

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

FELIPE LIMA COELHO DOS SANTOS

**OZONIZAÇÃO DE GRÃOS DE ARROZ COM CASCA EM DIFERENTES
COMBINAÇÕES DE VAZÕES ESPECÍFICAS E ALTURA DA COLUNA:
PROCESSO DE SATURAÇÃO, CONTROLE DE *Sitophilus zeamais* E EFEITOS
NA QUALIDADE**

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2023

FELIPE LIMA COELHO DOS SANTOS

**OZONIZAÇÃO DE GRÃOS DE ARROZ COM CASCA EM DIFERENTES
COMBINAÇÕES DE VAZÕES ESPECÍFICAS E ALTURA DA COLUNA:
PROCESSO DE SATURAÇÃO, CONTROLE DE *Sitophilus zeamais* E EFEITOS
NA QUALIDADE**

Relatório final, apresentado a
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências para a obtenção do
título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

Orientador: Ernandes Rodrigues de
Alencar

Coorientadores: Marcus Vinícius de Assis
Silva
Eugênio da Piedade
Edmundo Siteo

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2023

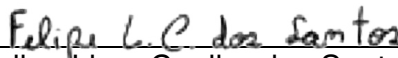
FELIPE LIMA COELHO DOS SANTOS

**OZONIZAÇÃO DE GRÃOS DE ARROZ COM CASCA EM DIFERENTES
COMBINAÇÕES DE VAZÕES ESPECÍFICAS E ALTURA DA COLUNA:
PROCESSO DE SATURAÇÃO, CONTROLE DE *Sitophilus zeamais* E EFEITOS
NA QUALIDADE**

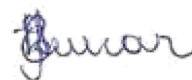
Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 04 de julho de 2023.

Assentimento:



Felipe Lima Coelho dos Santos
Autor



Ernandes Rodrigues de Alencar
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar, que sempre me conduziu com força e persistência ao longo desta jornada.

Aos meus pais, Fernanda Lima Coelho dos Santos e Gilmar Vieira dos Santos, que sempre fizeram esforços para que eu pudesse estudar.

Ao meu irmão, Matheus Lima Coelho dos Santos, que sempre esteve ao meu lado.

A minha namorada e especial companheira, que sempre me apoiou e esteve ao meu lado nessa jornada, nos momentos de alegria e tristeza.

Ao meu grande amigo, Vinícius Maciel da Costa, companheiro de república, pela ajuda em momentos de dúvida com as disciplinas e também pelas risadas ao longo desses anos. Aos demais amigos da Universidade, pelo companheirismo nas disciplinas.

Ao meu orientador, Ernandes Rodrigues de Alencar, pela dedicação, compreensão, apoio e amizade. Aos meus coorientadores, Marcus Vinícius de Assis Silva e Eugênio da Piedade Edmundo Siteo, pela enorme ajuda nos procedimentos técnicos em laboratório e amizade.

“O importante é não deixar de questionar. A curiosidade tem sua própria razão de existir. Não se pode deixar de nos maravilhar ao contemplar os mistérios da eternidade, da vida, da estrutura maravilhosa da realidade. tenta apenas compreender um pouco deste mistério todos os dias.” (Albert Einstein)

RESUMO

SANTOS, Felipe Lima Coelho dos, Universidade Federal de Viçosa, julho de 2023. **Ozonização de grãos de arroz com casca em diferentes combinações de vazões específicas e altura da coluna: processo de saturação, controle de *Sitophilus zeamais* e efeitos na qualidade.** Orientador: Ernandes Rodrigues de Alencar. Coorientadores: Marcus Vinícius de Assis Silva e Eugênio da Piedade Edmundo Siteo.

