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (CC); (●) não imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (SC), (▲) imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (CS) e (▼) não imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (SS).	26
Figura 12. Fotos obtidas por meio de uma lupa, com aumento de 8 vezes. (A) Casca de banana ‘Prata Anã’ no dia da colheita. (B) Casca de banana ‘Prata Anã’ ozonizada no 7° dia de armazenamento. (C) Casca de banana ‘Prata Anã’ ozonizada no 21° dia de armazenamento.	28
Figura 13. Valores de perda de massa fresca (%) de bananas ‘Prata Anã’ em função dos dias de armazenamento: (■) imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (CS); (●) não imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (SS); (▲) imersas na solução de	

fungicidas e ozonizadas (CC); e (▼) não imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (SC).

.....29

Figura 14. Valores de perda de massa fresca (%) de bananas ‘Prata Anã’, identificadas como controle, em função dos dias de armazenamento: (■) imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (CS); (●) não imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (SS); (▲) imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (CC); e (▼) não imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (SC).30

Figura 15. Valores de firmeza da polpa (N) de bananas ‘Prata Anã’ em função dos dias de armazenamento: (■) imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (CC); (●) não imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (SC), (▲) imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (CS) e (▼) não imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (SS)..... 31

Figura 16. Produção de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1}$) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas..... 33

Figura 17. Produção de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1}$) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $0,500 \text{ mg L}^{-1}$, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas..... 34

Figura 18. Produção de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1}$) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $1,000 \text{ mg L}^{-1}$, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas..... 34

Figura 19. Produção de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1}$) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $2,000 \text{ mg L}^{-1}$, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas..... 35

Figura 20. Produção de CO_2 (mg kg^{-1}) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas..... 36

Figura 21. Produção de CO_2 (mg kg^{-1}) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $0,500 \text{ mg L}^{-1}$, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas..... 37

Figura 22. Produção de CO_2 (mg kg^{-1}) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $1,000 \text{ mg L}^{-1}$, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas..... 37

Figura 23. Produção de CO ₂ (mg kg ⁻¹) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de 2,000 mg L ⁻¹ , em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas.....	38
Figura 24. Produção de etileno (μL kg ⁻¹ h ⁻¹) por bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas (com concentração de ozônio de 0,200 mg L ⁻¹) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.....	42
Figura 25. Produção de CO ₂ (mg kg ⁻¹ h ⁻¹) por bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L ⁻¹) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.....	44
Figura 26. Valores de Ângulo Hue (°) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L ⁻¹) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.....	45
Figura 27. Valores de Ângulo Hue (°) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L ⁻¹) e não ozonizadas, para os frutos controle, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.....	47
Figura 28. Fotos obtidas por meio de uma lupa, com aumento de 8 vezes. (A) Casca de banana ‘Prata Anã’ no dia da colheita. (B) Casca de banana ‘Prata Anã’ ozonizada por 2 dias, no 12° dia de armazenamento. (C) Casca de banana ‘Prata Anã’ ozonizada por 4 dias, no 12° dia de armazenamento. (D) Casca de banana ‘Prata Anã’ ozonizada por 6 dias, no 12° dia de armazenamento.....	49
Figura 29. Valores de perda de massa fresca (%) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L ⁻¹) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.....	50
Figura 30. Valores de perda de massa fresca (%) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L ⁻¹) e não ozonizadas, para os frutos controle, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.....	51

- Figura 31.** Valores de firmeza da polpa (N) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L⁻¹) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.53
- Figura 32.** Valores de sólidos solúveis (°Brix) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L⁻¹) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.55
- Figura 33.** Valores de acidez titulável (g de ácido málico/ 100 g de polpa) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L⁻¹) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.56
- Figura 34.** Valores de relação SS/AT de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L⁻¹) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.58

RESUMO

VIEIRA, Laurence Souza, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2016. **Ação do ozônio no amadurecimento de banana (*Musa spp.* AAB) ‘Prata Anã’**. Orientadora: Maria Eliana Lopes Ribeiro de Queiroz. Coorientadores: Luiz Carlos Chamhum Salomão, André Fernando de Oliveira e Antônio Augusto Neves.

A banana (*Musa spp.*), por ser um fruto climatérico, apresenta picos de produção de etileno e de CO₂ quando o processo de amadurecimento é desencadeado. Durante o processo de amadurecimento da banana, ocorrem também outras alterações fisiológicas, como o aumento da acidez e do teor de sólidos solúveis e diminuição da firmeza da polpa. A qualidade da banana está relacionada com a manutenção das características desejáveis do fruto. Assim, faz-se necessário utilizar tecnologias que diminuam o metabolismo e desacelerem o processo de amadurecimento, prolongando assim, a vida pós-colheita da banana. A utilização do gás ozônio tem-se mostrado uma alternativa para este fim, devido ao seu alto poder oxidante. O objetivo deste trabalho foi avaliar a ação do ozônio no processo de amadurecimento de bananas da variedade ‘Prata Anã’. Para avaliar o efeito da exposição contínua das bananas ao ozônio, os frutos foram ozonizados (C_{O₃}= 0,300 mg L⁻¹) continuamente por 21 dias. A ozonização contínua não afetou o Ângulo Hue, mas causou aumento na perda de massa fresca e diminuição da firmeza da polpa, além de causar injúrias nos frutos. Para encontrar melhores condições para o processo de ozonização, a concentração de ozônio adequada para controlar a produção de etileno e CO₂ dos frutos foi determinada. Foi realizada uma exposição ao ozônio nas concentrações de 0,200; 0,500; 1,000 e 2,000 mg L⁻¹, por 1 hora. Após a ozonização, foram determinadas a produção de etileno e de CO₂ dos frutos e os parâmetros cor da casca, perda de massa fresca, firmeza da polpa, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e relação SS/AT. A concentração de ozônio igual a 0,200 mg L⁻¹ diminuiu o metabolismo das bananas ‘Prata Anã’, relacionado aos parâmetros perda de massa fresca, sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT, afetou minimamente a firmeza da polpa e o Ângulo Hue e diminuiu a produção de etileno e de CO₂ pelos frutos. Para avaliar o melhor tempo de exposição ao ozônio, os frutos foram acondicionados em caixas, dentro de uma câmara fria (T=12,3 ± 0,65 °C e UR=87,1 ± 3,84%). As bananas ‘Prata Anã’ foram ozonizadas (C_{O₃}= 0,200 mg L⁻¹) continuamente por 2, 4 e 6 dias. Os frutos foram analisados quanto a produção de etileno e de CO₂, perda de massa fresca, cor da casca, firmeza da polpa, sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT. O tempo de ozonização de 2 dias não retardou o pico de produção de etileno,

mas minimizou o processo de respiração das bananas ‘Prata Anã’ e reduziu os valores de sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT, sem causar injúrias nos mesmos. Sendo assim, este foi o tempo considerado adequado para desacelerar o processo de amadurecimento das bananas, visando prolongar a vida pós-colheita dos frutos.

ABSTRACT

VIEIRA, Laurence Souza, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2016. **Ozone action in ‘Prata Anã’ banana (*Musa spp.* AAB) ripening.** Adviser: Maria Eliana Lopes Ribeiro de Queiroz. Co-advisers: Luiz Carlos Chamhum Salomão, André Fernando de Oliveira and Antônio Augusto Neves.

Banana (*Musa spp.*), as a climacteric fruit, produces high rates of ethylene and CO₂ during ripening period, with peak of production of these compounds when this process is triggered. During the banana ripening process also occur other physiological changes, such as increase of acidity and soluble solids and decrease of firmness. The banana quality is related to maintaining the desirable characteristics of the fruit. Thus, it is necessary to use technologies that reduce the metabolism and slow down the ripening process, prolonging thus the banana postharvest life. The use of ozone has become an alternative for this purpose due to its high oxidizing power. The objective of this work was to study the action of ozone in ‘Prata Anã’ bananas ripening process. Evaluate the effects of continuous exposure to ozone in bananas the fruits were ozonized (C_{O₃} = 0.300 mg L⁻¹) continuously for 21 days. The continuous ozonation did not significantly affect the Hue Angle, but caused changes in weight loss and firmness, as well as causing injuries in fruits. To find the best conditions for the ozonation process, the concentration of ozone suitable for controlling the production of ethylene and CO₂ of the fruits was determined. The concentrations of 0.200; 0.500; 1.000 to 2.000 mg L⁻¹ were used. After the ozonation were determined the production of ethylene and CO₂ of the fruits and the parameters peel color, weight loss, firmness, soluble solids, titratable acidity and SS/TA ratio. The concentration of ozone of 0.200 mg L⁻¹ slowed the metabolism of ‘Prata Anã’ bananas, related to weight loss, soluble solids (SS), titratable acidity (AT) and SS/TA ratio, minimally affected the firmness and the Hue Angle and decreased the production of ethylene and CO₂ of the fruits. To evaluate the best ozone exposure time, fruits were packed in sealed boxes, in a cold room (T=12.3 ± 0.65 °C and RH=87.1 ± 3.84%). The ‘Prata Anã’ bananas were ozonated (C_{O₃} = 0.200 mg L⁻¹) continuously for 2, 4 and 6 days. The fruits were analyzed for the production of ethylene and CO₂, weight loss, peel color, firmness, soluble solids, titratable acidity and SS/TA ratio. The time of ozonation for 2 days did not delay the peak of production of ethylene, but played down the process of respiration of ‘Prata Anã’ bananas and reduced soluble solids, titratable acidity, SS/TA ratio, without causing injuries on

them. Thus, this was the time considered appropriate to slow the ripening process of bananas, seeking to extend the postharvest life of fruits.

INTRODUÇÃO GERAL

A banana (*Musa* spp.) é uma das frutas mais consumidas em todo o mundo. É uma fonte rica em nutrientes, como vitaminas e compostos fenólicos, e minerais tais como fósforo, sódio, potássio e cálcio. A banana é classificada como uma fruta climatérica, pois apresenta picos de produção de etileno e de CO₂ durante o processo de amadurecimento, o que a torna muito susceptível a perdas pós-colheita (SINGH *et al.*, 2016; AHMED e PALTA, 2016).

O processo de amadurecimento da banana gera uma série de alterações fisiológicas e bioquímicas no fruto, que incluem a perda da firmeza da polpa, a diminuição do teor de amido, gerando um aumento no teor de açúcares, bem como alterações na cor e aroma dos frutos, tornando as bananas muito perecíveis (NASCIMENTO JÚNIOR *et al.*, 2008).

A alta perecibilidade da banana é um dos grandes problemas relacionados ao comércio deste fruto, pois dificulta ou até mesmo inviabiliza o seu transporte a grandes distâncias. Assim, é necessário utilizar técnicas adequadas de conservação dos frutos para prolongar a vida pós-colheita de bananas (EPAMIG, 2008).

Dentro deste contexto, a utilização do gás ozônio tem-se mostrado uma alternativa interessante na diminuição do metabolismo relacionado ao amadurecimento de frutos, por meio da redução da produção de etileno e de CO₂ e minimizando as alterações fisiológicas que ocorrem durante esse processo (MINAS *et al.*, 2010; ALOTHMAN *et al.*, 2014; BARBONI *et al.*, 2010). Porém, ainda há pouca informação disponível sobre o assunto, fazendo-se necessários mais estudos sobre a utilização do ozônio para estes fins.

A hipótese de trabalho é que a presença do ozônio no ambiente de armazenamento de bananas (*Musa* spp. AAB) ‘Prata Anã’ pode estender a fase pré-climatérica dos frutos, permitindo sua comercialização em mercados distantes, sem prejudicar a qualidade dos frutos durante e após a ozonização.

OBJETIVOS

Objetivo geral

- Avaliar a ação do ozônio no processo de amadurecimento de bananas (*Musa* spp. AAB) ‘Prata Anã’.

Objetivos específicos

- Avaliar o efeito da exposição contínua ao ozônio no amadurecimento das bananas (*Musa* spp. AAB) ‘Prata Anã’;
- Avaliar a concentração de ozônio adequada para controlar a liberação de etileno e de CO₂ pelas bananas (*Musa* spp. AAB) ‘Prata Anã’;
- Avaliar o tempo de exposição adequado dos frutos ao ozônio e o efeito desse no processo de amadurecimento de bananas (*Musa* spp. AAB) ‘Prata Anã’;
- Avaliar a qualidade de bananas (*Musa* spp. AAB) ‘Prata Anã’ após o processo de ozonização através das análises de qualidade dos frutos.

CAPÍTULO 1

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Banana

As cultivares comestíveis de banana originaram-se no Sudoeste da Ásia, a partir das espécies *Musa acuminata* Colla e *Musa balbisiana* Colla. Os primeiros registros históricos sobre a bananeira são originários da Índia, entre os anos de 500 e 600 a. C.

A bananeira desenvolve-se de região de clima tropical úmido e seu crescimento apresenta-se ininterrupto ao longo do ano, em condições de temperatura e umidade de solo adequadas (SALOMÃO e SIQUEIRA, 2015).

A cultura da banana tem grande destaque no cenário mundial, o que gera estímulos ao seu plantio e ao seu desenvolvimento tecnológico. O Brasil é o quarto produtor mundial de banana e sua produção, que foi cerca de 7,1 milhões de toneladas em 2013, é praticamente destinada ao consumo interno, pois apenas 1,5% de sua produção, em média, é exportada (FAO, 2015).

A banana é um dos frutos mais consumidos mundialmente, com um alto valor nutritivo e energético, pois contém muitos nutrientes essenciais, como açúcares, fibras, vitaminas e minerais (CARNEIRO *et al.*, 2013). Ela destaca-se pelo elevado teor de carboidratos, sendo os principais o amido, no fruto verde, e a sacarose, a glicose e a frutose, com proporções de 65%, 20% e 15%, respectivamente, em relação aos açúcares totais, no fruto maduro (SALOMÃO e SIQUEIRA, 2015).

2. Amadurecimento da banana

Durante o amadurecimento da banana, muitas transformações físicas e químicas ocorrem em toda a estrutura dos frutos. Essas transformações são importantes, pois permitem o monitoramento do processo de amadurecimento bem como a caracterização do estágio de maturação dos frutos (ROBINSON e SAÚCO, 2010).

A firmeza da polpa dos frutos, relacionada à composição e estrutura das paredes celulares, diminui à medida que o processo de amadurecimento evolui devido à decomposição de macromoléculas como celulose e protopectinas, que gera um amaciamento das paredes celulares por meio da diminuição das forças coesivas que mantêm as células unidas. Ainda, a

casca da banana perde a cor verde, adquirindo coloração amarela, devido à degradação da clorofila, em decorrência de vários fatores, como o acúmulo de ácidos orgânicos, a ativação da enzima clorofilase e a presença de sistemas oxidantes, e devido à síntese de carotenoides. Além disso, o processo de amadurecimento da banana gera um aumento no teor de sólidos solúveis devido ao acúmulo de açúcares no fruto, como glicose, frutose e sacarose, oriundos da degradação de polissacarídeos, como o amido.

Outra transformação relacionada ao amadurecimento da banana é o aumento linear da perda de massa fresca, reflexo da perda de água dos frutos, influenciada diretamente pelo déficit de pressão de vapor, que representa a diferença entre a pressão de vapor entre os tecidos dos frutos e a atmosfera externa, que varia de acordo com a temperatura e a umidade relativa do ar que compõe a atmosfera externa. Durante o amadurecimento da banana a acidez dos frutos também aumenta, devido ao acúmulo de ácidos orgânicos, predominantemente o ácido málico, provenientes do processo da respiração dos frutos (CHITARRA e CHITARRA, 2005; AGUAYO *et al.*, 2006; MINAS *et al.*, 2014; NASCIMENTO JÚNIOR *et al.*, 2008; TAIZ e ZIEGER, 2013).

Para que o amadurecimento da banana ocorra total e adequadamente na pós-colheita, o fruto deve ser colhido verde, desde que esteja maduro fisiologicamente. O estágio de colheita da banana define o seu período pré-climatérico, que será maior se a banana for colhida precocemente, ou menor, se o fruto foi colhido tardiamente, considerando-se as mesmas condições às quais os frutos são expostos, como a temperatura, por exemplo (EPAMIG, 2008).

A banana é um fruto climatérico, ou seja, um fruto cujo amadurecimento pode ocorrer enquanto está ligado à planta ou após a colheita, devido à elevação da produção de etileno e de CO₂, decorrente da respiração do mesmo. Esta elevação súbita induz ao rápido amadurecimento dos frutos, o que os torna bastante perecíveis (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

2.1.Etileno

O etileno é um hidrocarboneto simples, com uma massa molar de 28,05 g mol⁻¹ (Figura 1).

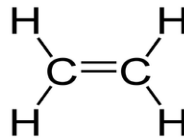


Figura 1. Estrutura molecular do etileno.

O etileno é um gás mais leve que o ar atmosférico e sofre oxidação com facilidade.

O etileno é um hormônio vegetal produzido em quase todas as partes dos vegetais, sendo a sua taxa de produção dependente do tipo de tecido vegetal e do estágio de maturação. A biossíntese de etileno inicia-se com a metionina (Met), que é convertida a S-adenosilmetiotina (AdoMet), convertida, por sua vez, em ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) pela enzima ACC sintase, que é oxidado a etileno na presença de oxigênio (Figura 2) (TAIZ e ZEIGER, 2013).

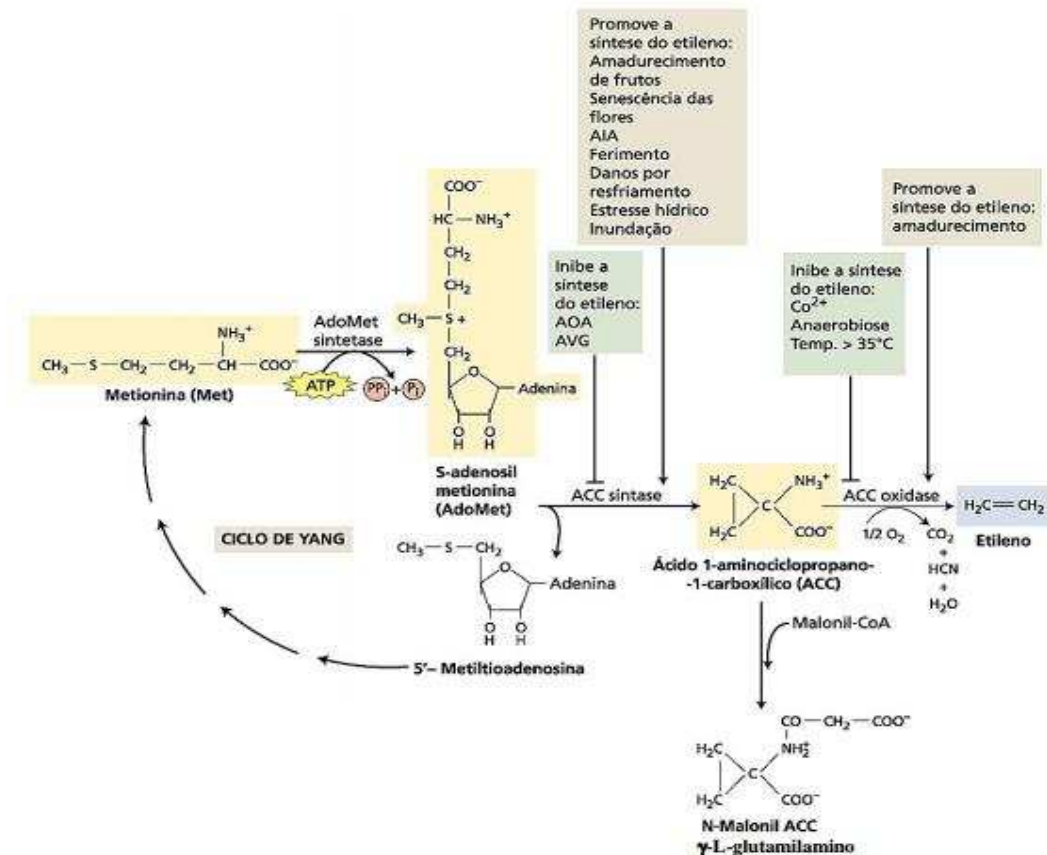


Figura 2. Rota biossintética do etileno. Fonte: TAIZ e ZEIGER, 2013.

O etileno influencia o crescimento e desenvolvimento da planta, incluindo quebra da dormência, abscisão do fruto e da folha, crescimento da raiz bem como o amadurecimento dos

frutos (ARSHAD e FRANKBERGER, 2002). Ele pode difundir-se dentro e fora dos tecidos vegetais, podendo afetar a qualidade dos frutos, como cor, textura e *flavor* (PINHEIRO *et al.*, 2005).

Em condições normais, o etileno liga-se a moléculas receptoras, provavelmente proteínas de membrana, de onde surgem respostas associadas ao amadurecimento. À medida que os frutos climatéricos amadurecem, a biossíntese do etileno aumenta, devido ao aumento das atividades enzimáticas da ACC sintase e da ACC oxidase, bem como os níveis de mRNA de subgrupos de genes que codificam cada enzima (TAIZ e ZEIGER, 2013).

O controle da produção do etileno é uma forma eficaz de retardar o amadurecimento de frutos climatéricos. As estratégias utilizadas para minimizar os efeitos do etileno nos frutos estão relacionadas à inibição da biossíntese do etileno (ZHU *et al.*, 2015), através da utilização de substâncias como a aminoetóxi-vinil-glicina (AVG) e de ácido aminoacético (AOA), e à inibição da ação do etileno, através da utilização de 1-metilciclopropeno (1-MCP) e de KMnO_4 (TAIZ e ZEIGER, 2013), por exemplo. Algumas pesquisas recentes têm utilizado o gás ozônio como inibidor da ação do etileno em frutos diversos (FELIZIANI *et al.*, 2014).

2.2.Respiração

A respiração de um fruto é um processo biológico cujo principal objetivo é a produção de energia na forma de adenosina trifosfato (ATP) para a manutenção e o desenvolvimento das células. É um processo onde compostos orgânicos reduzidos são mobilizados e sofrem uma série de reações oxidativas, de maneira controlada, onde os constituintes complexos das células, como ácidos orgânicos e açúcares, são transformados em CO_2 (CALBO *et al.*, 2007; CHITARRA e CHITARRA, 2005; BHANDE *et al.*, 2008).

As reações envolvidas no processo de respiração podem ser agrupadas em 4 processos principais: a glicólise, a fosforilação oxidativa, o ciclo do ácido cítrico e a rota das pentoses-fosofato (FERNIE *et al.*, 2004) (Figura 3).

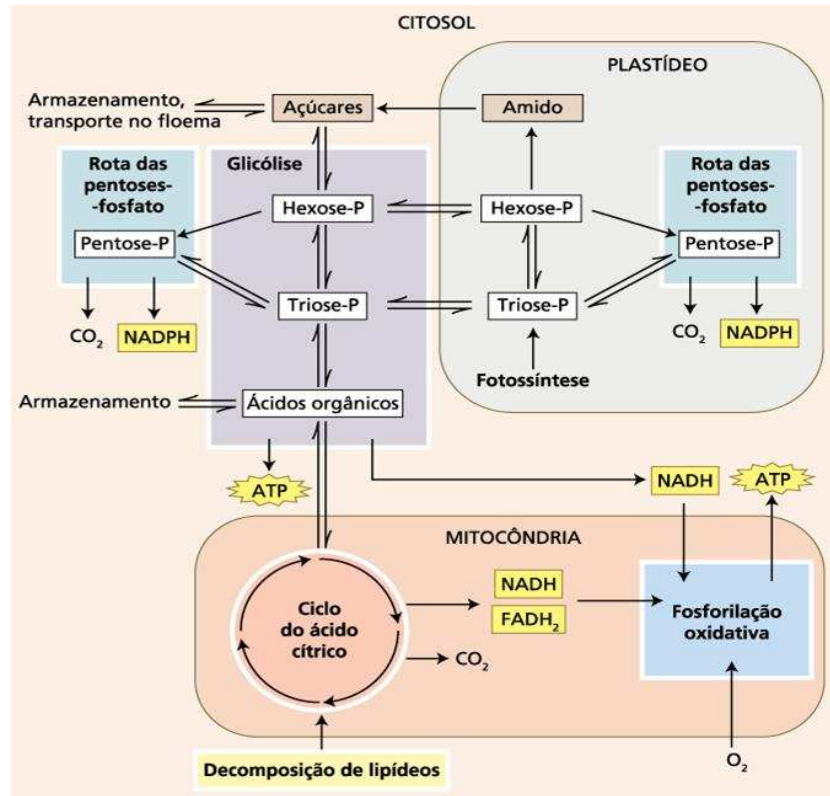


Figura 3. Visão geral da respiração dos frutos. Fonte: TAIZ e ZEIGER, 2013.

A glicólise envolve uma série de reações catalisadas por enzimas, que convertem os açúcares, como glicose, frutose e sacarose, oriundos da degradação de polissacarídeos, como o amido, em ácidos orgânicos, como o ácido málico, que são os insumos para o processo respiratório (RIJFFNER e HAWKW, 1977; TAIZ e ZEIGER, 2013).

Durante a fase de amadurecimento da banana, ocorre um aumento súbito na taxa de produção de CO₂, gerando um pico de produção chamado de climatérico. Este pico é precedido por um pico de produção de etileno (Figura 4).

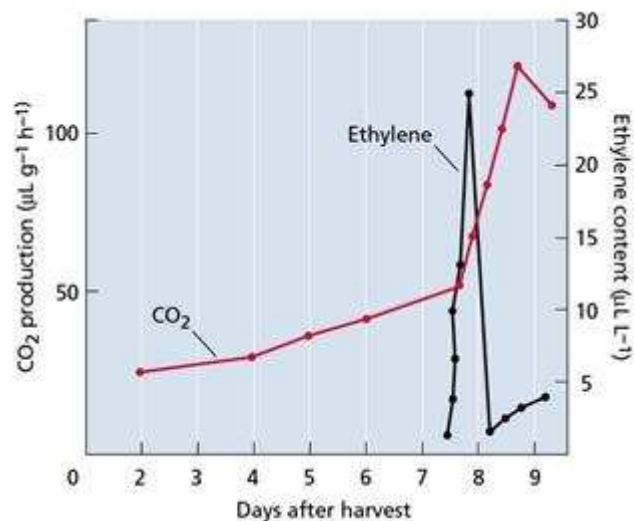


Figura 4. Produção de etileno e de CO₂ durante o amadurecimento da banana. Fonte: TAIZ e ZEIGER, 2013.

O pico climatérico da respiração depende de temperatura e, quando em condições ótimas, pode representar um aumento de 2 a 4 vezes na taxa de produção de CO₂, em comparação com as taxas pré-climatéricas (CALBO *et al.*, 2007).

O aumento na taxa respiratória da banana durante seu amadurecimento é acompanhado por outras modificações no fruto, como a firmeza da polpa, que se torna menor; a cor, que se altera de verde para amarela; aumento da acidez; e o sabor, com diminuição da adstringência e aumento de doçura (CALBO *et al.*, 2007).

A taxa respiratória é um fator determinante do potencial de vida de prateleira da banana no período pós-colheita. De modo geral, quanto mais uma banana respira, ou seja, quanto maior a sua produção de CO₂, menor será sua vida útil, pois os tecidos do fruto podem se deteriorar, tornando-se mais perecíveis, causando a perda de qualidade da banana. Sendo assim, um controle da taxa de produção de CO₂ pelo fruto torna-se uma importante condição para prolongar a vida útil da banana e manter sua qualidade (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

3. Ozônio

O ozônio é um gás instável, que se apresenta na forma triatômica do oxigênio (O₃). Ele possui odor penetrante e é facilmente detectável em baixas concentrações. Na Tabela 1 encontram-se as principais propriedades físico-químicas desse gás.

Tabela 1. Propriedades físico-químicas do ozônio.

Propriedades físico-químicas do ozônio	
Massa molecular	48,00 g mol ⁻¹
Ponto de ebulição a 1 atm	-111,9 °C
Ponto de fusão a 1 atm	-192,5 °C
Temperatura crítica	-12,1 °C
Pressão crítica	5460 kPa

Fonte: Compressed Gas Association, Inc. Publication CGA P-34, 2001 apud Rakness (2005).

O ozônio é gerado quando o oxigênio diatômico molecular (O₂) recebe uma descarga elétrica. Por ser muito instável, o ozônio rapidamente é degradado e volta à forma de O₂, permitindo que um átomo de oxigênio (O •) combine-se com outro O • para formar uma molécula de O₂ (HELENO *et al.*, 2014).

A molécula de ozônio possui uma geometria triangular. Por ter esta geometria, o ozônio torna-se um dipolo e pode reagir como um eletrófilo. Assim, em reações de degradação de compostos orgânicos, de um modo geral o ozônio reage preferencialmente com compostos orgânicos insaturados, como ácidos orgânicos, quebrando as ligações duplas carbono-carbono (GOTTSCHALK *et al.*, 2009).

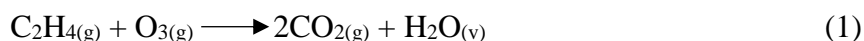
O ozônio possui um elevado potencial de oxidação, de 2,07 V. Quando comparado a outros agentes oxidantes, apresenta-se como o segundo agente mais poderoso, com potencial de oxidação inferior apenas ao do gás flúor, de 3,06 V (COELHO *et al.*, 2015). Por esta razão, o ozônio é um sanitizante eficiente, com alta capacidade de desinfecção e esterilização, muito utilizado atualmente no tratamento de produtos alimentícios em vários países da Europa, Ásia e dos Estados Unidos, que desde 2001 aprova seu uso na conservação de alimentos (KARACA *et al.*, 2012).

Para o tratamento pós-colheita de frutos, o ozônio pode ser utilizado anteriormente ao armazenamento, através da fumigação do gás nos frutos ou imersão em água ozonizada. Ainda, pode haver exposição contínua ou intermitente dos frutos ao gás ozônio ao longo do período de armazenamento. O desenvolvimento de novas aplicações do ozônio em frutos tem despertado o interesse comercial, principalmente pelo fato do ozônio não deixar resíduos detectáveis nos frutos tratados (PALOU, 2002).

Devido à sua natureza altamente reativa e seu poder oxidante, as aplicações de ozônio em altas concentrações podem causar alterações fisiológicas que levam a modificações na qualidade externa ou interna dos frutos. No entanto, atualmente há pouca informação disponível sobre os efeitos do processo de ozonização na qualidade dos frutos. Por isso, estudos envolvendo a utilização do ozônio em frutos são necessários (ONG e ALI, 2015; FELIZIANI *et al.*, 2014).

3.1.O ozônio como controlador da produção de etileno de frutos

O ozônio possui a capacidade de oxidar o etileno produzido durante os processos de amadurecimento de alguns frutos (ONG *et al.*, 2014). De forma geral, a oxidação do etileno pelo ozônio ocorre segundo a Equação 1.



A utilização do ozônio como controlador da produção de etileno em frutos tem sido relatada. Em um trabalho desenvolvido por Minas e colaboradores (2014) houve uma diminuição acentuada na produção de etileno de frutos de kiwi expostos continuamente ao ozônio por 2 meses concentração de ozônio igual a $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$.

3.2.O ozônio como controlador da produção de CO₂ de frutos

Trabalhos recentes mostram como o ozônio tem sido utilizado no controle da produção de CO₂ de frutos.

O trabalho desenvolvido por Ong e colaboradores (2014) mostrou que a exposição contínua de mamões ao ozônio por 96 horas possibilitou um atraso de dois dias no pico climatérico da produção de CO₂ dos frutos, quando comparados a frutos não expostos ao ozônio.

3.3.O ozônio na manutenção da qualidade de frutos

A manutenção da qualidade pós-colheita dos frutos é de grande importância para a mantê-las atraentes ao consumidor pelo maior tempo possível. Trabalhos recentes mostram como o ozônio tem sido utilizado para este fim.

Em seu trabalho, Glowacz e Rees (2016) obtiveram resultados que mostraram que a ozonização contínua de pimentões reduziu a perda de massa fresca e permitiu a manutenção da firmeza dos frutos durante o armazenamento. Ainda, resultados obtidos por Aguayo e colaboradores (2006) mostraram que tomates ozonizados continuamente, com concentração de ozônio igual a $0,500 \mu\text{L L}^{-1}$, por 30 minutos a cada 3 horas, apresentaram teores de ácido málico menores em relação a tomates não ozonizados.

CAPÍTULO 2

ESTUDOS DA AÇÃO DO OZÔNIO NO AMADURECIMENTO DE BANANAS 'PRATA ANÃ'

RESUMO

O objetivo deste capítulo foi avaliar a ação do ozônio no processo de amadurecimento de bananas 'Prata Anã'. Inicialmente foi realizado um experimento para avaliar o efeito da exposição contínua das bananas ao ozônio, em que os frutos foram divididos em 4 parcelas e ozonizados ($C_{O_3} = 0,300 \text{ mg L}^{-1}$) continuamente dentro de BODs ($T = 15 \text{ °C}$) por 21 dias. A cada três dias foram retirados frutos, em triplicata, de cada parcela do experimento. Os resultados mostraram que a ozonização contínua não causou grandes alterações nos valores de Ângulo Hue da casca, causou aumento na perda de massa fresca e diminuição da firmeza da polpa, além de causar injúrias nos frutos, indicando que o processo de ozonização contínua em bananas 'Prata Anã' pode ser utilizado na conservação dos frutos, mas condições adequadas que minimizem os efeitos indesejáveis devem ser investigadas. A fim de determinar melhores condições para o processo de ozonização e compreender melhor como o ozônio afeta o metabolismo das bananas 'Prata Anã', foi realizado um estudo para determinar a concentração de ozônio adequada para controlar a produção de etileno e de CO_2 dos frutos. Para isso, dois frutos, em triplicata, foram armazenados em caixas herméticas, onde foram submetidos por 1 hora à ozonização nas concentrações de 0,200; 0,500; 1,000 e 2,000 $mg L^{-1}$. Após o processo de ozonização, a cada 20 minutos foram determinadas a produção de etileno e de CO_2 dos frutos por cromatografia gasosa. As análises de qualidade cor da casca, perda de massa fresca, firmeza da polpa, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e relação SS/AT dos frutos também foram realizadas. Os resultados indicaram que a concentração de ozônio igual a 0,200 $mg L^{-1}$ permitiu uma diminuição da produção de etileno e de CO_2 pelos frutos. Aliado a isso, essa concentração diminuiu o metabolismo das bananas 'Prata Anã', relacionado aos parâmetros perda de massa fresca, sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT, e afetou minimamente a firmeza da polpa e o Ângulo Hue. Por isso, a concentração de ozônio igual a 0,200 $mg L^{-1}$ foi escolhida para a realização dos estudos relacionados ao tempo de exposição. Para avaliar o melhor tempo de exposição ao ozônio, os frutos foram acondicionados em caixas herméticas, que possuíam orifícios para entrada e saída do ozônio, e estas foram colocadas dentro de uma câmara fria ($T = 12,3 \pm 0,65 \text{ °C}$ e $UR = 87,1 \pm 3,84$

%). Os tratamentos consistiram na exposição de bananas ao ozônio ($C_{O_3} = 0,200 \text{ mg L}^{-1}$) continuamente por 2, 4 e 6 dias e um controle, em que os frutos foram mantidos nas mesmas condições de T e UR e não foram expostos ao ozônio. Após o tempo de exposição, os frutos foram armazenados até serem completados 20 dias. A cada dois dias foram retirados frutos, em triplicata, de cada tratamento, para análise da produção de etileno e de CO_2 , perda de massa fresca, cor da casca, firmeza da polpa, sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT. Os resultados mostraram que o tempo de ozonização de 2 dias, embora não tenha retardado o pico de produção de etileno, desacelerou o processo de respiração das bananas 'Prata Anã' e retardou a evolução dos valores de sólidos solúveis, acidez titulável, relação SS/AT, sem causar injúrias nos mesmos. Sendo assim, este foi o tempo considerado adequado para desacelerar o processo de amadurecimento das bananas, visando prolongar a vida pós-colheita dos frutos.

1. INTRODUÇÃO

A banana (*Musa* spp.) é um dos frutos mais consumidos mundialmente, com um alto valor nutritivo e energético, pois contêm muitos nutrientes essenciais, como açúcares, fibras, vitaminas e minerais (CARNEIRO *et al.*, 2013).

A banana é um fruto climatérico. Ela produz altas taxas de etileno e de CO₂ durante o seu período de amadurecimento, apresentando picos de produção destes compostos quando esse processo é desencadeado, o que a torna bastante perecível (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Durante o amadurecimento da banana, muitas transformações físicas e químicas ocorrem em toda a sua estrutura. Estas transformações incluem a diminuição da firmeza da polpa, aumento do teor de sólidos solúveis e da acidez e mudança na coloração da casca, de verde para amarelo (NASCIMENTO JÚNIOR *et al.*, 2008). Essas mudanças são importantes, pois permitem o monitoramento do processo de amadurecimento do fruto bem como a caracterização do seu estágio de maturação (ROBINSON e SAÚCO, 2010).

A qualidade da banana está relacionada com a manutenção das características desejáveis do fruto, como textura, cor e sabor, de forma a mantê-la atraente ao consumidor pelo maior tempo possível. Assim, é necessário utilizar tecnologias que diminuam o metabolismo e desacelerem o processo de amadurecimento, a fim de prolongar a vida pós-colheita da banana (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

A utilização do gás ozônio tem-se mostrado uma alternativa interessante para desacelerar o processo de amadurecimento de frutos, por meio da oxidação do etileno produzido pelos frutos, da redução da respiração e da manutenção da qualidade pós-colheita, minimizando as alterações fisiológicas que ocorrem durante o processo de amadurecimento dos frutos (MINAS *et al.*, 2010). Porém, ainda há pouca informação disponível sobre o assunto, fazendo-se necessários mais estudos sobre a utilização do ozônio no armazenamento de frutos.