Dentro do sistema de produção do arroz, a pós-colheita necessita de atenção especial, pois nesta fase o custo agregado ao produto é o mais alto, devido aos gastos que já foram realizados no decorrer do processo de produção. Uma alternativa que tem se destacado para garantir a qualidade dos produtos no armazenamento é o uso do gás ozônio (O_3). Este tem sido efetivamente usado para controlar o crescimento de fungos, reduzir a contaminação de micotoxinas em grãos e cereais e também no controle de insetos-praga, conferindo diversas vantagens sobre os métodos tradicionais. Dessa forma, com o presente trabalho objetivou-se (i) descrever a cinética de saturação do O_3 em diferentes vazões específicas e alturas de coluna de grãos de arroz em casca; (ii) analisar a eficácia no controle de insetos de *Sitophilus zeamais* e (iii) analisar o efeito da ozonização na qualidade dos grãos. Foi utilizado um protótipo de 15 cm de diâmetro e 20 cm de altura, dotado de um plenum de tela metálica para permitir a passagem do gás e sustentação do produto. A concentração de entrada de O_3 utilizada foi de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, utilizando alturas de coluna de 18 cm e 9 cm nas vazões específicas de 0,5, 1,0, 1,5 e $2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$. Em todas as etapas o período de exposição do produto a ozonização foi de 8 horas, sendo a concentração residual de O_3 determinada em pequenos intervalos de tempo. Na avaliação de qualidade, foram considerados os parâmetros teor de água, condutividade elétrica e cor. Para o procedimento na altura de coluna de 18 cm e nas vazões específicas de 0,5; 1,0; 1,5 e $2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$, o tempo de saturação foi de 224,43, 148,01, 87,03 e 61,27 min, respectivamente. Já a concentração de saturação foi de 1,07, 1,67, 2,28 e $2,70 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Para o procedimento na altura de coluna de 9 cm e nas vazões específicas de 0,5; 1,0; 1,5 e $2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$, o tempo de saturação foi de 184,88, 114,84, 59,81 e 47,08 min, respectivamente. Já a concentração de saturação foi de 1,38, 2,28, 2,55 e $2,95 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Em todas as condições, houve mortalidade de pelo menos 95% dos insetos de *Sitophilus zeamais*. No que se refere as propriedades físicas dos grãos ozonizados, observou-se que as condições de

trabalho adotadas não provocaram alterações no teor de água e condutividade elétrica. Enquanto que na avaliação da cor, o tratamento provocou alteração apenas no parâmetro tonalidade de cor, quando se utilizou a altura de coluna de 9 cm combinado com as vazões específicas de 1,5 e 2,0 m³ min⁻¹ t⁻¹.

Palavras-chave: Ozônio. Cinética de decomposição. *Oryza sativa*.

ABSTRACT

SANTOS, Felipe Lima Coelho dos, Federal University of Viçosa, July 2023. **Ozonation of paddy rice grains in different combinations of specific flow rates and product column height: saturation process, *Sitophilus zeamais* control and effects on quality.** Adviser: Ernandes Rodrigues de Alencar. Marcus Vinícius de Assis Silva and Eugênio da Piedade Edmundo Siteo.

Within the rice production system, post-harvest needs special attention, as in this phase the added cost to the product is the highest, due to the expenses that have already been incurred during the production process. An alternative that has stood out to ensure the quality of products in storage is the use of ozone gas (O_3). This has been effectively used to control fungal growth, reduce mycotoxin contamination in grains and cereals and also to control insect pests, offering several advantages over traditional methods. Thus, the present work aimed to (i) describe the kinetics of O_3 saturation at different specific flows and column heights of paddy rice grains; (ii) analyze the effectiveness in controlling *Sitophilus zeamais* insects and (iii) analyze the effect of ozonation on grain quality. A prototype measuring 15 cm in diameter and 20 cm in height was used, equipped with a metallic mesh plenum to allow the passage of gas and support the product. The O_3 inlet concentration used was $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, using column heights of 18 cm and 9 cm at specific flows of 0,5; 1,0; 1,5 and $2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$. In all stages, the period of exposure of the product to ozonation was 8 hours, with the residual concentration of O_3 determined in small intervals of time. In the quality evaluation, the parameters water content, electrical conductivity and color were considered. For the procedure at a column height of 18 cm and specific flows of 0,5; 1,0; 1,5 and $2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$, the saturation time was 224,43; 148,01; 87,03 and 61,27 min, respectively. The saturation concentration was 1,07; 1,67; 2,28 and $2,70 \text{ mg L}^{-1}$, respectively. For the procedure at a column height of 9 cm and specific flows of 0,5; 1,0; 1,5 and $2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$, the saturation time was 184,88; 114,84; 59,81 and 47,08 min, respectively. The saturation concentration was 1,38; 2,28; 2,55 and $2,95 \text{ mg L}^{-1}$, respectively. In all conditions, there was mortality of at least 95% of the *Sitophilus zeamais* insects. With regard to the physical properties of ozonized grains, it was observed that the working conditions adopted did not cause changes in water content and electrical conductivity. While in the color evaluation, the treatment caused