Deste modo, esse trabalho tem como objetivo estudar a ação do ozônio na produção de etileno e de CO₂, e no processo fisiológico do amadurecimento de bananas ‘Prata Anã’.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Efeito da exposição contínua de bananas ‘Prata Anã’ ao ozônio

2.1.1. Material vegetal

Cachos de banana (*Musa* spp. AAB) ‘Prata Anã’ foram obtidos do Pomar Experimental da Universidade Federal de Viçosa, situado nas coordenadas geográficas de 20°45’ de latitude Sul e 42°51’ de longitude Oeste, em altitude de 650 m, no município de Viçosa, Minas Gerais, em 20 de novembro de 2015. Destes cachos foram selecionadas a segunda, terceira, quarta e quinta pencas. As pencas foram transportadas, em caixas forradas com plástico-bolha, para o Laboratório de Análise de Frutas do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (Figura 5A), onde foram decompostas em frutos individuais, dos quais foram eliminados os frutos malformados, doentes e com danos mecânicos. Os frutos apresentavam diâmetro médio de 34 mm e encontravam-se no estágio pré-climatérico (casca de cor verde) (Figura 5B). Em seguida, os frutos foram lavados com água e detergente neutro 0,2%, para limpeza superficial. A metade dos frutos foi imersa em solução de fungicidas Imazalil e Difenconazol ($100 \mu\text{g L}^{-1}$ e $400 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente) por 2 minutos e secos ao ar por 1 hora, identificados com a letra C. A outra metade foi apenas seca ao ar por 1 hora, identificados com a letra S. Após a secagem, os frutos foram pesados, apresentando massa média de $122,99 \pm 14,75$ g.



A

B

Figura 5. (A) Pencas após o transporte para o Laboratório de Análise de Frutas. (B) Frutos individuais, após a seleção realizada.

2.1.2. Etapas do experimento

A metade dos frutos S e a metade dos frutos C foram armazenados em uma incubadora BOD sob ozonização contínua a uma concentração de $0,300 \text{ mg L}^{-1}$. A outra metade dos frutos S e dos frutos C foram armazenados em outra incubadora BOD, onde os frutos não foram submetidos à ozonização. Os frutos foram armazenados durante 21 dias. A temperatura das BODs foi de $15,0 \text{ }^\circ\text{C}$.

O experimento foi conduzido em quatro parcelas de modo que duas parcelas, constituídas por frutos que foram imersos na solução de fungicidas, identificados como CC, e os frutos que não foram imersos, identificados como SC, foram colocados em uma BOD, onde foi realizada a ozonização. As outras duas parcelas, contendo os frutos que foram imersos na solução de fungicidas, identificados como CS, e os frutos que não foram imersos, identificados como SS, foram colocados em outra BOD, onde não foi realizada a ozonização. Cada parcela experimental continha um total de oitenta frutos, além de três frutos, identificados como controle, que foram mantidos nas BODs pelos 21 dias.

Durante o período de armazenamento, a cada três dias (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 e 21 dias após o início do armazenamento) foram retirados três frutos, em triplicata, de cada parcela do experimento, para análise. Os frutos foram analisados quanto a cor da casca, perda de massa fresca e firmeza da polpa. Os frutos identificados como controle foram analisados quanto a cor da casca e perda de massa fresca a cada três dias, durante os 21 dias de experimento.

2.2.Determinação da concentração de ozônio adequada para controlar a produção de etileno e de CO_2 de bananas ‘Prata Anã’

2.2.1. Material vegetal

Pencas de banana (*Musa* spp. AAB) ‘Prata Anã’ foram adquiridas em comércio local, no município de Viçosa, Minas Gerais. As pencas foram transportadas para o Laboratório de Análise de Frutas do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, onde foram decompostas em frutos individuais, dos quais foram eliminados os frutos com danos mecânicos, doentes e malformados. Os frutos apresentavam diâmetro médio de 34 mm e se encontravam no estágio pré-climatérico (casca de cor verde). Em seguida, os frutos foram lavados com água e detergente neutro 0,2%, para limpeza superficial. Os frutos foram secos

ao ar por alguns minutos. Após a secagem, os frutos foram pesados, apresentando massa média de $83,34 \pm 6,15$ g.

2.2.2. Etapas do experimento

Após a pesagem, dois frutos, em triplicata, foram armazenados em caixas herméticas (23,7 cm de altura x 17,5 cm de largura), onde foram submetidos à ozonização por 1 hora. Dois frutos, identificados como controle, foram mantidos do lado de fora destas caixas. Para o experimento, foram utilizadas concentrações de ozônio de 0,200; 0,500; 1,000 e 2,000 mg L⁻¹. Após o processo de ozonização, a cada 20 minutos foram determinadas a produção de etileno e de CO₂ dos frutos por cromatografia gasosa. As análises de qualidade cor da casca, perda de massa fresca, firmeza da polpa, sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT dos frutos também foram realizadas.

2.3. Determinação do tempo de exposição adequado de bananas ‘Prata Anã’ ao ozônio

2.3.1. Material vegetal

Cachos de banana (*Musa* spp. AAB) ‘Prata Anã’ foram obtidos da Fazenda São Pedro, situada nas coordenadas geográficas de 20°39’23’’ de latitude Sul e 42°43’54’’ de longitude Oeste, em altitude de 660 m, no município de São Miguel do Anta, Minas Gerais, em 28 de março de 2016. Destes cachos foram selecionadas a segunda, terceira, quarta e quinta pencas. As pencas foram transportadas, em caixas forradas com plástico-bolha, para o Laboratório de Análise de Frutas da Universidade Federal de Viçosa, onde foram decompostas em frutos individuais, dos quais foram eliminados os frutos doentes, malformados e com danos mecânicos. Os frutos apresentavam diâmetro médio de 34 mm e encontravam-se no estágio pré-climatérico (casca de cor verde) (Figura 6). Em seguida, os frutos foram lavados com água e detergente neutro a 0,2%, para limpeza superficial, e secos ao ar por 1 hora. Após a secagem, os frutos foram pesados, apresentando massa média de $82,18 \pm 8,50$ g.



Figura 6. Pencas de bananas ‘Prata Anã’ após o transporte para o Laboratório de Análise de Frutas.

2.3.2. Etapas do experimento

A fim de avaliar o melhor tempo de exposição, os frutos foram acondicionados em caixas herméticas (Figura 7), que foram colocadas dentro de uma câmara fria. Cada caixa possuía um orifício para entrada e saída do ozônio, por meio de mangueiras, e uma ventoinha, para homogeneização do gás dentro da caixa. Dentro de cada caixa foi colocada uma bandeja contendo água, a fim de manter elevada a umidade relativa dentro da caixa.



A

B

Figura 7. (A) Caixa hermética utilizada no experimento. (B) Sistema para entrada de ozônio nas caixas.

O gerador de ozônio e o concentrador de oxigênio foram deixados externos à câmara fria. Um sistema de mangueiras foi montado para que o ozônio produzido fosse inserido em cada caixa.

O experimento foi conduzido em quatro parcelas: na primeira caixa, os frutos foram expostos ao ozônio a uma concentração de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$, continuamente por 2 dias (2D); na segunda caixa, os frutos foram expostos por 4 dias (4D); na terceira caixa, por 6 dias (6D) e na quarta caixa, não houve exposição ao ozônio (S). Em todas as caixas houve circulação de ar, realizada com o auxílio de uma ventoinha. Após o tempo de exposição, os frutos foram deixados dentro das caixas abertas, acondicionadas na câmara fria, até serem completados 20 dias. Cada caixa continha um total de setenta frutos, além de dois frutos, identificados como controle, que foram mantidos em cada caixa pelos 20 dias. O experimento foi realizado à temperatura de $12,3 \pm 0,65 \text{ }^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $87,1 \pm 3,84 \%$.

Durante o período de armazenamento, a cada dois dias (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 e 20 dias após o início do experimento) foram retirados dois frutos, em triplicata, de cada parcela do experimento, para análise. Os frutos foram analisados quanto a produção de etileno, produção de CO_2 , cor da casca, perda de massa fresca, firmeza da polpa, sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT. Os frutos identificados como controle foram analisados quanto a cor da casca e perda de massa fresca a cada três dias, durante os 20 dias de experimento.

2.4. Produção de ozônio

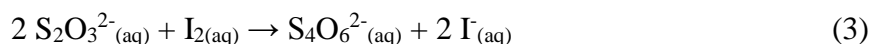
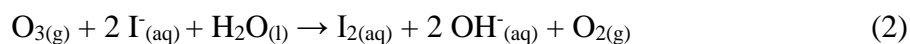
O ozônio foi obtido a partir de um gerador de ozônio (Figura 8), desenvolvido pela empresa Ozone & Life, Modelo O&L3.0RM. Para a geração do ozônio, utilizou-se gás oxigênio oriundo do ar atmosférico, obtido a partir de um concentrador de oxigênio, desenvolvido pela empresa Nidek Medical, Modelo M5C5/Mark+. O fluxo utilizado foi de $1,0 \text{ mL min}^{-1}$.



Figura 8. Gerador de ozônio utilizado durante os experimentos realizados.

2.4.1. Método para determinação da concentração de ozônio

Para quantificar a concentração do gás ozônio introduzido na BOD, na câmara e nas caixas herméticas, o fluxo de gás ozônio foi dirigido para o interior de uma proveta de 100,0 mL contendo 50,0 mL de solução de KI 20,0 g L⁻¹ e foi borbulhado por 30 segundos. A esta solução foi adicionado um volume de 2,5 mL de H₂SO₄ 0,500 mol L⁻¹. O ozônio borbulhado nesta solução reagiu com os íons I⁻ formando I₂ (Equação 2). A quantidade de I₂ formada, que é proporcional à quantidade de ozônio borbulhada, é titulada com solução padronizada de Na₂S₂O₃ 5,00 x 10⁻³ mol L⁻¹ (Equação 3), usando uma suspensão de amido 5,00 g L⁻¹ como indicador, até o desaparecimento da coloração azul da solução.



A massa de ozônio (m_{O}) que foi introduzida na BOD, na câmara e nas caixas herméticas pode ser calculada pela quantidade de S₂O₃²⁻ consumido na titulação (Equação 4).

$$m_{\text{O}} = \frac{C_{\text{tio}} f V M}{2} \quad (4)$$

em que, m_O é a massa de ozônio, em mg; C_{tio} é a concentração da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, em mol L^{-1} ; f é o fator de correção da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$; V é o volume da solução de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ gasto na titulação, em mL; e M é a massa molar do ozônio, em g mol^{-1} .

A concentração do ozônio, em mg L^{-1} , no volume de gás introduzido na câmara, pode ser calculada a partir do resultado da Equação 4, considerando o fluxo do gás e o tempo de borbulhamento do ozônio (Equação 5)

$$C_O = \frac{m_O}{\phi t} \quad (5)$$

em que, C_O é a concentração de ozônio, em mg L^{-1} ; m_O é a massa de ozônio, em mg; ϕ é o fluxo de ozônio, em L s^{-1} ; e t é o tempo de borbulhamento, em s.

2.5. Análises

2.5.1. Produção de etileno

Para a determinação da produção de etileno, dois frutos foram acondicionados em frascos de vidro hermético com volume de 1600 mL. Sessenta minutos após o fechamento dos frascos, alíquotas de 1,00 mL de sua atmosfera foram retiradas com uma seringa hipodérmica e injetadas em um cromatógrafo a gás, modelo CG 37-D, equipado com detector por ionização de chama e coluna de aço inoxidável preenchida com a fase estacionária Porapak R. As condições cromatográficas foram: fluxo de N_2 , utilizado como gás de arraste, de 30 mL min^{-1} ; fluxo de ar sintético de 210 mL min^{-1} ; fluxo de H_2 de 30 mL min^{-1} ; temperaturas da coluna, do injetor e do detector de $80 \text{ }^\circ\text{C}$, $100 \text{ }^\circ\text{C}$ e $140 \text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente. A quantificação de etileno foi realizada por meio de padronização externa, utilizando diferentes volumes do padrão gasoso, composto por $0,998 \text{ } \mu\text{mol}$ de etileno por mol de mistura (etileno + N_2), produzido pela empresa White Martins. A produção de etileno foi expressa em volume de etileno por massa de fruto por unidade de tempo ($\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

2.5.2. Produção de CO_2

Para a determinação da produção de CO_2 , dois frutos foram acondicionados em frascos de vidro herméticos com volume de 1600 mL. Sessenta minutos após o fechamento dos frascos, alíquotas de 2,00 mL de sua atmosfera foram retiradas com seringa hipodérmica e

injetadas em cromatógrafo a gás GOW MAC, Série 550, com detector por condutividade térmica, equipado com coluna de alumínio preenchida com a fase estacionária Porapak Q. As condições cromatográficas foram: fluxo de H₂, utilizado como gás de arraste, de 40 mL min⁻¹; corrente elétrica de 150 mA; temperaturas da coluna, do detector e do injetor de 50 °C, 70 °C e 80 °C, respectivamente. A quantificação de CO₂ foi realizada por meio de padronização externa, utilizando diferentes volumes do padrão gasoso, composto por 4,99 % mol de CO₂ por mol de mistura (CO₂ + N₂), produzido pela empresa White Martins. A produção de CO₂ foi expressa em volume de etileno por massa de fruto por unidade de tempo (mg kg⁻¹ h⁻¹).

2.5.3. Cor da casca

A avaliação da cor da casca dos frutos foi realizada por reflectometria, com o auxílio de um colorímetro Konica-Minolta, Modelo CR-10. Em cada fruto inteiro, foram realizadas medidas em dois pontos. As medidas foram expressas em termos do Ângulo Hue, $^{\circ}h = \arctg(b^*/a^*)$, conforme o Sistema de cores CIE (Figura 9), que assume valores de 0° para o vermelho, 90° para o amarelo, 180° para o verde e 270° para o azul (McGUIRE, 1992).

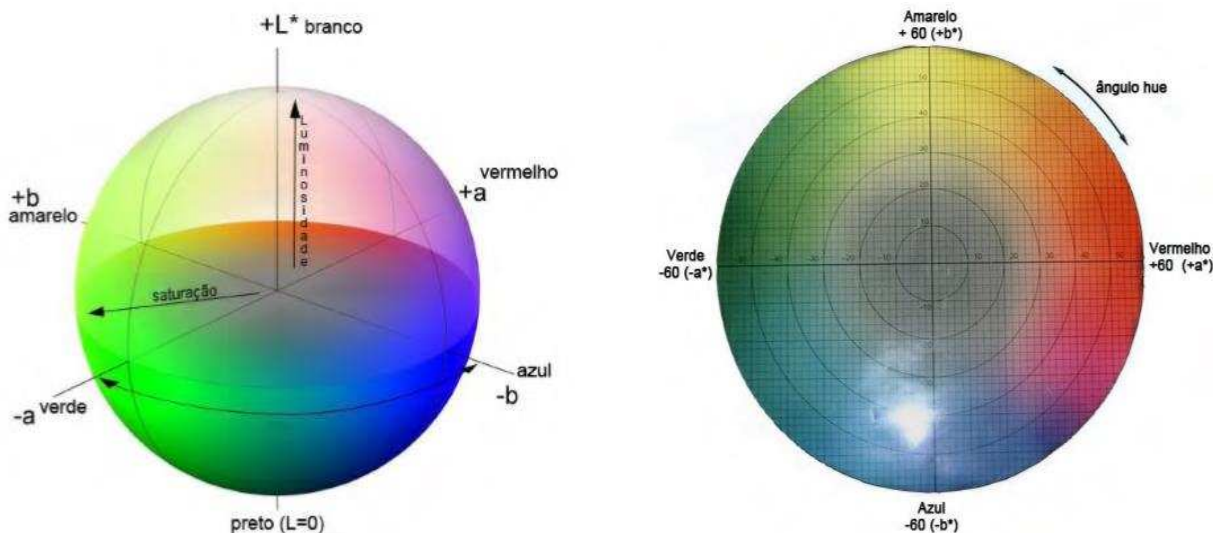


Figura 9. Sistema de cores CIE L*, a* e b*, para medida, designação e acerto de cores, em um sólido de cores.

2.5.4. Perda de massa fresca

Durante o período de armazenamento, a perda de massa dos frutos foi acompanhada, utilizando uma balança analítica Gehaka, Modelo BK 6000, com precisão de 0,1 g. Os resultados foram expressos em percentual de perda em relação à massa inicial.

2.5.5. Firmeza da polpa

Para a medida da firmeza da polpa, foi retirada uma porção da casca na região mediana de cada fruto, sem que ocorresse ferimento da polpa. Então, a polpa de cada fruto foi submetida a uma força até que o tecido não apresentasse mais resistência. A força foi aplicada por meio da ponteira (11,32 mm de diâmetro) de um penetrômetro SoilControl Modelo DP-200 (Agriseach Equipment). Os resultados foram expressos em força máxima de ruptura (N).

2.5.6. Sólidos solúveis (SS)

Para a determinação dos sólidos solúveis, foram retiradas porções da polpa, da região mediana de cada fruto da repetição, as quais foram trituradas e armazenadas em ultra freezer na temperatura de -80 °C até o momento das análises. As amostras foram maceradas em cadinhos de porcelana. O macerado foi envolto em algodão e comprimido manualmente, para extrair o suco do fruto. O teor de sólidos solúveis foi determinado com o auxílio de um refratômetro portátil, Atago, Modelo Pal-1, com leitura na faixa de 0 a 53 °Brix. Foram realizadas três leituras para cada repetição, sendo a média destas utilizada para a análise dos dados.

2.5.7. Acidez titulável (AT)

Para a determinação da acidez titulável, foram retiradas porções da polpa, da região mediana dos frutos de cada repetição, as quais foram trituradas e armazenadas em ultra freezer na temperatura de -80 °C até o momento das análises. Massas de aproximadamente 5,0 g de amostra foram pesadas em erlenmeyers, em triplicata, e a elas foram adicionados 100 mL de água deionizada. As misturas foram agitadas em agitador magnético e tituladas com solução de NaOH (Merck), na concentração de 0,05 mol L⁻¹, previamente padronizada com biftalato de potássio, utilizando-se fenolftaleína como indicador. As titulações foram

realizadas com uma bureta digital (Digitare), com precisão de 0,01 mL. Os resultados foram expressos em massa de ácido málico por 100 g de polpa (g de ácido málico/100 g de polpa).

2.5.8. Relação SS/AT

A relação SS/AT foi obtida pela razão entre os teores de sólidos solúveis e acidez titulável.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Efeito da exposição contínua de bananas 'Prata Anã' ao ozônio

Para verificar o efeito da exposição contínua dos frutos ao ozônio, bananas 'Prata Anã' foram ozonizadas por 21 dias, a uma concentração de ozônio igual a $0,300 \text{ mg L}^{-1}$. Durante o armazenamento dos frutos alguns parâmetros foram medidos e os resultados obtidos são apresentados a seguir.

3.1.1. Cor da casca

A Figura 10 apresenta os valores obtidos para o Ângulo Hue ($^{\circ}$) de bananas 'Prata Anã' em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento.

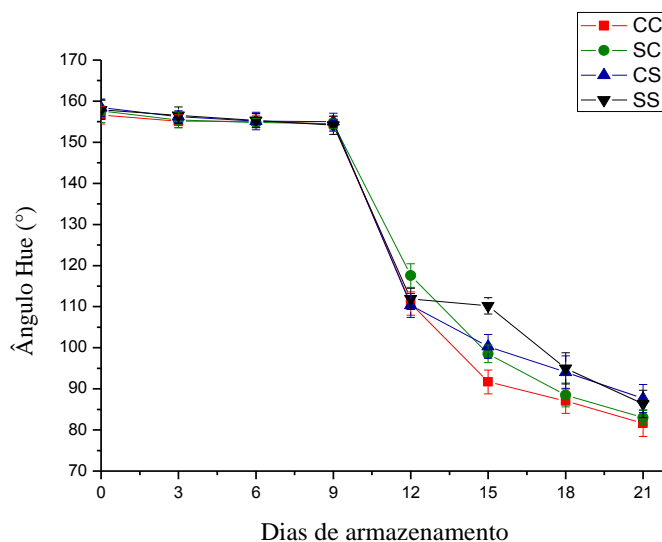


Figura 10. Valores de Ângulo Hue ($^{\circ}$) de bananas 'Prata Anã', em função dos dias de armazenamento: (■) imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (CC); (●) não imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (SC), (▲) imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (CS) e (▼) não imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (SS).

Observando-se a Figura 10 vê-se que até o 9º dia de armazenamento não houve diferença expressiva entre os valores de Ângulo Hue para os frutos dentro de cada parcela e entre as parcelas do experimento. Os valores variaram de cerca de 159° a 155° , indicando que as cascas dos frutos estavam com coloração verde. A partir do 9º dia, os valores de Ângulo Hue diminuíram acentuadamente e de forma semelhante para todas as parcelas até o 12º dia,

atingindo valores entre 117° e 112°. A partir do 12º dia os valores de Ângulo Hue diminuíram continuamente e de maneira similar para todas as parcelas, atingindo valores entre 88° e 82°, indicando que as cascas dos frutos estavam com coloração amarela.

A parcela do experimento onde as bananas que não foram imersas na solução dos fungicidas e não foram ozonizadas apresentaram valores ligeiramente maiores no 15º dia, porém os valores subsequentes foram muito semelhantes aos valores obtidos para as demais parcelas.

Os resultados indicam que não houve efeito do ozônio e dos fungicidas no parâmetro Ângulo Hue, relacionado à cor da casca dos frutos, durante a ozonização contínua de bananas ‘Prata Anã’.

A Figura 11 apresenta os valores obtidos para o Ângulo Hue (°) de bananas ‘Prata Anã’, identificadas como controle, em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento.

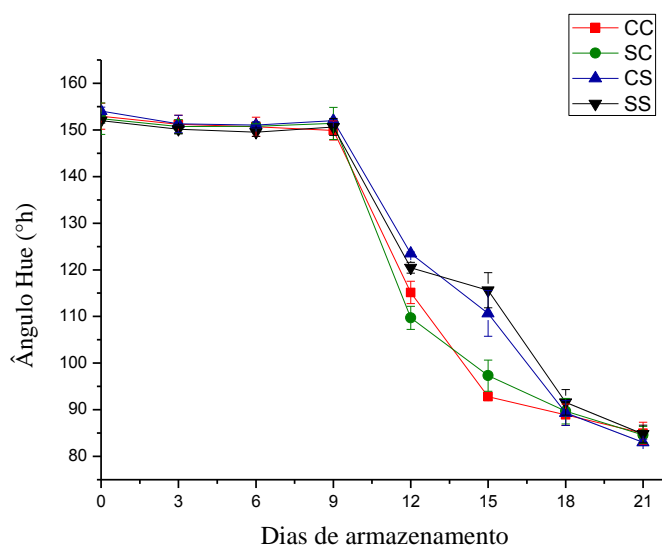


Figura 11. Valores de Ângulo Hue (°) de bananas ‘Prata Anã’, identificadas como controle, em função dos dias de armazenamento: (■) imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (CC); (●) não imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (SC), (▲) imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (CS) e (▼) não imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (SS).

Os resultados apresentados na Figura 11 mostraram que até o 9º dia de armazenamento não houve diferença expressiva entre os valores de Ângulo Hue para os frutos dentro de cada parcela e entre as parcelas do experimento. Os valores variaram de 154° a

150°, indicando que as cascas dos frutos estavam com coloração verde. A partir do 9º dia, os valores de Ângulo Hue diminuíram acentuadamente e de forma semelhante até o 12º dia, para os frutos de todas as parcelas, atingindo valores próximos a 120°. Esses valores são ligeiramente maiores para os frutos não ozonizados, do que para os frutos ozonizados, cujos valores de Ângulo Hue foram de aproximadamente de 115°. A partir do 12º dia os valores de Ângulo Hue diminuíram continuamente para todas as parcelas. No 15º dia, os frutos ozonizados atingiram valores de Ângulo Hue de cerca de 113°, ligeiramente maiores do que os valores atingidos pelos frutos ozonizados, de cerca de 93°, indicando que as cascas dos frutos estavam com coloração amarela. Os valores de Ângulo Hue para os dias subsequentes foram muito semelhantes para todas as parcelas.

Como os resultados apresentados na Figura 11 foram obtidos para os mesmos frutos durante todo o período de armazenamento, estas medidas do Ângulo Hue fornecem valores mais precisos da variação deste parâmetro em função do tempo. Assim, os resultados mostram que houve um efeito não muito expressivo do ozônio no parâmetro Ângulo Hue, relacionado à cor da casca dos frutos, durante a ozonização contínua de bananas ‘Prata Anã’. Observou-se também que a presença de fungicidas não afetou este parâmetro.

A ozonização contínua por 21 dias de bananas ‘Prata Anã’ não mostrou uma alteração muito expressiva nos valores de Ângulo Hue, porém deve-se levar em consideração a alteração neste parâmetro observada no 15º dia de armazenamento dos frutos controle e, então buscar a realização de um processo de ozonização por um menor número de dias, a fim de minimizar esse efeito.

De acordo com Ali e colaboradores (2014), os valores do Ângulo Hue de mamões expostos continuamente ao ozônio por 4 dias atingiram valores menores em relação aos frutos não ozonizados. Assim, uma ozonização contínua, por um período menor, pode proporcionar um aumento nos valores do Ângulo Hue, indicando um possível retardo no amadurecimento dos frutos.

3.1.2. Sintomas de fitotoxicidade do ozônio

Os frutos submetidos à ozonização contínua apresentaram injúrias na forma de manchas escuras de coloração marrom. As manchas surgiram no 7º dia de armazenamento em todos os frutos que foram submetidos à ozonização, tanto os que foram imersos na solução de

fungicidas e os que não foram imersos. Com o passar dos dias de armazenamento, o sintoma de fitotoxicidade aumentou de modo expressivo, comprometendo a superfície da casca da banana, como pode ser visto na Figura 12.

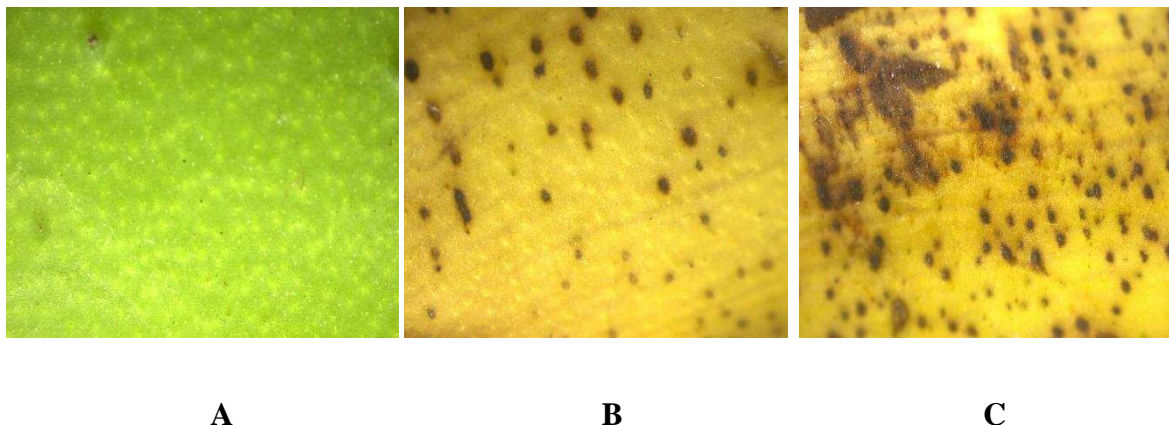


Figura 12. Fotos obtidas por meio de uma lupa, com aumento de 8 vezes. (A) Casca de banana ‘Prata Anã’ no dia da colheita. (B) Casca de banana ‘Prata Anã’ ozonizada no 7º dia de armazenamento. (C) Casca de banana ‘Prata Anã’ ozonizada no 21º dia de armazenamento.

Resultados encontrados por Ong e colaboradores (2014) mostraram que mamões ozonizados continuamente, com concentração de ozônio igual a $3,5 \mu\text{L L}^{-1}$, por 96 horas apresentaram manchas de cor marrom na superfície da casca dos frutos, de maneira semelhante a este trabalho. Porém, Palou e colaboradores (2002), ao estudarem o efeito da ozonização contínua, com concentração de ozônio igual a $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$, de uvas por 4 semanas, não observaram nenhum efeito fitotóxico do ozônio nos frutos. Assim, a fitotoxicidade do ozônio pode estar relacionada diretamente com as características das cascas dos frutos, visto que os resultados obtidos por este trabalho e por aqueles citados da literatura diferem quanto ao sintoma de fitotoxicidade e quanto ao fruto estudado. Portanto, o processo de ozonização contínua deve ser melhor estudado, considerando a melhor concentração de ozônio, o melhor tempo e as características do fruto que será estudado.

3.1.3. Perda de massa fresca

A Figura 13 apresenta os valores obtidos para a perda de massa fresca de bananas ‘Prata Anã’ em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento.

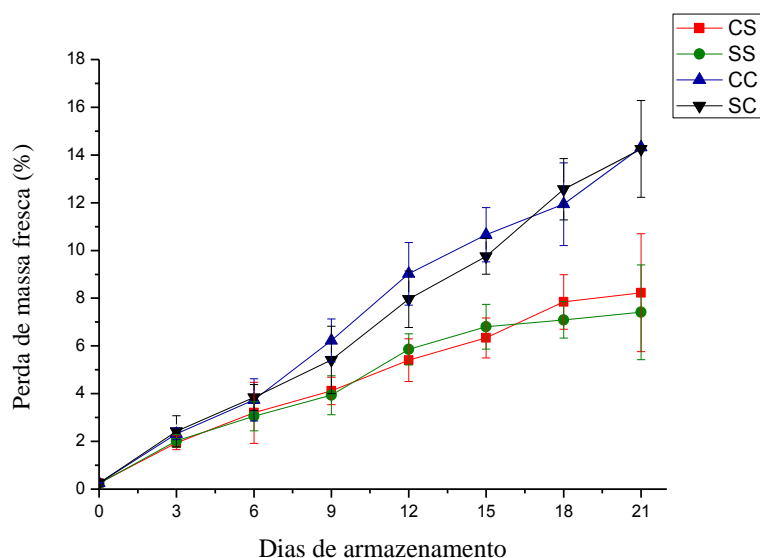


Figura 13. Valores de perda de massa fresca (%) de bananas ‘Prata Anã’ em função dos dias de armazenamento: (■) imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (CS); (●) não imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (SS); (▲) imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (CC); e (▼) não imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (SC).

A perda de massa fresca aumentou ao longo do tempo para os frutos de todas as parcelas do experimento. Observa-se que para os frutos ozonizados, o comportamento da perda de massa fresca foi semelhante para aqueles que foram imersos na solução dos fungicidas e para aqueles não imersos, atingindo valores de aproximadamente 14% após 21 dias. Esses valores foram maiores do que os valores obtidos para os frutos não ozonizados, que atingiram cerca de 7% de perda de massa fresca após 21 dias. Os resultados indicam que o ozônio afetou a qualidade do fruto aumentando a perda de massa dos frutos. Observou-se também que a presença dos fungicidas não alterou esse comportamento.

A Figura 14 apresenta os valores obtidos para a perda de massa fresca de bananas ‘Prata Anã’, identificadas como controle, em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento. Neste estudo, as mesmas bananas foram analisadas durante todo o período de armazenamento.

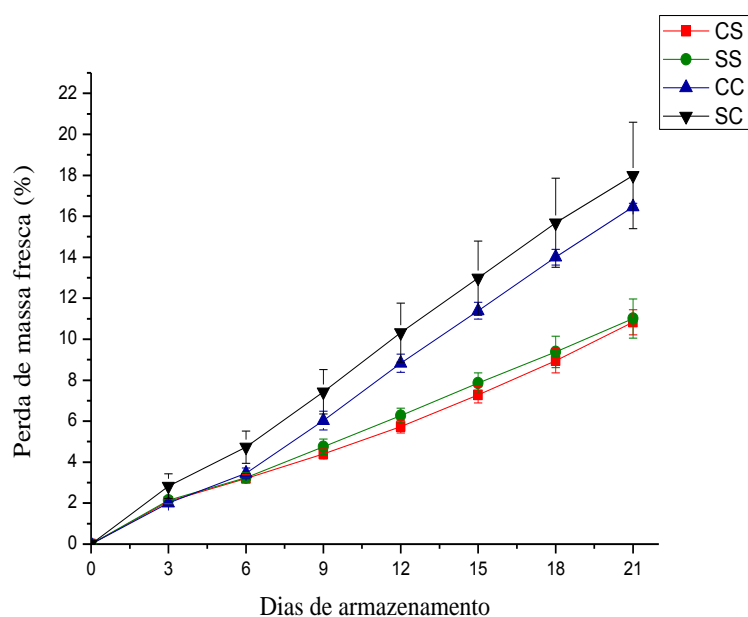


Figura 14. Valores de perda de massa fresca (%) de bananas ‘Prata Anã’, identificadas como controle, em função dos dias de armazenamento: (■) imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (CS); (●) não imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (SS); (▲) imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (CC); e (▼) não imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (SC).

Os resultados apresentados na Figura 14 mostram que a perda de massa fresca aumentou de forma linear ao longo do tempo, para os frutos de todas as parcelas do experimento. Para os frutos ozonizados, o comportamento da perda de massa fresca foi idêntico para aqueles que foram imersos na solução dos fungicidas e para aqueles não imersos, atingindo valores de aproximadamente 18% após 21 dias. Esses valores foram maiores do que os valores obtidos para os frutos não ozonizados, que atingiram cerca de 10% de perda de massa fresca após 21 dias.

Como os resultados apresentados na Figura 14 foram obtidos para os mesmos frutos durante todo o período de armazenamento, estes valores de perda de massa fresca fornecem informações mais precisas da variação deste parâmetro em função do tempo. Assim, os resultados mostram que o ozônio afeta o parâmetro perda de massa fresca, durante a ozonização contínua de bananas ‘Prata Anã’. Os fungicidas, por outro lado, não afetaram este parâmetro.

Os resultados apresentados nas figuras 13 e 14 estão de acordo com os valores encontrados por Palou e colaboradores (2002), que observaram uma maior perda de massa

fresca de pêsegos ozonizados (concentração de ozônio igual a $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$) continuamente por 4 semanas, em relação aos pêsegos não ozonizados.

As bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas apresentaram uma perda de massa maior em relação às bananas não ozonizadas. Isso sugere que o ozônio pode estar favorecendo a perda de água do fruto por meio de algum processo oxidativo. Assim, é necessário ajustar o processo de ozonização quanto à concentração de ozônio e ao tempo de exposição dos frutos, bem como manter a temperatura de armazenamento constante e a umidade relativa alta, a fim de minimizar a perda de massa das bananas ‘Prata Anã’. Além disso, é importante medir também outros parâmetros relacionados ao amadurecimento dos frutos, como a produção de CO_2 , para compreender melhor como o ozônio afeta o metabolismo das bananas ‘Prata Anã’.

3.1.4. Firmeza da polpa

A Figura 15 apresenta os valores obtidos para firmeza da polpa de bananas ‘Prata Anã’ em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento.

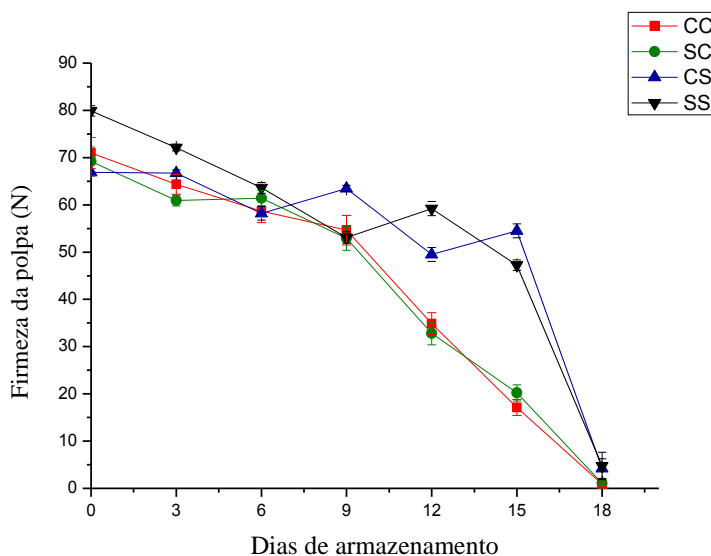


Figura 15. Valores de firmeza da polpa (N) de bananas ‘Prata Anã’ em função dos dias de armazenamento: (■) imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (CC); (●) não imersas na solução de fungicidas e ozonizadas (SC), (▲) imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (CS) e (▼) não imersas na solução de fungicidas e não ozonizadas (SS).

Analisando os resultados apresentados na Figura 15 observa-se que a firmeza da polpa para os frutos ozonizados, para ambas as parcelas, apresentou variação idêntica durante todos

os dias de armazenamento. No início, foram obtidos valores de firmeza de aproximadamente 67 N atingindo valores de cerca de 1 N ao final do período de armazenamento. Observou-se uma diminuição acentuada da firmeza a partir do 9º dia de armazenamento, que é um comportamento característico do amadurecimento de banana. Para os frutos não ozonizados essa diminuição acentuada foi observada somente a partir do 15º dia de armazenamento. Esses resultados indicam que o ozônio afetou a firmeza da polpa das bananas ‘Prata Anã’ durante ozonização contínua, mostrando uma aceleração deste parâmetro relacionado ao amadurecimento dos frutos. Os frutos não ozonizados apresentaram um comportamento semelhante durante todos os dias de armazenamento, para ambas as parcelas, apesar dos frutos não imersos na solução dos fungicidas apresentarem um valor inicial maior, cerca de 80 N, do que os frutos imersos, cujo valor inicial foi próximo de 70 N. Apesar desta diferença no valor inicial, observou-se que não houve variação no comportamento desse parâmetro em bananas ‘Prata Anã’, devido à presença dos fungicidas.

Os resultados deste trabalho divergem dos obtidos por Ali e colaboradores (2014), que não observaram efeito do ozônio na firmeza de mamões ozonizados por 4 dias consecutivos. Ainda, Tzortzakis e colaboradores (2007) não observaram alteração na firmeza dos frutos de tomates após exposição contínua ao ozônio por 6 dias.