alteration only in the color tonality parameter, when a column height of 9 cm was used combined with the specific flows of 1,5 and 2,0 m³ min⁻¹ t⁻¹

Keywords: Ozone. Decomposition kinetics. *Oryza sativa*.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1 Local do experimento.....	12
2.2 Grãos de arroz	12
2.3 Obtenção do gás ozônio	12
2.4 Processo de ozonização dos grãos de arroz	12
2.5 Processo de saturação do gás ozônio nos grãos de arroz.....	13
2.6 Eficácia do ozônio no controle de <i>Sitophilus zeamais</i>	14
2.7 Qualidade dos grãos de arroz em casca ozonizados	15
2.7.1 Teor de água.....	15
2.7.2 Condutividade elétrica.....	15
2.7.3 Cor.....	15
2.8 Análise estatística	16
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
3.1 Processo de saturação do gás ozônio nos grãos de arroz.....	17
3.2 Eficácia do ozônio no controle de <i>Sitophilus zeamais</i>	23
3.3 Qualidade dos grãos de arroz em casca ozonizados	25
3.3.1 Teor de água.....	25
3.3.2 Condutividade elétrica.....	26
3.3.3 Cor	27
4 CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS.....	30

1 INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa*) é o ingrediente considerado básico e o tipo de grão utilizado na alimentação de dois terços da população mundial (BURLANDO; CORNARA, 2014). É uma importante fonte de fibras, energia, minerais, proteínas, vitaminas, antioxidantes e outras biomoléculas que podem atuar em sinergia e trazer efeitos benéficos à saúde (GOUFO; TRINDADE, 2014). Segundo levantamento da CONAB (2022) referente à safra 2021/22, a produção nacional de grãos de arroz foi de 10,34 milhões de toneladas, sendo o estado do Rio Grande do Sul o maior produtor.

A qualidade do arroz no armazenamento depende de fatores como insetos-praga e microrganismos. Dentre os microrganismos, as infecções mais comuns são causadas por fungos (ALMAGUER et al., 2015). Os fungos afetam a germinação, causam descoloração, reduzem o peso dos grãos e podem produzir toxinas prejudiciais aos seres humanos (JAVAID et al., 2011). O ambiente de armazenagem, principalmente, é ideal para o desenvolvimento e estabelecimento de uma variedade de microrganismos, haja vista que uma das características de fungos é a alta capacidade de proliferação (MOLINIÉ et al., 2005).

Em relação a insetos-praga, o clima tropical do Brasil é determinante, uma vez que fornece um microclima propício à ocorrência e infestação destes, tendo em vista que a massa de grãos se encontra em abundância para o seu desenvolvimento (JIAN; JAYAS, 2012). Os danos ocasionados pelos insetos durante o armazenamento dos grãos podem ser comparáveis ou até mesmo maiores do que os causados pelas pragas que atacam as lavouras. No entanto, os danos sofridos pelas plantas em crescimento podem ser parcialmente compensados pelo aumento na produção das plantas não afetadas, enquanto os danos nos grãos armazenados são permanentes e irreparáveis (FONTES et al., 2003). Segundo OLIVEIRA et al. (2014), anualmente são perdidas aproximadamente 12,5 milhões de toneladas de grãos no Brasil por ataques de insetos-praga.

O controle de insetos-praga é realizado normalmente com inseticidas sintéticos de contato e fumigantes, principalmente a fosfina (PH₃) (LORINI et al., 2009). No entanto, dosagens mais altas estão sendo cada vez mais necessárias para um controle eficaz, devido ao desenvolvimento de resistência, o que pode implicar em sérios riscos aos seres humanos, uma vez que resíduos de inseticidas podem

permanecer nos grãos armazenados em níveis capazes de prejudicar à saúde (FREITAS et al., 2017). Nesse contexto, uma alternativa que tem se destacado para garantir a qualidade dos produtos é o uso do gás ozônio (O_3). Este tem sido efetivamente usado para controlar os fungos, reduzir a contaminação de micotoxinas em grãos e cereais e também no controle de insetos-praga, conferindo diversas vantagens sobre os métodos tradicionais (KELLS et al., 2001; TIWARI et al., 2010).

O gás ozônio inativa os microrganismos pela oxidação progressiva de componentes celulares, tais como as proteínas, ácidos graxos insaturados, implicando em rápida morte celular (HARDIN et al., 2010). Além disso, é um forte oxidante que altera a composição química de compostos inorgânicos, tais como agrotóxicos ou outros resíduos químicos, sendo também reconhecido internacionalmente como seguro, por não deixar resíduos (BORTOLOTTI, 2014). Diversos estudos já demonstraram que o ozônio gasoso reduz a população fúngica (MENDEZ et al., 2003; PINTO et al., 2007; SILVA, 2022) e contribui para o controle de insetos-praga (ROZADO et al., 2008; ABREU et al., 2022; SILVA, 2021).

Tendo em vista o contexto exposto, objetivou-se com esse trabalho caracterizar o processo de saturação do ozônio e determinar a eficácia do gás sobre *Sitophilus zeamais*, além de possíveis alterações na qualidade do arroz com casca, em diferentes combinações de vazão específica e altura da coluna de grãos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Pós-Colheita da Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, campus Viçosa.

2.2 Grãos de arroz

Foram utilizados grãos de arroz com casca, com teor de água de aproximadamente 13,0% base úmida (b.u.).

2.3 Obtenção do gás ozônio

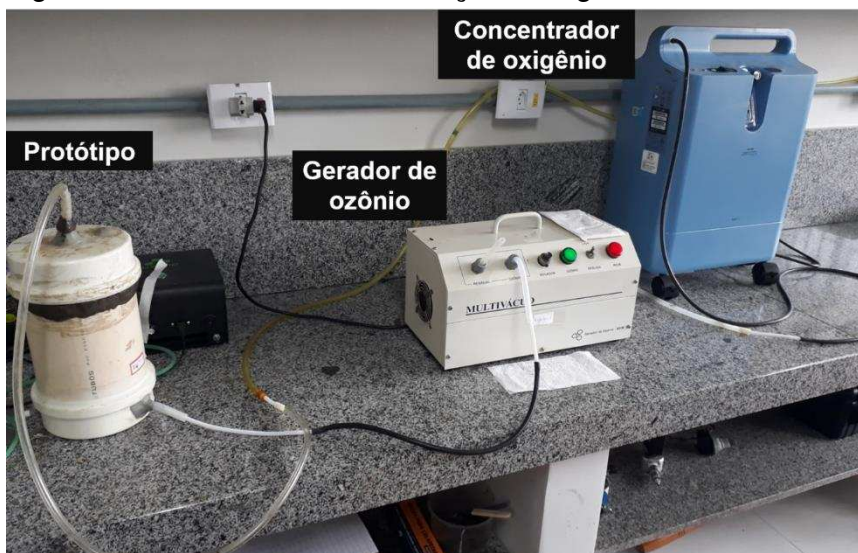
O ozônio foi obtido por meio de um gerador do tipo descarga carona, modelo M10i (myOzone, Jaguariúna, São Paulo, Brasil). O insumo para produção do gás foi fornecido por um concentrador de oxigênio modelo EverFlo (Philips Respironics, Murrysville, Pensilvânia, EUA). Para determinar as diferentes vazões volumétricas, foi utilizado um medidor de vazão modelo MF5700 (Siargo Ltd, Chengdu, Sichuan, China). Por fim, a concentração de ozônio foi determinada pelo método iodométrico (EATON, 2005).