A firmeza da polpa está diretamente ligada à composição e estrutura das paredes celulares e a manutenção de integridade das mesmas (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Assim, os resultados obtidos sugerem que o ozônio pode estar afetando a estrutura celular da banana ‘Prata Anã’, gerando uma quebra de tecidos, favorecendo a diminuição da firmeza. Desta forma, são necessários ajustes no processo de ozonização, como a concentração de ozônio, por exemplo, a fim de minimizar seu efeito na firmeza da polpa.

3.2.Determinação da concentração de ozônio adequada para controlar a produção de etileno e de CO₂ de bananas ‘Prata Anã’

A fim de determinar as melhores condições para o processo de ozonização e compreender melhor como o ozônio afeta o metabolismo das bananas ‘Prata Anã’, foi realizado um estudo para determinar a concentração de ozônio adequada para controlar a produção de etileno e CO₂ dos frutos. Os resultados obtidos são apresentados a seguir.

3.2.1. Produção de etileno

A figura 16 apresenta os valores obtidos para a produção de etileno por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$, por 1 hora, em função do tempo de amostragem.

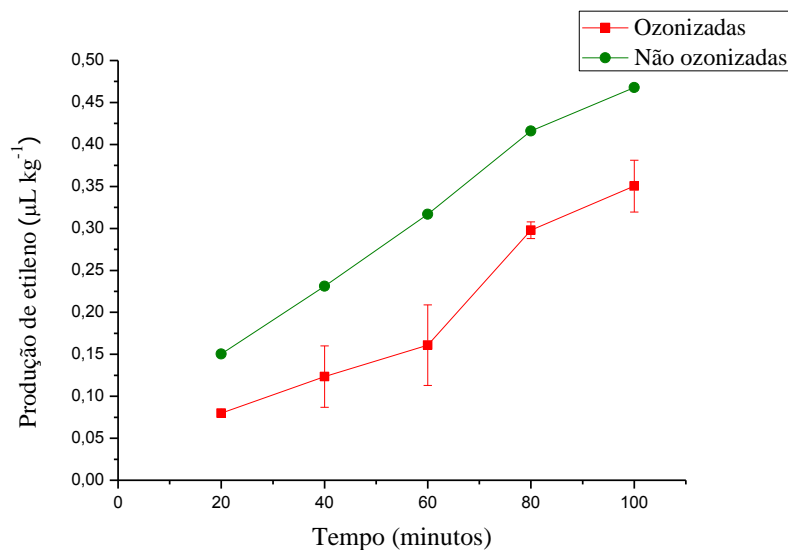


Figura 16. Produção de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1}$) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas.

A Figura 17 apresenta os valores obtidos para a produção de etileno por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $0,500 \text{ mg L}^{-1}$, por 1 hora, em função do tempo de amostragem.

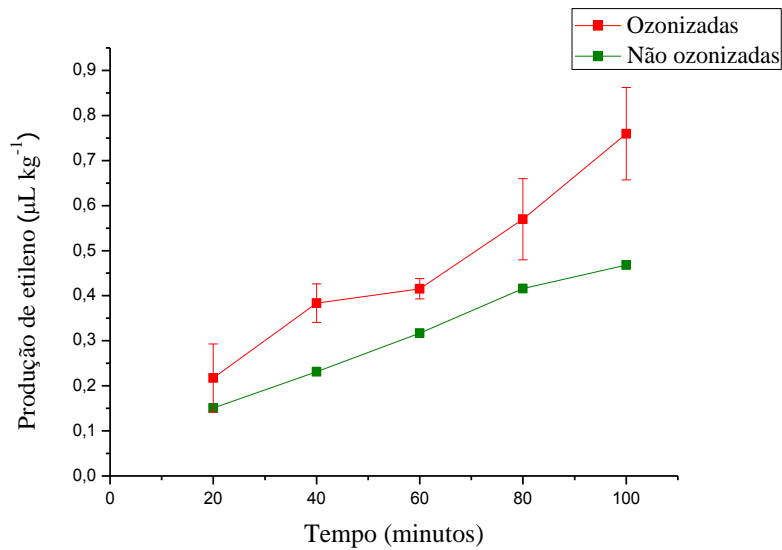


Figura 17. Produção de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1}$) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $0,500 \text{ mg L}^{-1}$, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas.

A Figura 18 apresenta os valores obtidos para a produção de etileno por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $1,000 \text{ mg L}^{-1}$, por 1 hora, em função do tempo de amostragem.

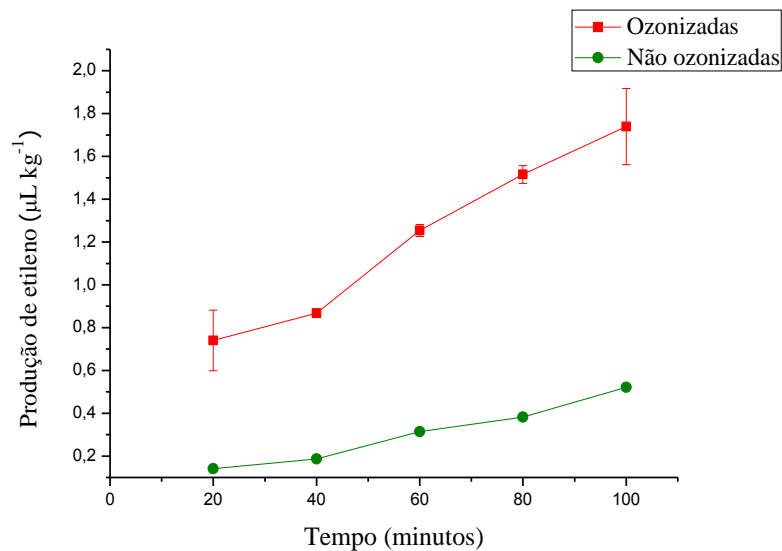


Figura 18. Produção de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1}$) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $1,000 \text{ mg L}^{-1}$, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas.

A Figura 19 apresenta os valores obtidos para a produção de etileno por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de 2,000 mg L⁻¹, por 1 hora, em função do tempo de amostragem.

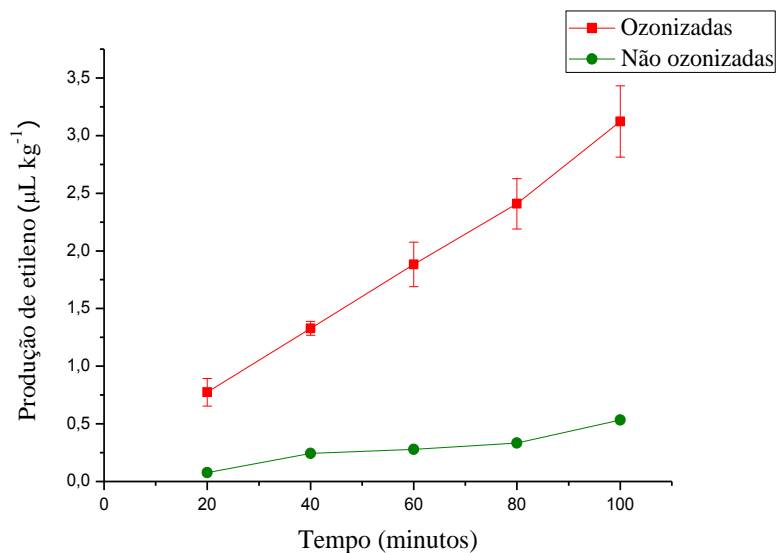


Figura 19. Produção de etileno (µL kg⁻¹) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de 2,000 mg L⁻¹, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas.

A análise dos resultados apresentados nas figuras 16 a 19 mostra que a concentração de ozônio igual a 0,200 mg L⁻¹ foi capaz de reduzir em 30%, em média, a produção de etileno pelas bananas ‘Prata Anã’ (0,15 – 0,45 µL kg⁻¹), em relação à produção das bananas não ozonizadas (0,75 – 0,33 µL kg⁻¹). As demais concentrações tornaram a produção de etileno das bananas ozonizadas maior, proporcionalmente ao aumento da concentração de ozônio. A concentração de 0,500 mg L⁻¹ possibilitou um aumento na produção de etileno (0,20 – 0,75 µL kg⁻¹), que alcançou um valor 66% maior, após 120 minutos de acúmulo, em relação ao controle (0,15 – 0,45 µL kg⁻¹). A diferença da produção de etileno entre as bananas ozonizadas e não ozonizadas foi maior para as concentrações de 1,000 mg L⁻¹ (0,70 – 1,70 µL kg⁻¹) e 2,000 mg L⁻¹ (0,75 – 3,0 µL kg⁻¹), apresentando valores 4 e 7 vezes maiores, respectivamente, após 100 minutos de acúmulo.

A concentração de ozônio igual a 0,200 mg L⁻¹ foi capaz de diminuir a produção de etileno pelos frutos. Um aumento da produção de etileno pelas bananas ‘Prata Anã’, à medida que a concentração de ozônio é aumentada, indica que o ozônio pode, através de algum

processo oxidativo, causar injúrias ao fruto, fazendo com que este produza mais etileno em resposta ao dano causado.

Os resultados deste trabalho concordam com aqueles obtidos por Minas e colaboradores (2014), que observaram uma diminuição significativa da produção de etileno de frutos de kiwi expostos continuamente a uma concentração de ozônio de $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$ por 2 meses. Ainda, Ong e colaboradores (2014) observaram um aumento na produção de etileno de mamões submetidos à ozonização contínua por 96 horas, proporcional a um aumento da concentração de ozônio.

3.2.2. Produção de CO_2

A Figura 20 apresenta os valores obtidos para a produção de CO_2 por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$, por 1 hora, em função do tempo de amostragem.

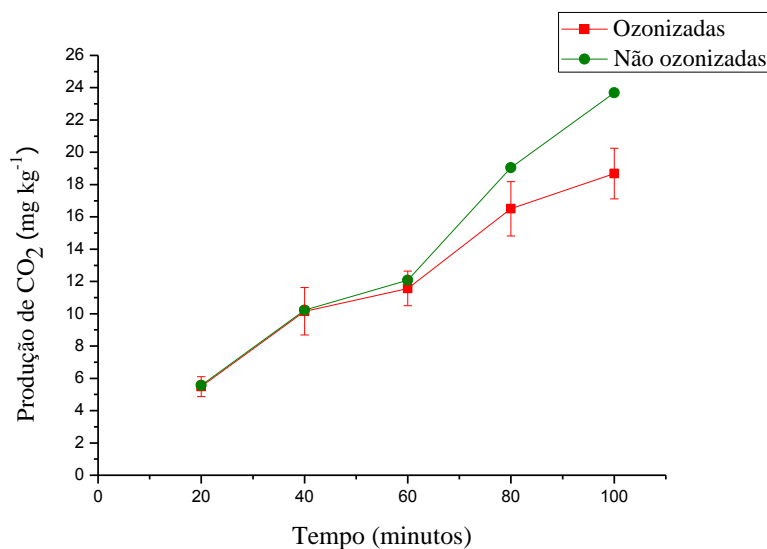


Figura 20. Produção de CO_2 (mg kg^{-1}) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas.

A Figura 21 apresenta os valores obtidos para a produção de CO_2 por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de $0,500 \text{ mg L}^{-1}$, por 1 hora, em função do tempo de amostragem.

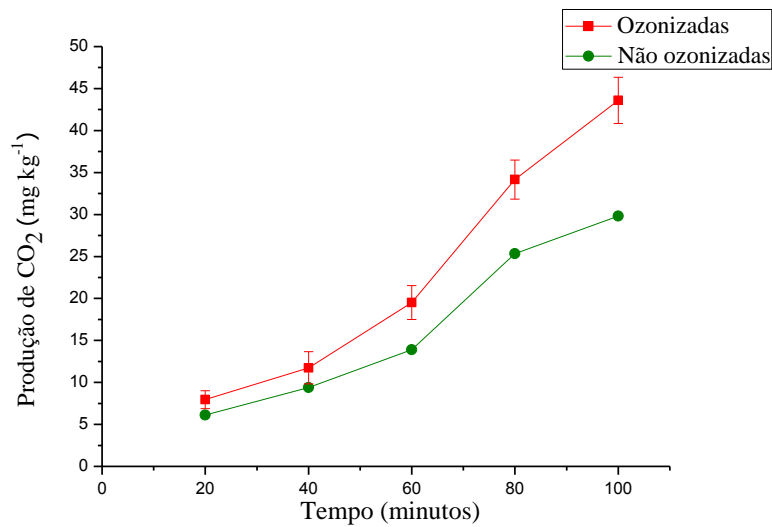


Figura 21. Produção de CO₂ (mg kg⁻¹) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de 0,500 mg L⁻¹, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas.

A figura 22 apresenta os valores obtidos para a produção de CO₂ por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de 1,000 mg L⁻¹, por 1 hora, em função do tempo de amostragem.

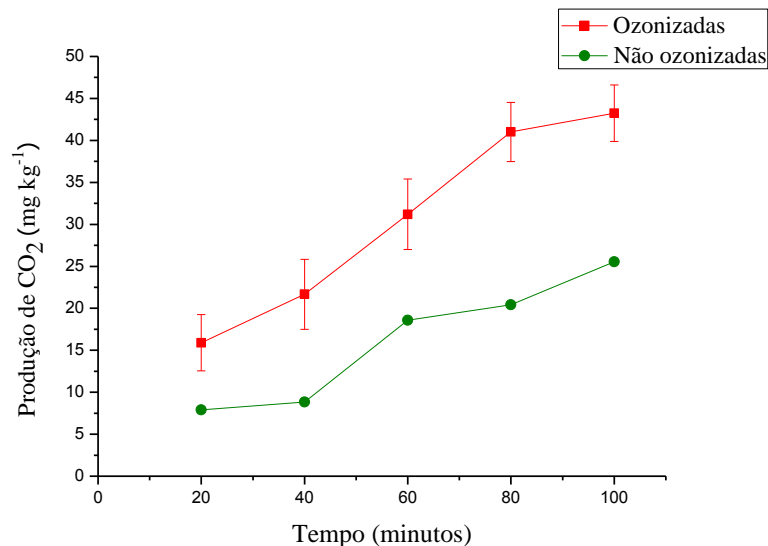


Figura 22. Produção de CO₂ (mg kg⁻¹) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de 1,000 mg L⁻¹, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas.

A figura 23 apresenta os valores obtidos para a produção de CO₂ por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de 2,000 mg L⁻¹, por 1 hora, em função do tempo de amostragem.

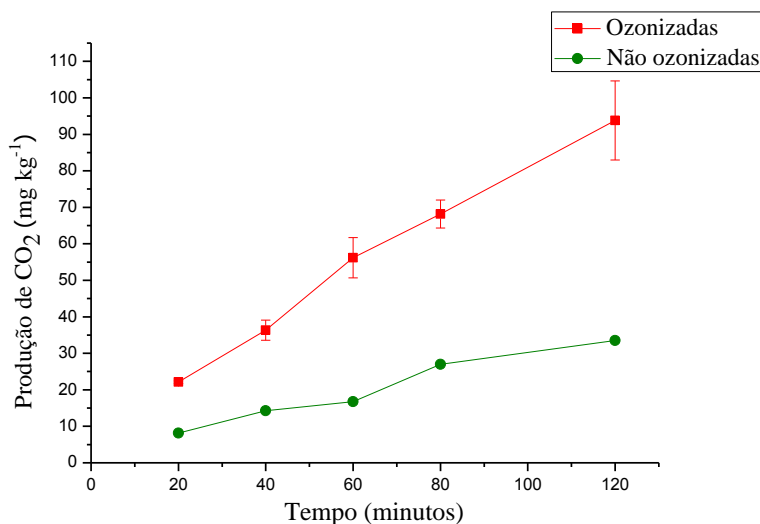


Figura 23. Produção de CO₂ (mg kg⁻¹) por bananas ‘Prata Anã’ após exposição ao ozônio a uma concentração de 2,000 mg L⁻¹, em função do tempo de amostragem: (■) ozonizadas; (●) não ozonizadas.

Analisando as figuras 20 a 23 observa-se que, após 100 minutos de acúmulo, a concentração de ozônio igual a 0,200 mg L⁻¹ foi capaz de reduzir em até 26% a produção de CO₂ pelas bananas ‘Prata Anã’ (5 – 18 mg kg⁻¹), em relação à produção observada para as bananas não ozonizadas (5 – 24 mg kg⁻¹). As demais concentrações tornaram a produção de CO₂ das bananas ozonizadas maior, proporcionalmente ao aumento da concentração de ozônio. A concentração de 0,500 mg L⁻¹ possibilitou um aumento na produção de CO₂ (7,5 – 42,5 mg kg⁻¹), que alcançou um valor 54% maior, após 120 minutos de acúmulo, em relação ao controle (5 – 27,5 mg kg⁻¹). A diferença da produção de etileno entre as bananas ozonizadas e não ozonizadas foi maior para as concentrações de 1,000 mg L⁻¹ (15 – 42,5 mg kg⁻¹) e 2,000 mg L⁻¹ (20 – 95 mg kg⁻¹), apresentando valores 1,5 e 3 vezes maiores, respectivamente, após 100 minutos de acúmulo.

Os resultados apresentados mostram que a concentração de ozônio de 0,200 mg L⁻¹ foi capaz de diminuir a produção de CO₂ pelos frutos. Isso indica que o ozônio diminuiu o processo de metabolismo das bananas ‘Prata Anã’, fazendo com que os frutos respirassem menos. Um aumento da produção de CO₂ pelas bananas ‘Prata Anã’, à medida que a

concentração de ozônio é aumentada, indica que o ozônio pode causar injúrias ao fruto, por meio de algum processo oxidativo, fazendo com que este produza mais CO₂ em resposta ao dano causado.

Minas e colaboradores (2014) observaram uma diminuição significativa da produção de CO₂ de frutos de kiwi expostos continuamente a uma concentração de ozônio de 0,3 µL L⁻¹ por 2 meses, o que concorda com os resultados obtidos neste trabalho. Ong e colaboradores (2014) observaram uma diminuição na produção de CO₂, proporcional a um aumento da concentração de ozônio, de mamões submetidos à ozonização contínua por 96 horas, o que difere dos resultados aqui apresentados.

3.2.3. Análises de qualidade

Com o intuito de verificar o efeito das concentrações de ozônio estudadas na qualidade dos frutos, foram realizadas análises de perda de massa fresca, firmeza da polpa, Ângulo Hue, sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT de bananas ‘Prata Anã’ após exposição por 1 hora, para cada concentração de ozônio (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Valores obtidos para perda de massa fresca, firmeza da polpa e Ângulo Hue, de bananas ‘Prata Anã’ após exposição por 1 hora, para cada concentração de ozônio e para o controle.

Tratamentos	Perda de massa fresca (%)	Firmeza da polpa (N)	Ângulo Hue (°h)
Controle	0,78 ± 0,099	61,25 ± 1,000	111,3 ± 1,600
0,200 mg L⁻¹	0,31 ± 0,13	60,05 ± 1,345	111,0 ± 1,690
0,500 mg L⁻¹	0,60 ± 0,013	58,00 ± 2,300	108,2 ± 1,150
1,000 mg L⁻¹	0,70 ± 0,014	53,05 ± 2,200	106,9 ± 0,900
2,000 mg L⁻¹	0,99 ± 0,2001	52,45 ± 1,118	102,4 ± 2,000

Em relação à perda de massa fresca, à medida que a concentração de ozônio aumentou, houve um aumento deste parâmetro. As concentrações de 0,200 mg L⁻¹, 0,500 mg L⁻¹ e 1,000 mg L⁻¹ reduziram a perda de massa fresca em 60%, 23% e 10%, respectivamente, em relação ao controle. A concentração de ozônio igual a 2,000 mg L⁻¹ causou um aumento de 27% no valor da perda de massa. Os resultados indicam, então, que à medida que a concentração de ozônio aumentou, a banana ‘Prata Anã’ perdeu mais água, e, portanto, mais massa fresca. Porém, para as concentrações de 0,200 mg L⁻¹, 0,500 mg L⁻¹ e 1,000 mg L⁻¹ as

perdas foram menores do que a do controle. Isso mostra que houve uma redução do metabolismo da banana ‘Prata Anã’ pelo ozônio nestas concentrações.

Para a firmeza da polpa, todas as concentrações de ozônio causaram uma diminuição deste parâmetro. À medida que a concentração de ozônio foi aumentada, o valor da firmeza da polpa diminuiu em 1,96%, 5,31%, 13,4% e 14,4%, para as concentrações de 0,200 mg L⁻¹, 0,500 mg L⁻¹, 1,000 mg L⁻¹ e 2,000 mg L⁻¹, respectivamente, em relação ao controle. Apesar de todas as concentrações terem apresentado uma redução da firmeza, a concentração de 0,200 mg L⁻¹ causou uma mínima variação. Os resultados indicam, portanto, que há um efeito da concentração do ozônio na firmeza da polpa da banana ‘Prata Anã’, acelerando o metabolismo do fruto relacionado a este parâmetro.

Analisando os dados do Ângulo Hue, vê-se que houve uma diminuição do valor deste parâmetro à medida que a concentração de ozônio foi aumentada. As concentrações de 0,200 mg L⁻¹, 0,500 mg L⁻¹, 1,000 mg L⁻¹ e 2,000 mg L⁻¹ geraram uma diminuição de 0,27%, 2,8%, 3,9% e 8,0%, respectivamente, em relação ao controle. A concentração de 0,200 mg L⁻¹ causou uma variação mínima, e as demais concentrações afetaram o parâmetro Ângulo Hue com maior intensidade. Os resultados indicam que o ozônio causou um clareamento da casca, o que indica uma aceleração do processo metabólico do fruto.

A Tabela 3 apresenta os valores para sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT de bananas ‘Prata Anã’ após exposição por 1 hora, para cada concentração de ozônio.

Tabela 3. Valores obtidos para sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT de bananas ‘Prata Anã’ após exposição por 1 hora, para cada concentração de ozônio e para o controle.

Tratamentos	Sólidos solúveis (°Brix)	Acidez titulável (% de ácido málico)	Relação SS/AT
Controle	4,23 ± 0,880	0,07 ± 0,0034	56,6 ± 0,900
0,200 mg L⁻¹	2,80 ± 0,000	0,06 ± 0,019	46,8 ± 0,850
0,500 mg L⁻¹	4,47 ± 0,640	0,10 ± 0,0067	46,5 ± 0,0100
1,000 mg L⁻¹	6,00 ± 0,910	0,13 ± 0,0058	45,5 ± 0,230
2,000 mg L⁻¹	10,1 ± 0,200	0,19 ± 0,0041	53,9 ± 0,250

Com relação ao parâmetro sólidos solúveis, as concentrações de ozônio iguais a 0,500 mg L⁻¹, 1,000 mg L⁻¹ e 2,000 mg L⁻¹ aumentaram em 5,7%, 41,8% e 139%, respectivamente, o teor de sólidos solúveis em relação ao controle. Já a concentração de ozônio de 0,200 mg L⁻¹

diminuiu em 33,8% o teor de sólidos solúveis, indicando uma diminuição do metabolismo do fruto, ao contrário das demais concentrações, que aceleraram esse processo.

Os resultados relacionados à acidez titulável mostram que as concentrações de ozônio iguais a 0,500 mg L⁻¹, 1,000 mg L⁻¹ e 2,000 mg L⁻¹ aumentaram em 42,8%, 87,5% e 171%, respectivamente, a acidez titulável, em relação ao controle, ao contrário da concentração de 0,200 mg L⁻¹, que diminuiu em 14,3% este parâmetro. Analisando os resultados vê-se que as maiores concentrações de ozônio tornaram os frutos mais ácidos, indicando uma variação mais rápida deste parâmetro, relacionado ao amadurecimento dos frutos.

A relação SS/AT das bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas para as concentrações de ozônio de 0,200 mg L⁻¹, 0,500 mg L⁻¹, 1,000 mg L⁻¹ e 2,000 mg L⁻¹, foram 17,3%, 17,8%, 19,6% e 4,77%, respectivamente, menores do que os valores para os frutos não ozonizados. Os resultados para a relação SS/AT indicam que, em geral, há um equilíbrio entre os valores de sólidos solúveis e de acidez, o que gera valores menores para este parâmetro. Assim, o metabolismo dos frutos ozonizados, em relação ao controle, foi ligeiramente menor.

Analisando os resultados das análises de qualidade, vê-se que a concentração de ozônio igual a 0,200 mg L⁻¹ possibilitou diminuir o metabolismo das bananas ‘Prata Anã’ relacionado a alguns parâmetros e afetou minimamente outros. Aliado a isso, essa concentração de ozônio permitiu uma diminuição da produção de etileno e de CO₂ pelos frutos. Assim, a concentração de ozônio igual a 0,200 mg L⁻¹ foi escolhida para a realização dos estudos posteriores.

3.3.Determinação do tempo de exposição adequado de bananas ‘Prata Anã’ ao ozônio

A fim de determinar o tempo de exposição adequado de bananas ‘Prata Anã’ ao ozônio e seu efeito no processo de amadurecimento dos frutos, foi realizado um estudo onde as bananas ‘Prata Anã’ foram ozonizadas por 2, 4 e 6 dias, com concentração de ozônio igual a 0,200 mg L⁻¹ (como determinada no item 3.2), e, após, foram armazenadas em câmara fria. Durante esse processo, alguns parâmetros dos frutos foram medidos e os resultados são apresentados a seguir.

3.3.1. Produção de etileno

A Figura 24 apresenta os valores obtidos para a produção de etileno por bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento.

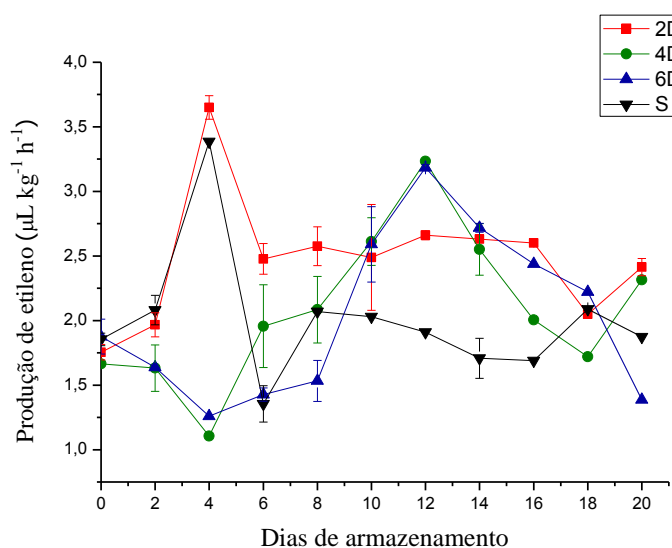


Figura 24. Produção de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) por bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas (com concentração de ozônio de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.

Os resultados apresentados na Figura 24 mostram que o pico de produção de etileno dos frutos controle ocorreu no 4º dia de armazenamento, com uma produção de etileno de $3,39 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. O pico climatérico para os frutos ozonizados por 2 dias também ocorreu no 4º dia, com uma produção de etileno de $3,65 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Assim, não houve retardo no amadurecimento dos frutos desta parcela do experimento. Os frutos ozonizados por 4 e 6 dias apresentaram o pico climatérico no 12º dia de armazenamento, com produções de etileno de $3,23 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ e $3,18 \mu\text{L kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente. Isso indica que a ozonização contínua por 4 e 6 dias de bananas ‘Prata Anã’ foi capaz de deslocar o pico de produção de etileno dos frutos em 8 dias. Esses resultados corroboram com o trabalho de Ong e colaboradores (2014), onde o pico climatérico do etileno de mamões ozonizados por 96 horas foi retardado em 2 dias.

O deslocamento do pico de produção de etileno dos frutos causado pela ozonização contínua por 4 e 6 dias mostra que o ozônio pode ter sido capaz de reagir com o etileno produzido pelas bananas 'Prata Anã', presente na atmosfera de armazenagem dos frutos, oxidando-o. Além disso, os resultados indicam que o ozônio pode ter inibido algumas expressões gênicas, responsáveis pelas atividades enzimáticas dos frutos, fazendo com que as atividades das enzimas ACC sintase e ACC oxidase fossem suprimidas, e, assim, os frutos produzissem uma menor quantidade de etileno (MINAS *et al.*, 2014). Assim, os resultados obtidos por meio deste trabalho indicam que durante o tempo em que as bananas 'Prata Anã' estavam sob ozonização, ocorreu a inibição das enzimas, e conseqüentemente da produção de etileno, e oxidação do etileno presente na atmosfera de armazenagem, desacelerando o metabolismo das bananas 'Prata Anã'. Quando a ozonização foi suspensa, o processo metabólico dos frutos continuou ocorrendo naturalmente. Assim, verifica-se que há um efeito significativo do tempo de exposição ao ozônio na produção de etileno, e, portanto, no processo de amadurecimento de bananas 'Prata Anã'.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que houve efeito do tempo de exposição ao ozônio no aumento da produção de etileno e no deslocamento do pico climatérico dos frutos, sendo este último mais expressivo. Assim, a ozonização contínua de bananas 'Prata Anã' por 4 e 6 dias mostrou-se uma estratégia eficiente no atraso da produção climatérica de etileno, desacelerando o processo de amadurecimento dos frutos.

3.3.2. Produção de CO₂

A Figura 25 apresenta os valores obtidos para a produção de CO₂ por bananas 'Prata Anã' ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L⁻¹) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento.

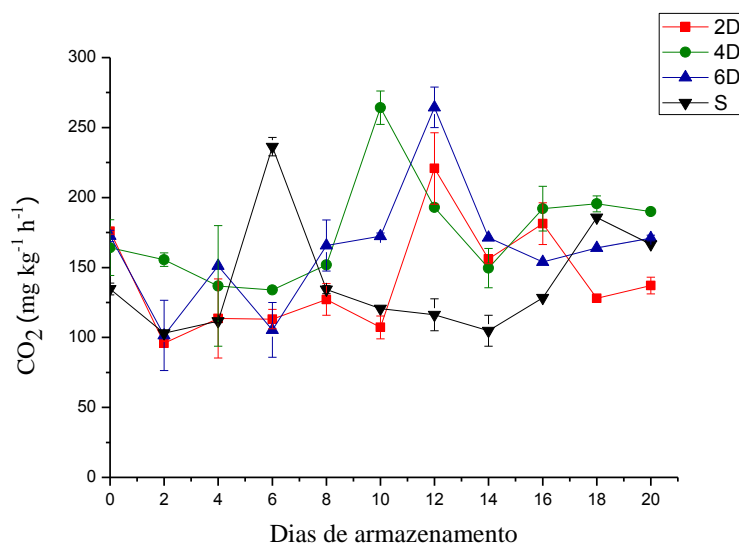


Figura 25. Produção de CO₂ (mg kg⁻¹ h⁻¹) por bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L⁻¹) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.

Os resultados apresentados na Figura 25 mostram que o pico da respiração dos frutos controle ocorreu no 6º dia de armazenamento, com uma produção de CO₂ de 236 mg kg⁻¹ h⁻¹. O pico climatérico para os frutos ozonizados por 4 dias ocorreu no 10º dia, com uma produção de CO₂ de 264 mg kg⁻¹ h⁻¹. Os frutos ozonizados por 2 e 6 dias apresentaram o pico climatérico no 12º dia de armazenamento, com produções de CO₂ de 221 mg kg⁻¹ h⁻¹ e 264 mg kg⁻¹ h⁻¹, respectivamente. Isso indica que a ozonização contínua por 4 e 6 dias de bananas ‘Prata Anã’ foi capaz de retardar o amadurecimento dos frutos em 8 dias. Esses resultados corroboram com o trabalho de Ong e colaboradores (2014), onde houve retardo de 2 dias do pico climatérico de CO₂ de mamões ozonizados por 96 horas.

O deslocamento do pico climatérico causado pela ozonização contínua por 2, 4 e 6 dias indica que pode ter aido um estresse abiótico nos frutos, capaz de reduzir as taxas de respiração (ONG *et al.*, 2014), devido à degradação da ácido málico, predominante na banana, que é muito suscetível a este estresse. Como o ácido málico é insumo para a respiração, com uma menor quantidade dele disponível, o processo respiratório é minimizado (BOTONDIA *et al.*, 2015). Assim, os resultados obtidos por meio deste trabalho indicam que durante o tempo em que as bananas ‘Prata Anã’ estavam sob ozonização, ocorreu o estresse abiótico, diminuindo a respiração dos frutos, desacelerando o metabolismo das bananas ‘Prata Anã’.

Quando a ozonização foi suspensa, o processo metabólico dos frutos continuou ocorrendo naturalmente. Assim, verifica-se que há um efeito do tempo de exposição ao ozônio na produção de CO₂, e, portanto, no processo de amadurecimento de bananas ‘Prata Anã’.

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que houve efeito do tempo de exposição ao ozônio no aumento da produção de CO₂ e no deslocamento do pico climatérico dos frutos, sendo este último mais expressivo. Assim, a ozonização contínua de bananas ‘Prata Anã’ por 2, 4 e 6 dias mostrou-se uma estratégia eficiente no atraso da produção climatérica de CO₂, desacelerando o processo de amadurecimento dos frutos.

3.3.3. Cor da casca

A figura 26 apresenta os valores obtidos para o Ângulo Hue (°) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L⁻¹) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento.

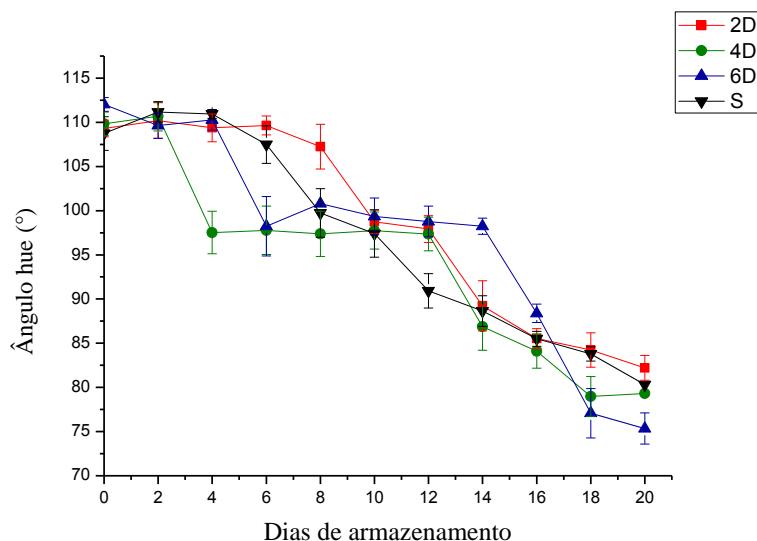


Figura 26. Valores de Ângulo Hue (°) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L⁻¹) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.

A análise dos resultados apresentados na Figura 26 mostra que até o 2º dia de armazenamento não houve diferença significativa entre os valores de Ângulo Hue para os frutos dentro de cada parcela e entre as parcelas do experimento, atingindo valores de cerca de 110°, indicando que as cascas dos frutos estavam com coloração verde. A partir do 2º dia, o

valor de Ângulo Hue para os frutos ozonizados por 4 dias diminuiu com grande acentuação até o 4º dia, atingindo o valor de 97,5° (coloração amarela dos frutos), indicando que houve um grande clareamento da casca dos frutos. Então, estes frutos apresentaram valores de Ângulo Hue constantes até o 12º dia de armazenamento, quando os valores diminuíram gradual até atingirem o valor de 79,3°. Para os frutos ozonizados por 6 dias, a diminuição acentuada ocorreu do 4º ao 6º dia, atingindo o valor de 98,2° (coloração amarela dos frutos). Então, estes frutos apresentaram valores de Ângulo Hue praticamente constantes até o 14º dia de armazenamento, quando os valores diminuíram acentuadamente até atingirem o valor de 75,3°. Os frutos ozonizados por 2 dias apresentaram valores praticamente constantes até o 6º dia de armazenamento (cerca de 110°), indicando que os frutos permaneceram com coloração verde durante este período, e, então, os valores de Ângulo Hue diminuíram gradualmente a partir deste dia, até atingirem o valor de 82,2° no 20º dia de armazenamento. Os frutos não ozonizados apresentaram valores praticamente constantes até o 4º dia de armazenamento (cerca de 110°), indicando que os frutos permaneceram com coloração verde durante este período, e, então, os valores de Ângulo Hue diminuíram gradualmente a partir deste dia, até atingirem o valor de 80,3° no 20º dia de armazenamento, apresentando valores médios menores do que os frutos ozonizados por 2 dias, ao longo de tempo.

Assim, os resultados mostram que houve um efeito do tempo de exposição ao ozônio no parâmetro Ângulo Hue, relacionado à cor da casca dos frutos, e que um tempo de ozonização de 4 e 6 dias favorecem a mudança da coloração da casca dos frutos, em relação a frutos não ozonizados. Além disso, o tempo de ozonização por 2 dias manteve os valores de Ângulo Hue superiores aos apresentados pelos frutos não ozonizados, mantendo-os constantes por mais tempo.

A Figura 27 apresenta os valores obtidos para o Ângulo Hue (°) de bananas ‘Prata Anã’, identificadas como controle, ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L⁻¹) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento.

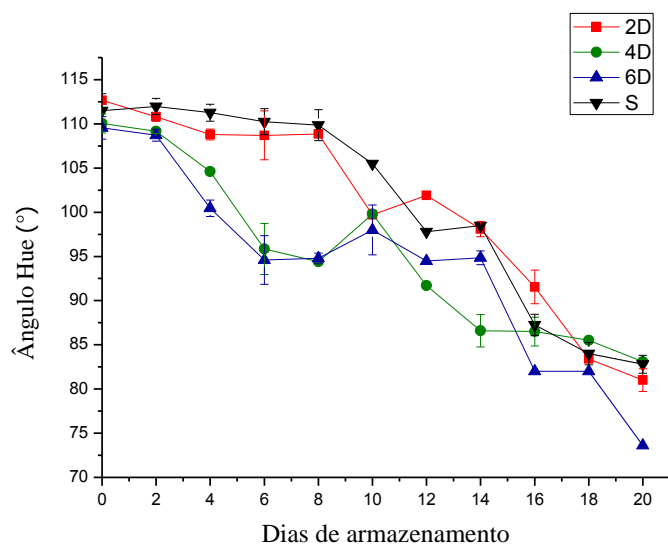


Figura 27. Valores de Ângulo Hue ($^{\circ}$) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$) e não ozonizadas, para os frutos controle, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.