2.4 Processo de ozonização dos grãos de arroz

O processo de ozonização (Figura 1) dos grãos de arroz foi realizado em protótipo de PVC, com altura de 20 cm e diâmetro de 15 cm, dotado de um “plenum” de tela metálica, com objetivo de sustentação dos grãos e permitir melhor distribuição do O_3 pelo produto. Foram adotadas duas alturas de camada de grãos, sendo de 9,0 e 18,0 cm. Para cada altura da coluna de grãos, foram adotadas as vazões específicas de $0,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$, $1,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$, $1,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ e $2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$. Todos os processos foram realizados com a concentração de entrada de ozônio de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, com tempo

de exposição ao gás de 8 horas. O tratamento controle foi feito com uso do oxigênio nas mesmas condições citadas anteriormente.

Figura 1 – Processo de ozonização dos grãos de arroz com casca



Fonte: Autor.

2.5 Processo de saturação do gás ozônio nos grãos de arroz

Durante o processo de ozonização dos grãos, a concentração residual do ozônio foi determinada em intervalos de tempo regulares. O tempo de saturação foi aquele a partir do qual a concentração residual de ozônio permaneceu constante. Para determinar o tempo de saturação, os valores de concentração residual do gás após a passagem pela massa de grãos foram ajustados a uma equação sigmoideal (Equação 1). O tempo de saturação foi calculado utilizando-se Equação 2 (VENEGAS et al., 1998).

$$C = \frac{a}{\left(1 + e^{-\left(\frac{t-b}{c}\right)}\right)} \quad (1)$$

$$t_{\text{sat}} = b + 2c \quad (2)$$

Em que:

C = Concentração de gás ozônio (mg/L);

t = Tempo (min);

t_{sat} = Tempo de saturação (min); e
 a, b, c = Constantes.

Em estudo feito VARNAMKHASTI et al. (2008), na qual foi investigado algumas propriedades físicas para grãos de arroz em casca, foi obtido o valor de 56,98% para a porosidade, sendo este adotado no presente trabalho. Dessa forma, tendo-se a área de seção transversal ao qual foi submetido o gás, vazão volumétrica e altura da coluna de grão, foi possível obter o tempo de residência do ozônio (Equação 3) (HARDIN et al., 2010). A massa de ozônio fornecida aos grãos foi determinada, utilizando-se a Equação 4 e o consumo do ozônio pela massa de grãos calculado pela Equação 5 (SILVA, 2022).

$$t_{\text{res}} = \frac{\varepsilon}{Q} A H \quad (3)$$

$$C_{O_3} = \int_0^t C_0 Q dt \quad (4)$$

$$C_{O_3 \text{ grãos}} = \int_0^t C_0 Q dt - \int_0^t \frac{a}{1 + e^{-\left(\frac{t-b}{c}\right)}} Q dt \quad (5)$$

Em que:

t_{res} = Tempo de residência (min);

ε = Porosidade dos grãos;

Q = Vazão volumétrica (L min⁻¹);

A = Área de seção transversal do fluxo do gás (m²);

H = Altura da camada de grãos (m);

C_{O_3} = Massa total de ozônio fornecida aos grãos (g); e

$C_{O_3 \text{ grãos}}$ = Consumo de ozônio pela massa de grãos (g).

2.6 Eficácia do ozônio no controle de *Sitophilus zeamais*

Os insetos utilizados no experimento foram criados em recipientes de vidro de 3 L contendo grãos de milho como substrato alimentar, em temperatura de 30 °C. Nas diferentes combinações de altura da coluna de grãos e vazão específica, foram

distribuídas três gaiolas na coluna de grãos, contendo 20 insetos adultos de *S. zeamais* cada. Estas gaiolas foram feitas de PVC e revestidas com tecido organza, para permitir a passagem do ozônio nas direções radial e axial. A contagem de insetos vivos e mortos foi realizada 24 horas depois da ozonização.

2.7 Qualidade dos grãos de arroz em casca ozonizados

Na avaliação da qualidade dos grãos de arroz após o tratamento com ozônio, foram determinados o teor de água, a condutividade elétrica e a cor. Todas as amostras foram previamente armazenadas em sacos plásticos, na temperatura de 2 °C e umidade relativa de 70% até o momento das análises.

2.7.1 Teor de água

A determinação do teor de água foi realizada seguindo o método padrão descrito pela *American Society of Agricultural and Biological Engineers* (ASABE, 2013), em estufa com circulação forçada de ar, a $103 \pm 1^\circ\text{C}$, por um período de 72 horas.

2.7.2 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica foi determinada seguindo-se a metodologia proposta por Vieira et al. (2001). Amostras de 50 grãos foram pesadas e colocadas em recipientes plásticos contendo 75 mL de água destilada, em duplicata. As amostras permaneceram em câmara climática tipo BOD a 25 °C, por 24 horas. Foi realizada a leitura da condutividade elétrica da solução de imersão em condutivímetro modelo MCA-150 (Tecnopon, Piracicaba, São Paulo, Brasil).

2.7.3 Cor

A avaliação da cor dos grãos de arroz em casca foi realizada por meio da leitura das coordenadas L^* (intensidade de branco e preto), a^* (intensidade de vermelho a verde), e b^* (intensidade de amarelo a azul). Foi utilizado um colorímetro modelo CR410 (Konica, Minolta, Osaka, Japão). Após obtidos os valores de L^* , a^* e b^* , foram

calculadas a saturação de cor ou *chroma* (Equação 6), a tonalidade de cor ou *hue angle* (Equação 7) e a diferença total de cor (Equação 8) (MASKAN, 2001).

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (6)$$

$$h^* = \arctg\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad (7)$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (8)$$

Em que:

C^* = Saturação de cor;

a^* = Coordenadas de cores do vermelho ao verde;

b^* = Coordenadas de cores do amarelo ao azul;

L^* = Coordenadas de cores do branco ao preto;

h^* = Tonalidade de cor;

ΔE = Diferença total de cor;

Sendo L_0^* , a_0^* e b_0^* coordenadas obtidas sem a exposição dos grãos ao tratamento com ozônio.