Os resultados apresentados na Figura 27 mostram que até o 2º dia de armazenamento não houve diferença entre os valores de Ângulo Hue para os frutos dentro de cada parcela e entre as parcelas do experimento, que atingiram valores de cerca de 110° , indicando que as cascas dos frutos estavam com coloração verde. A partir do 2º dia, o valor de Ângulo Hue para os frutos ozonizados por 4 dias diminuiu com grande acentuação até o 6º dia, atingindo o valor de $95,8^{\circ}$ (coloração amarela dos frutos), indicando que houve um grande clareamento da casca dos frutos. Então, estes frutos apresentaram valores de Ângulo Hue praticamente constantes até o 14º dia de armazenamento (cerca de 95°), quando os valores diminuiram de forma acentuada até atingirem o valor de $83,1^{\circ}$ no 20º dia. Para os frutos ozonizados por 6 dias, a diminuição acentuada também ocorreu do 2º ao 6º dia, atingindo o valor de 98° (coloração amarela dos frutos). Então, estes frutos apresentaram valores de Ângulo Hue praticamente constantes até o 14º dia de armazenamento, quando os valores diminuiram acentuadamente até atingirem o valor de $73,6^{\circ}$. Os frutos ozonizados por 2 dias e os frutos não ozonizados apresentaram valores praticamente constantes até o 10º dia de armazenamento (cerca de 110°), indicando que os frutos permaneceram com coloração verde

durante este período, e, então, os valores de Ângulo Hue diminuíram gradualmente a partir deste dia, até atingirem o valor de 81° e 82,8°, respectivamente, no 20º dia de armazenamento, não sendo observadas diferenças significativas entre os valores de Ângulo Hue para estes frutos durante todo o período de armazenamento.

Como os resultados apresentados na Figura 27 foram obtidos para os mesmos frutos durante todo o período de armazenamento, estas medidas do Ângulo Hue fornecem valores mais precisos da variação deste parâmetro em função do tempo. Assim, os resultados mostram que houve um efeito do tempo de exposição ao ozônio no parâmetro Ângulo Hue, relacionado à cor da casca dos frutos, e que tempos de ozonização de 4 e 6 dias favorecem a mudança da coloração da casca dos frutos, em relação a frutos não ozonizados. Além disso, o tempo de ozonização por 2 dias não apresentou diferença expressiva em relação aos frutos não ozonizados. Isso indica que os tempos de ozonização por 4 e 6 dias aceleraram o metabolismo relacionado ao amadurecimento das bananas ‘Prata Anã’, e que o tempo de ozonização por 2 dias não causou efeito no amadurecimento das bananas.

Os resultados apresentados neste trabalho concordam com os obtidos por Ali e colaboradores (2014), onde os valores do Ângulo Hue de mamões expostos continuamente ao ozônio por 4 dias atingiram valores menores em relação os frutos não ozonizados.

A cor verde da casca das bananas ‘Prata Anã’ jovens é proveniente do pigmento clorofila. A perda de cor verde, gerando pigmentação amarela, indicativo do amadurecimento da banana, ocorre devido à degradação da clorofila, em decorrência de vários fatores, como o acúmulo de ácidos orgânicos, a ativação da enzima clorofilase e a presença de sistemas oxidantes (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Os resultados obtidos neste trabalho indicam que a exposição dos frutos ao ozônio por um intervalo de tempo de 4 e 6 dias favorecem a degradação da clorofila, tornando a casca dos frutos mais clara, diminuindo, assim, os valores do Ângulo Hue. O tempo de ozonização por 2 dias pode não ter causado efeito no amadurecimento das bananas por ter sido um tempo menor.

3.3.4. Sintomas de fitotoxicidade do ozônio

Os frutos submetidos à ozonização por 4 e 6 dias apresentaram manchas escuras de coloração marrom. As manchas surgiram no 10º dia de armazenamento em todos os frutos que foram submetidos à ozonização. Com o passar dos dias de armazenamento, o sintoma de

toxidez aumentou de modo expressivo, comprometendo a superfície da casca da banana (Figura 28).

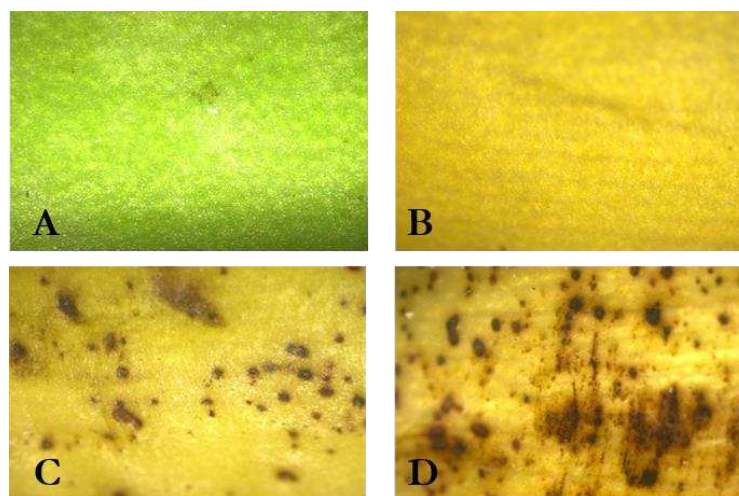


Figura 28. Fotos obtidas por meio de uma lupa, com aumento de 8 vezes. (A) Casca de banana ‘Prata Anã’ no dia da colheita. (B) Casca de banana ‘Prata Anã’ ozonizada por 2 dias, no 12º dia de armazenamento. (C) Casca de banana ‘Prata Anã’ ozonizada por 4 dias, no 12º dia de armazenamento. (D) Casca de banana ‘Prata Anã’ ozonizada por 6 dias, no 12º dia de armazenamento.

As manchas escuras não apareceram nas superfícies da banana que não estavam em contato com a atmosfera de ozônio, ou seja, com as superfícies que estavam em contato com o fundo da caixa hermética.

O ozônio causou danos na epiderme da banana, na forma de manchas escurecidas. Provavelmente as manchas apareceram devido à morte das células da epiderme, provocada pelo ozônio, pois este está envolvido na chamada resposta de hipersensibilidade, que ocorre quando a célula sofre um estresse biótico ou abiótico. Ao sofrerem estresse, por exemplo, após o ataque de um patógeno, as células infectadas e as células adjacentes a ela morrem. As células da epiderme da banana que foram afetadas são as dos estômatos, que são os orifícios por onde o ozônio entra nos tecidos da banana (SAUTTER *et al.*, 2011).

Resultados encontrados por Sautter e colaboradores (2011) mostraram que pêssegos ozonizados continuamente, com concentração de ozônio igual a $0,03 \mu\text{L L}^{-1}$, por 30 dias apresentaram manchas de cor marrom na superfície da casca dos frutos, de maneira semelhante a este trabalho. Porém, Glowacz e colaboradores (2015), ao estudarem o efeito da ozonização contínua, com concentração de ozônio igual a $0,3 \mu\text{L L}^{-1}$, de pimentas por 17 dias, não observaram nenhum efeito fitotóxico do ozônio nos frutos. Assim, a fitotoxicidade do

ozônio pode estar relacionada diretamente com as características das cascas dos frutos, visto que os resultados obtidos por este trabalho e por aqueles citados da literatura diferem quanto ao sintoma de fitotoxicidade e quanto ao fruto estudado.

Os resultados apresentados neste trabalho mostram que a ozonização contínua de bananas ‘Prata Anã’ por 4 e 6 dias mostrou-se prejudicial para os frutos, causando injúrias nos mesmos e prejudicando, assim, sua qualidade.

3.3.5. Perda de massa fresca

A Figura 29 apresenta os valores obtidos para a perda de massa fresca de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento.

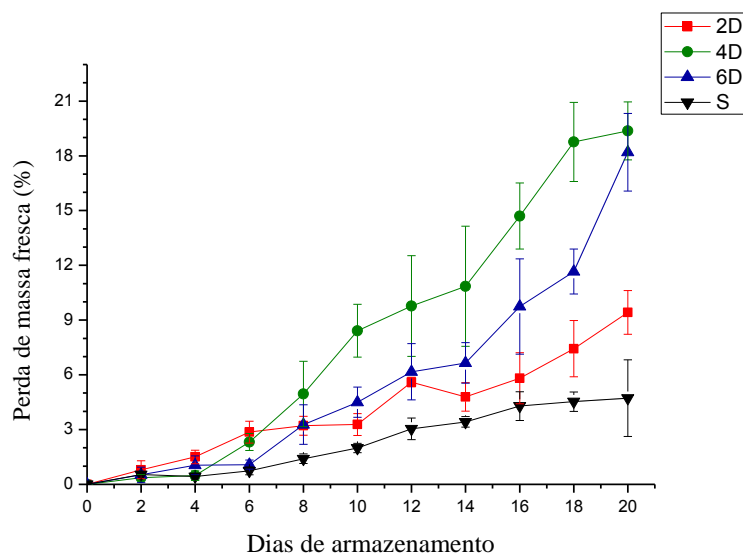


Figura 29. Valores de perda de massa fresca (%) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.

Observando-se a Figura 29 vê-se que a perda de massa fresca se manteve praticamente constante até o 6º dia de armazenamento para os frutos de todas as parcelas do experimento. A partir do 6º dia, a perda de massa dos frutos aumentou ao longo do tempo. Os frutos não ozonizados apresentaram valores inferiores durante todo o período de armazenamento, alcançando o valor de 4,7% ao final do armazenamento, muito inferior aos valores atingidos pelos frutos ozonizados por 4 e 6 dias, de 19,4% e 18,2%, respectivamente. Os frutos

ozonizados por 2 dias apresentaram valores menores do que os demais frutos ozonizados, alcançando o valor de 9,4% no 20º dia de armazenamento. O 6º dia de armazenamento foi o dia que em que todas as caixas estavam abertas. Os resultados mostram, portanto, que a perda de massa fresca dos frutos foi maior após a abertura das caixas.

A figura 30 apresenta os valores obtidos para a perda de massa fresca de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento.

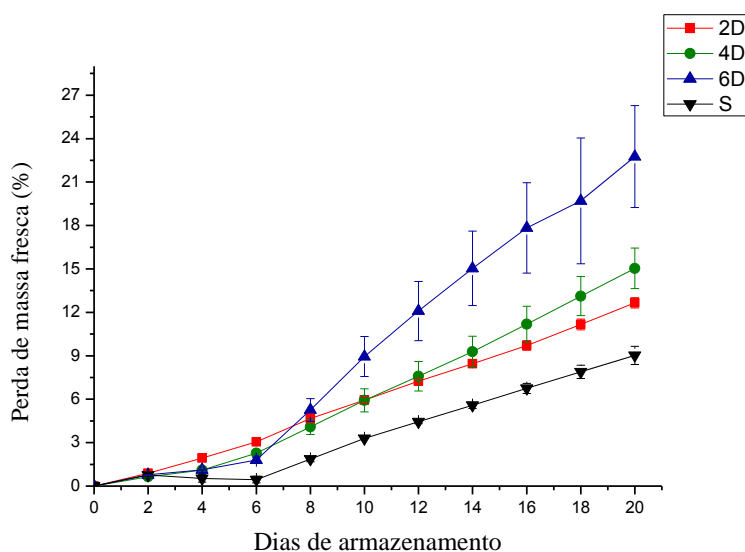


Figura 30. Valores de perda de massa fresca (%) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$) e não ozonizadas, para os frutos controle, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.

Os resultados da figura 30 mostram que a perda de massa fresca se manteve praticamente constante até o 6º dia de armazenamento para os frutos de todas as parcelas do experimento. A partir do 6º dia, a perda de massa dos frutos aumentou ao longo do tempo. Para os frutos ozonizados por 2 e 4 dias, não foram observadas diferenças expressivas durante todo o experimento, alcançando valores de 12,7% e 15,0%, respectivamente, após 20 dias de armazenamento. Os frutos não ozonizados apresentaram valores menores do que os demais frutos, alcançando o valor de 9,0% no 20º dia de armazenamento. Os frutos ozonizados por 6 dias apresentaram perdas de massa fresca significativamente maiores em todos os dias de armazenamento, alcançando o valor de 22,7% no fim do armazenamento. O 6º dia de

armazenamento foi o dia que em que todas as caixas estavam abertas. Os resultados mostram, portanto, que a perda de massa fresca dos frutos foi maior após a abertura das caixas.

Os resultados obtidos neste trabalho concordam com os resultados que Forney e colaboradores (2003) obtiveram quando ozonizaram amostras de brócolis por 12 dias e perceberam um aumento significativo na perda de massa fresca, em relação às amostras não ozonizadas. Ainda, Tzortzakis e colaboradores (2007) observaram um aumento na perda de massa fresca de tomates ozonizados por 6 dias.

Como os resultados apresentados na figura 30 foram obtidos para os mesmos frutos durante todo o período de armazenamento, os valores de perda de massa fresca fornecem informações mais precisas da variação deste parâmetro em função do tempo.

O aumento da perda de massa fresca é uma das consequências do amadurecimento das bananas. Assim, os resultados obtidos mostram que o tempo de exposição ao ozônio causou grande efeito na perda de massa fresca, sendo que o tempo de 6 dias causou um aumento expressivo neste parâmetro. Isso indica que o metabolismo dos frutos quanto à perda de massa foi acelerado pelo ozônio, acelerando, assim, o amadurecimento dos frutos.

A perda de massa fresca é um processo que ocorre naturalmente nos frutos durante o amadurecimento. Ela é reflexo da perda de água dos frutos, que ocorre devido ao processo de respiração dos mesmos, influenciada diretamente pelo déficit de pressão de vapor, que representa a diferença entre a pressão de vapor entre os tecidos dos frutos e a atmosfera externa, que varia de acordo com a temperatura e a umidade relativa do ar que compõe a atmosfera externa. Assim, quando os frutos são armazenados em locais com baixa umidade relativa do ar e alta temperatura, há um aumento da perda de massa fresca dos frutos (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Durante a realização do experimento, a temperatura e a umidade relativa foram mantidas altas e constantes durante todos os dias de armazenamento, sugerindo que as altas perdas de massa fresca foram causadas pelo ozônio.

3.3.6. Firmeza da polpa

A Figura 31 apresenta os valores obtidos para a firmeza da polpa de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento.

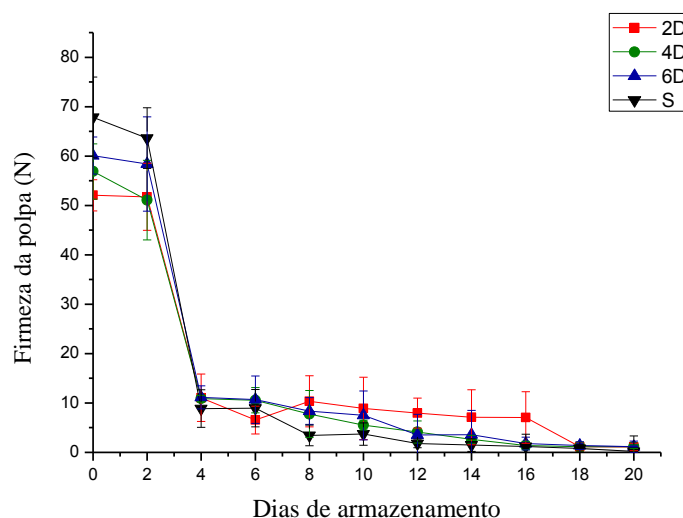


Figura 31. Valores de firmeza da polpa (N) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.

Os resultados apresentados na Figura 31 mostram que a firmeza da polpa para os frutos ozonizados, para ambas as parcelas, apresentou comportamento idêntico durante todos os dias de armazenamento. Os frutos ozonizados por 2, 4 e 6 dias e os frutos não ozonizados iniciaram o experimento com valores de 52,1 N, 56,9 N, 60,1 N e 67,8 N, respectivamente. No 2º dia de armazenamento, houve uma diminuição acentuada da firmeza, comportamento característico do amadurecimento de banana, que ocorreu na mesma intensidade para os frutos ozonizados e não ozonizados. A firmeza da polpa de todos os frutos diminuiu gradualmente ao longo de todos os dias de armazenamento, atingindo valores de iniciaram o experimento com valores de 1,10 N, 1,16 N, 1,13 N e 3,14 N, para os frutos ozonizados por 2, 4 e 6 dias e os frutos não ozonizados, respectivamente.

Observando-se os valores médios de firmeza da polpa para os frutos a partir do 4º dia de armazenamento, vê-se que os valores para os frutos não ozonizados foram inferiores aos dos demais frutos, tendo os frutos ozonizados por 2 dias apresentado maiores valores para a firmeza da polpa, e aqueles ozonizados por 4 e 6 dias apresentando valores semelhantes. Os resultados apresentados neste trabalho estão de acordo com os obtidos por Aguayo e colaboradores (2006), que verificaram a diminuição da firmeza de tomates com maiores tempos de exposição ao ozônio.

A firmeza da polpa dos frutos está diretamente ligada à composição e estrutura das paredes celulares e a manutenção de integridade das mesmas. Com a evolução do processo de amadurecimento, algumas macromoléculas, como celulose, protopectinas e amido, são decompostas, gerando um amaciamento das paredes celulares por meio da diminuição das forças coesivas que mantêm as células unidas (CHITARRA e CHITARRA). O ozônio é capaz de minimizar o processo de degradação destas macromoléculas, diminuindo, assim, a taxa de amaciamento das paredes celulares, deixando os frutos mais firmes (MINAS *et al.*, 2014). Os resultados obtidos neste trabalho mostram que a ozonização manteve os frutos mais firmes, em relação ao controle, indicando que o efeito acima descrito pode ter ocorrido. Porém, quanto maior foi o tempo de ozonização dos frutos, menores foram os valores de firmeza da polpa. Isso indica que tempos de ozonização por grandes intervalos de tempo podem causar efeitos contrários, e diminuir a firmeza da polpa dos frutos.

Assim, a ozonização contínua de bananas ‘Prata Anã’ por 2 dias mostrou-se uma forma eficiente de minimizar a taxa de diminuição da firmeza da polpa de bananas ‘Prata Anã’, desacelerando, assim, o processo de amadurecimento dos frutos.

3.3.7. Sólidos solúveis (SS)

A Figura 32 apresenta os valores obtidos para os sólidos solúveis de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento.

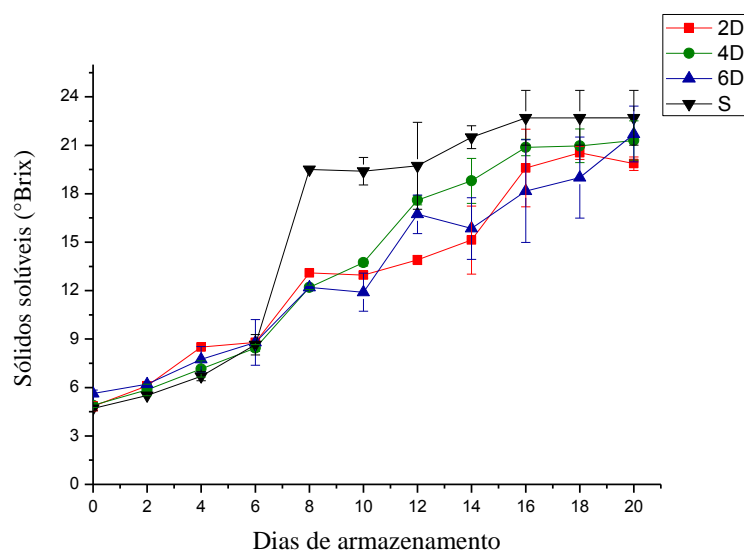


Figura 32. Valores de sólidos solúveis (°Brix) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.