2.8 Análise estatística

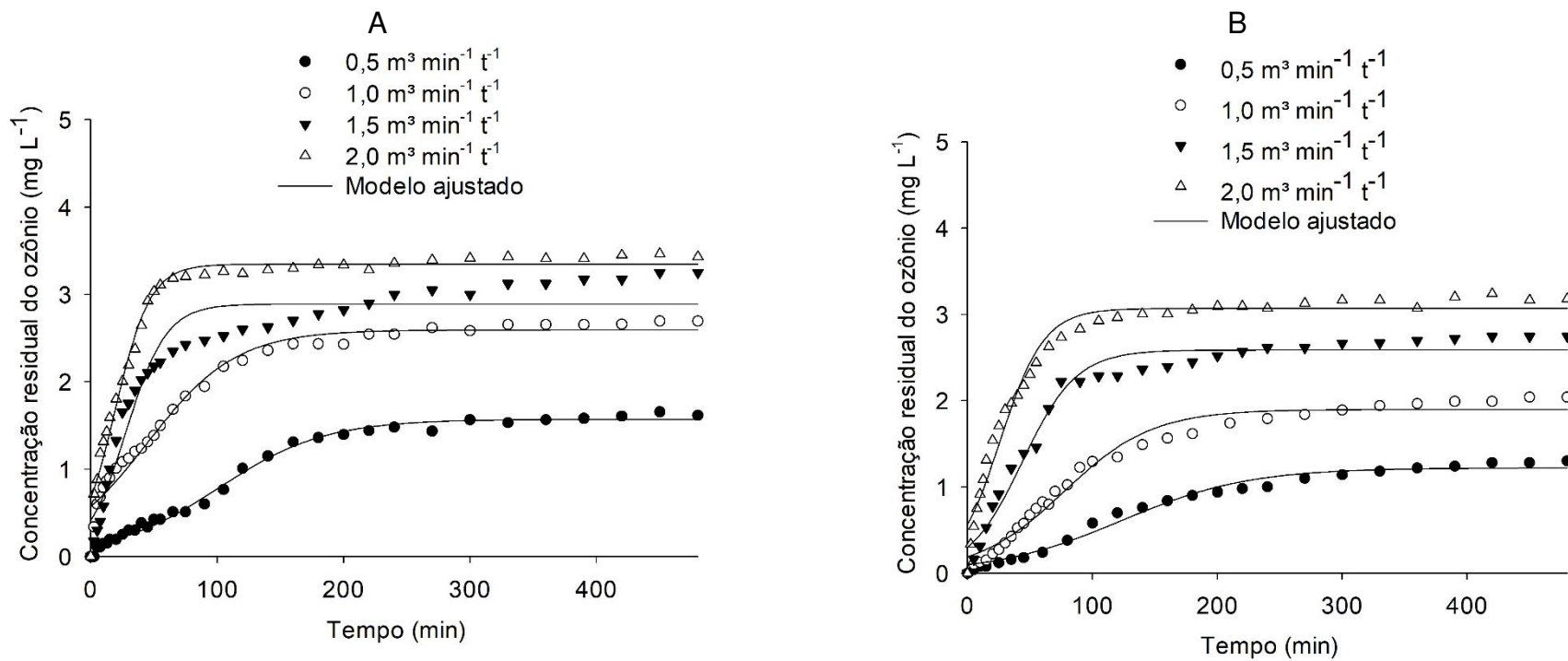
O experimento foi realizado em Delineamento Inteiramente Casualizado, com três repetições. Os dados obtidos de concentração residual de ozônio para todas as combinações de vazões específicas e altura da coluna de grãos foram submetidos à análise de regressão pelo *software* SigmaPlot, versão 12.0. Quanto aos dados referentes ao efeito do gás ozônio sobre *Sitophilus zeamais* e na qualidade dos grãos, realizou-se análise de variância a 5% de probabilidade e, posteriormente, teste de Tukey, utilizando-se o *software* StatPlus, versão 7.0.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Processo de saturação do gás ozônio nos grãos de arroz

Apresenta-se na Figura 2 (A e B), a variação da concentração residual do ozônio em função do tempo de exposição para grãos de arroz com casca, nas alturas de coluna de 9 e 18 cm, com concentração de entrada de O₃ de 5,0 mg L⁻¹ e vazões específicas de 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 m³ min⁻¹ t⁻¹. Na Tabela 1, tem-se as equações ajustadas que descrevem o processo de ozonização dos grãos de arroz em casca, nas alturas da coluna de grãos de 9 e 18 cm.

Figura 2 – Concentração residual do ozônio em função do tempo, no processo de saturação do arroz, nas alturas de coluna de 9 cm (A) e 18 cm (B), para concentração de entrada do gás de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, aplicado nas vazões específicas de $0,5$; $1,0$; $1,5$ e $2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$



Fonte: Autor.