Os resultados relacionados aos sólidos solúveis mostram que a variação deste parâmetro foi idêntica para todos os frutos ozonizados, não sendo observado efeito do tempo de ozonização neste parâmetro. Os frutos controle apresentaram valores de sólidos solúveis semelhantes aos frutos ozonizados até o 6º dia de armazenamento (cerca de $8,0 \text{ °Brix}$), onde houve um aumento bem acentuado do teor de açúcares destes frutos, característico do amadurecimento de bananas, atingindo um valor de $19,5 \text{ °Brix}$, 56% maior do que o valor médio para os frutos ozonizados ($12,5 \text{ °Brix}$). O aumento dos sólidos solúveis para os frutos ozonizados ocorreu de forma mais gradual neste período. Após, para os frutos ozonizados e não ozonizados, os valores de sólidos solúveis continuaram aumentando, alcançando valores de $19,9 \text{ °Brix}$, $21,3 \text{ °Brix}$, $21,7 \text{ °Brix}$ e $22,7 \text{ °Brix}$ para os frutos ozonizados por 2, 4 e 6 dias e para o controle, respectivamente. Os resultados indicam, então, que os frutos controle tiveram um metabolismo mais acelerado do que os frutos ozonizados, em relação aos sólidos solúveis, e, portanto, amadureceram mais rapidamente.

Os resultados obtidos neste trabalho destoam dos obtidos por Ali e colaboradores (2014), que observaram um aumento do teor de sólidos solúveis de mamões ozonizados por 4 dias. O trabalho desenvolvido por Minas e colaboradores (2014) mostrou que o teor de

sólidos solúveis diminuiu para mamões ozonizados ($0,3 \mu\text{L L}^{-1}$), o que concorda com os dados obtidos neste trabalho.

Durante o processo de amadurecimento dos frutos, uma das principais alterações fisiológicas é o aumento do teor de sólidos solúveis devido ao acúmulo de açúcares no fruto, como glicose, frutose e sacarose. Estes açúcares são oriundos da degradação de polissacarídeos, como o amido, pelo processo de respiração do fruto (CHITARRA e CHITARRA, 2005; AGUAYO et al., 2006). Assim, os menores valores de sólidos solúveis obtidos neste trabalho ocorreram devido à diminuição do processo de respiração, e, portanto, do metabolismo das bananas ‘Prata Anã’, devido à ozonização.

3.3.8. Acidez titulável (AT)

A Figura 33 apresenta os valores obtidos para a acidez titulável de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento.

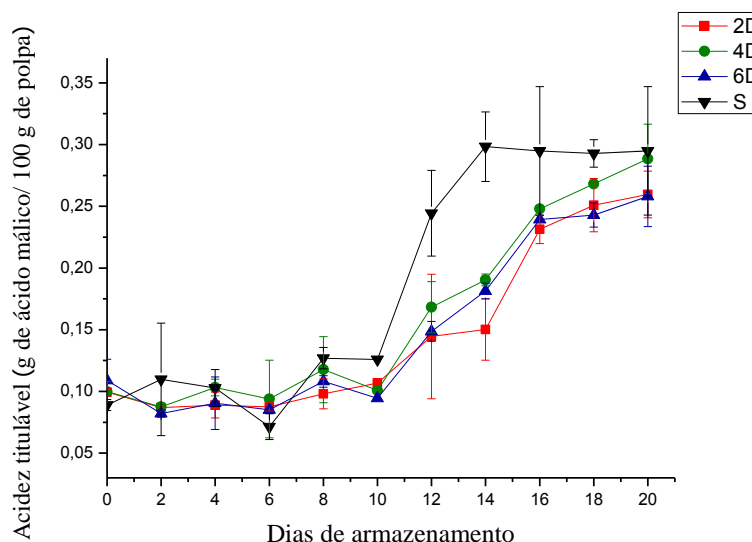


Figura 33. Valores de acidez titulável (g de ácido málico/ 100 g de polpa) de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.

Os resultados relacionados à acidez titulável mostram que a variação deste parâmetro foi semelhante para todos os frutos ozonizados, não sendo observado efeito do tempo de

ozonização neste parâmetro Os frutos controle apresentaram valores de acidez semelhantes aos frutos ozonizados até o 8º dia de armazenamento (cerca de 0,10 g de ácido málico/100 g de polpa), onde houve um aumento bem acentuado da acidez titulável destes frutos, característico do amadurecimento de bananas, atingindo um valor de 0,28 g de ácido málico/100 g de polpa, cerca de 60% maior do que o valor médio para os frutos ozonizados (0,175 g de ácido málico/100 g de polpa). O aumento da acidez para os frutos ozonizados ocorreu de forma mais gradual neste período. Após, para os frutos ozonizados e não ozonizados, os valores de acidez titulável continuaram aumento, alcançando valores de 0,26 g de ácido málico/100 g de polpa, 0,29 g de ácido málico/100 g de polpa, 0,26 g de ácido málico/100 g de polpa e 0,29 g de ácido málico/100 g de polpa para os frutos ozonizados por 2, 4 e 6 dias e para o controle, respectivamente. Os resultados indicam, assim, que os frutos controle tiveram um metabolismo mais acelerado do que os frutos ozonizados, e, portanto, amadureceram mais rapidamente do que estes frutos.

Os resultados obtidos neste trabalho concordam com os apresentados por Aguayo e colaboradores (2006) em seu trabalho onde tomates foram ozonizados, com concentração de ozônio igual a 0,500 $\mu\text{L L}^{-1}$, por 30 minutos a cada 3 horas e apresentaram teores de ácido málico menores em relação a tomates não ozonizados.

O ácido málico, ácido orgânico predominante na banana, é muito suscetível a estresse abiótico, causado pelo ozônio. Assim, a diminuição da acidez observada nos resultados apresentados pode ser devido à oxidação de ácido málico, como consequência da exposição ao ozônio (BOTONDIA *et al.*, 2015). Esses resultados corroboram com os relacionados à diminuição da produção de CO_2 pelo ozônio, devido à degradação do ácido málico (Item 3.3.2 deste trabalho). Como o ácido málico foi degradado pelo ozônio, transformando-se em outras espécies, o teor deste ácido, medido através da titulação, foi menor para os frutos ozonizados em relação aos frutos controle.

3.3.9. Relação SS/AT

A Figura 34 apresenta os valores obtidos para a relação SS/AT de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de 0,200 mg L^{-1}) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento, para cada parcela do experimento.

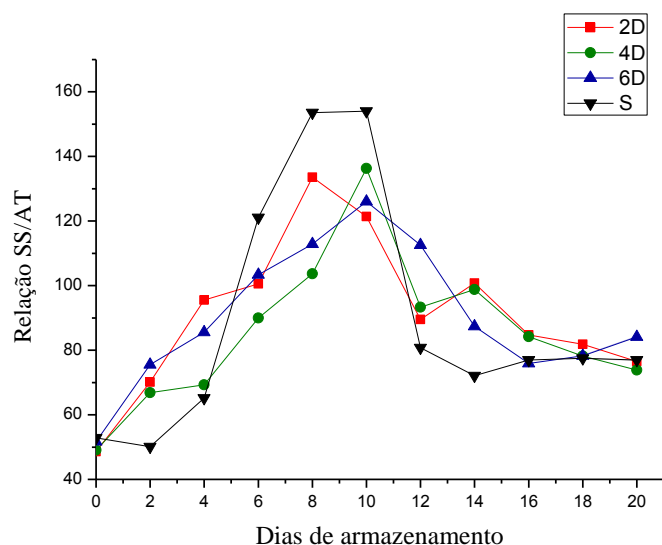


Figura 34. Valores de relação SS/AT de bananas ‘Prata Anã’ ozonizadas por 2, 4 e 6 dias (com concentração de ozônio de $0,200 \text{ mg L}^{-1}$) e não ozonizadas, em função dos dias de armazenamento: (■) ozonizadas por 2 dias (2D); (●) ozonizadas por 4 dias (4D); (▲) ozonizadas por 6 dias (6D); e (▼) não ozonizadas.

Os frutos ozonizados por 2, 4 e 6 dias apresentaram valores menores de relação SS/AT, em relação ao controle, durante todos os dias de armazenamento. O comportamento das curvas foi semelhante para os frutos ozonizados por 4 e 6 dias, que geraram picos no 10º dia de armazenamento, e para aqueles ozonizados por 2 dias, que geraram um pico no 8º dia. Os frutos controle apresentaram uma variação mais acentuada da relação SS/AT, gerando um pico entre o 8º e o 10º dia de armazenamento.

Os resultados para a relação SS/AT mostram que inicialmente há um aumento da relação devido ao aumento da quantidade de sólidos solúveis, mais acentuado a partir do 6º dia, como observado na Figura 32, e aos valores praticamente constantes apresentados pela acidez, como observado na Figura 33. A partir do 10º dia de armazenamento, a acidez tem uma variação mais acentuada, e os sólidos solúveis, uma variação mais gradual, gerando o perfil das curvas apresentadas na figura 34.

Assim, os resultados obtidos para a relação SS/AT mostram que o controle apresentou maiores variações para este parâmetro, indicando que seu amadurecimento foi favorecido em relação aos frutos ozonizados, mostrando o efeito do ozônio no retardo do amadurecimento de bananas ‘Prata Anã’ relacionado à relação SS/AT.

4. CONCLUSÕES

Os estudos iniciais com relação à ozonização contínua das bananas ‘Prata Anã’ mostraram que esse processo não afetou significativamente o Ângulo Hue, mas causou alterações consideráveis na perda de massa fresca e firmeza da polpa, além de causar injúrias nos frutos, indicando que o processo de ozonização contínua em bananas ‘Prata Anã’ pode ser utilizado na conservação dos frutos, mas com condições adequadas que minimizem os efeitos indesejáveis.

Os resultados do estudo para determinação da concentração de ozônio adequada indicaram que a concentração de ozônio igual a 0,200 mg L⁻¹ diminuiu o metabolismo das bananas ‘Prata Anã’, relacionado aos parâmetros perda de massa fresca, sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT, e afetou minimamente a firmeza da polpa e o Ângulo Hue, relacionado à cor da casca dos frutos. Aliado a isso, essa concentração de ozônio permitiu uma diminuição da produção de etileno e de CO₂ pelos frutos. Por isso, a concentração de ozônio igual a 0,200 mg L⁻¹ foi escolhida para a realização dos estudos relacionados ao tempo de exposição.

No estudo para determinação do tempo de exposição adequado, o tempo de ozonização de 2 dias, embora não tenha retardado o pico de produção de etileno, desacelerou o processo de respiração das bananas ‘Prata Anã’ e reduziu os valores de sólidos solúveis, acidez titulável, relação SS/AT, sem causar injúrias nos mesmos. Sendo assim, este foi o tempo considerado adequado para desacelerar o processo de amadurecimento das bananas, visando prolongar a vida pós-colheita dos frutos.

A utilização do ozônio mostrou-se uma estratégia eficiente na desaceleração do metabolismo relativo ao amadurecimento das bananas ‘Prata Anã’. Como propostas futuras, o processo de ozonização será otimizado, para que sua ação no amadurecimento de bananas ‘Prata Anã’ seja ainda mais eficiente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AHMED, Z. F. R.; PALTA, J. P. Postharvest dip treatment with a natural lysophospholipid plus soy lecithin extended the shelf life of banana fruit. **Postharvest Biology and Tecnology**, 113, 56-65. 2016;

ALI, A.; ONG, M. K.; FORNEY, C. F. Effect of ozone pre-conditioning on quality and antioxidant capacity of papaya fruit during ambient storage. **Food Chemistry**, 142, 19–26. 2014;

ALOTHMAN, M.; KAUR, B.; FAZILAH, A.; BHAT, R.; KARIM, A. A. Ozone-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 11, 666–671. 2010;

ARSHAD, M.; FRANKENBERGER, W. T. **Ethylene: Agricultural Sources and Applications**. Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2002;

BARBONI, T.; CANNAC, M.; CHIARAMONTI, N. Effect of cold storage and ozone treatment on physicochemical parameters, soluble sugars and organic acids in *Actinidia deliciosa*. **Food Chemistry**, 121, 946 – 951. 2010;

BHANDE, S. D.; RAVINDRA, M. R.; GOSWAMI, T. K. Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. **Journal of Food Engineering**, 87, 116–123. 2008;

BOTONDIA, R.; SANCTISA, F.; MOSCATELLIA, N.; VETTRAINOA, A.; CATELLIB, C.; MENCARELL, F. Ozone fumigation for safety and quality of wine grapes in postharvest dehydration. **Food Chemistry**, 188, 641–647. 2015;

CALBO, A.G.; MORETTI, C. L.; HENZ, G.P. **Respiração das frutas e hortaliças**. Comunicado técnico 46. EMBRAPA, 2007;

CARNEIRO, R. P.; OLIVEIRA, F. A. S.; MADUREIRA, F. D.; SILVA, G.; SOUZA, W. R.; LOPES, R. P. Development and method validation for determination of 128 pesticides in bananas by modified QuEChERS and UHPLC/MS/MS analysis. **Food Control**, 33, 413-423. 2013;

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: Fisiologia e manuseio**. 2ª edição. Editora UFLA, 2005;

COELHO, C. C. S.; SILVA, O. F.; CAMPOS, R. S.; BEZERRA, V. S.; CABRAL, L. M. C. Ozonização como tecnologia pós-colheita na conservação de frutas e hortaliças: Uma revisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19 (4), 369–375. 2015;

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS (EPAMIG). Bananicultura irrigada: inovações tecnológicas. **Informe Agropecuário**, V29 (245), 2008;

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Disponível em: <<http://apps.fao.org>>. Acesso em: 21 jul. 2015;

FELIZIANI, E.; ROMANAZZI, G.; SMILANICK, J. L. Application of low concentrations of ozone during the cold storage of table grapes. **Postharvest Biology and Technology**, 93, 38-48. 2014;

FERNIE, A. R.; CARRARI, F.; SWEETLOVE, L. J. Respiratory metabolism: glycolysis, the TCA cycle and mitochondrial electron transport. **Current Opinion in Plant Biology**, 7, 254–261. 2004;

FORNEY, C. F.; LIHUA, J. S.; Hildebrand, P. D.; JORDAN, M. A. Ozone and 1-Methylcyclopropene Alter the Postharvest Quality of Broccoli. **Journal of American Society of Horticulture Science**, 128 (3):403–408. 2003;

GOTTSCHALK, C.; LIBRA, J. A.; SAUPE, A. **Ozonation of water and waste water: a practical guide to understanding ozone and its applications**. Weinheim: Wiley, 2009;

GLOWACZ, M.; COLGAN, R.; REES, D. Influence of continuous exposure to gaseous ozone on the quality of red bell peppers, cucumbers and zucchini. **Postharvest Biology and Technology**, 99, 1-8. 2015;

GLOWACZ, M.; REES, D. Exposure to ozone reduces postharvest quality loss in red and green chilli peppers. **Food Chemistry**, 210, 305–310. 2016;

HELENO, F. F.; QUEIROZ, M. E. L. R.; NEVES, A. A.; FREITAS, R. S.; FARONI, L. R. D.; OLIVEIRA, A.F. Effects of ozone fumigation treatment on the removal of residual difenoconazole from strawberries and on their quality. **Journal of Environmental Science and Health Part B**. 49(2):94-101. 2014;

KARACA, H.; WALSEB, S. S.; SMILANICK, J. L. Effect of continuous 0.3 L/L gaseous ozone exposure on fungicide residues on table grape berries. **Postharvest Biology and Technology**, 64, 154–159. 2012;

McGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254-1260,1992.

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**, 58, 203-210. 2010;

MINAS, I. S.; VICENTE, A. R.; DHANAPAL, A. P.; MANGANARIS, G. A.; GOULAS, V.; VASILAKAKIS, M.; CRISOSTO, C. H.; MOLASSIOTIS, A. Ozone-induced kiwifruit ripening delay is mediated by ethylene biosynthesis inhibition and cell wall dismantling regulation. **Plant Science**, 229, 76–85. 2014;

NASCIMENTO JUNIOR, B. B.; OZORIO, L. P.; REZENDE, C. M.; SOARES, A. G.; FONSECA, M. J. O. Diferenças entre bananas de cultivares Prata e Nanicao ao longo do amadurecimento: características físico-químicas e compostos voláteis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, 28(3), 649-658. 2008;

ONG, M. K.; ALI, A. Antifungal action of ozone against *Colletotrichum gloeosporioides* and control of papaya anthracnose. **Postharvest Biology and Technology**, 100,113–119. 2015;

ONG, M. K.; ALI, A.; ALDERSON, P. G.; FORNEY, C. F. Effect of different concentrations of ozone on physiological changes associated to gas exchange, fruit ripening, fruit surface quality and defence-related enzymes levels in papaya fruit during ambient storage. **Scientia Horticulturae**, 179, 163-169. 2014;

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**, 24, 39–48. 2002;

PINHEIRO, A. C. M.; BOAS, E. V. B. V.; MESQUITA, C. T. Ação do 1-metilciclopropeno (1-MCP) na vida de prateleira da banana 'maçã'. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP. 27, n. 1, p. 25-28, 2005;

RAKNESS, K. L. Ozone in Drinking Water Treatment - Process Design, Operation, and Optimization (1st Edition): American Water Works Association (AWWA) 2005;

ROBINSON, J. C.; SAÚCO, V. G. **Bananas and Plantains**. CABI, 2010 - Science - 311 páginas;

RIJFFNER, H. P.; HAWKW, J. S. Control of glycolysis in ripening berries of *Vitis vinifera*. **Phytochemistry**, 16, 1171-1175. 1977;

SALOMÃO, L. C. C.; SIQUEIRA, D. L. **Cultivo da bananeira**. Série Soluções. Editora UFV, 2015;

SAUTTER, C. K.; BRACKMANN, A.; ANESE, R. O.; WEBER, A.; Mara Regina RIZZATTI, M. R.; PAVANELLO, E. P. Controle da podridão-parda e características físico-químicas de pêssegos ‘Magnum’ submetidos a tratamentos pós-colheita com elicitores abióticos. **Revista Ceres**, 58, 172-177. 2011;

SINGH, B.; SINGH, J. P.; KAURB, A.; SINGH, N. Bioactive compounds in banana and their associated health benefits – A review. **Food Chemistry**, 206, 1–11. 2016;

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5ª edição. Editora Artmed, 2013;

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

ZHU, X.; SHEN, L.; FU, D.; SI, Z.; WU, B.; CHEN, W.; LI, X. Effects of the combination treatment of 1-MCP and ethylene on the ripening of harvested banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, 107, 23-32. 2015.