Tabela 1 - Equações de regressão ajustadas por meio da concentração residual de ozônio no processo de saturação dos grãos de arroz nas alturas de coluna de produto de 9 e 18 cm, para concentração de entrada do gás de 5,0 mg L⁻¹ e nas vazões específicas de 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 m³ min⁻¹ t⁻¹

Vazão específica (m ³ min ⁻¹ t ⁻¹)	Equações ajustadas	t _{res} (s)	t _{sat} (min)	C _{sat} (mg L ⁻¹)	C _{O₃} (g)	R ²	SEE
9 cm							
0,5	$C = \frac{1,57}{\left(1 + e^{-\left(\frac{t-100,93}{41,98}\right)}\right)}$	120,82	184,88	1,38	1,08	0,99	0,06
1,0	$C = \frac{2,59}{\left(1 + e^{-\left(\frac{t-44,51}{35,17}\right)}\right)}$	60,41	114,84	2,28	2,16	0,97	0,14
1,5	$C = \frac{2,89}{\left(1 + e^{-\left(\frac{t-28,27}{15,77}\right)}\right)}$	40,27	59,81	2,55	3,24	0,94	0,25
2,0	$C = \frac{3,35}{\left(1 + e^{-\left(\frac{t-19,29}{13,89}\right)}\right)}$	30,21	47,08	2,95	4,32	0,97	0,15
18 cm							
0,5	$C = \frac{1,22}{\left(1 + e^{-\left(\frac{t-123,12}{50,66}\right)}\right)}$	120,82	224,43	1,07	2,16	0,98	0,06
1,0	$C = \frac{1,90}{\left(1 + e^{-\left(\frac{t-77,37}{35,32}\right)}\right)}$	60,41	148,01	1,67	4,32	0,98	0,11
1,5	$C = \frac{2,59}{\left(1 + e^{-\left(\frac{t-43,87}{21,58}\right)}\right)}$	40,27	87,03	2,28	6,48	0,97	0,15
2,0	$C = \frac{3,07}{\left(1 + e^{-\left(\frac{t-26,13}{17,57}\right)}\right)}$	30,21	61,27	2,70	8,64	0,97	0,17

t_{res} – Tempo de residência do ozônio; t_{sat} – Tempo de saturação do ozônio; C_{sat} – Concentração de saturação do ozônio; C_{O₃} - Massa total de ozônio fornecida aos grãos; R² - Coeficiente de determinação; SEE – Erro padrão da estimativa.

Fonte: Autor.

No que se refere à altura de coluna de grãos de 9 cm, tem-se na Figura 2A, a concentração residual do ozônio em função do tempo de exposição dos grãos, respectivamente, para as vazões específicas de 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 $\text{m}^3 \text{min}^{-1} \text{t}^{-1}$ e concentração de entrada de O_3 de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$. Quando adotada a vazão específica de $0,5 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \text{t}^{-1}$, o tempo de residência, a massa total de ozônio fornecida aos grãos, o tempo e concentração de saturação foram de 120,82 s, 1,08 g, 184,88 min e $1,38 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente (Tabela 1). Na vazão específica de $1,0 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \text{t}^{-1}$, o tempo de residência, a massa total de ozônio fornecida aos grãos, o tempo e concentração de saturação foram de 60,41 s, 2,16 g, 114,84 min e $2,28 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Para a vazão específica de $1,5 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \text{t}^{-1}$, o tempo de residência, a massa total de ozônio fornecida aos grãos, o tempo e concentração de saturação foram de 40,27 s, 3,24 g, 59,81 min e $2,55 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. E na vazão específica de $2,0 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \text{t}^{-1}$, o tempo de residência, a massa total de ozônio fornecida aos grãos, o tempo e concentração de saturação foram de 30,21 s, 4,32 g, 47,08 min e $2,95 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Dessa forma, verificou-se que à medida que se elevou a vazão específica, houve redução dos tempos de residência e de saturação e aumento da concentração de saturação no meio poroso.

Tendência similar de comportamento do gás foi observada quando se adotou a altura da coluna de grãos de 18 cm (Figuras 2B). Para vazão específica de $0,5 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \text{t}^{-1}$, o tempo de residência, a massa total de ozônio fornecida aos grãos, o tempo e concentração de saturação foram de 120,82 s, 2,16 g, 224,43 min e $1,07 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente (Tabela 1). Na vazão específica de $1,0 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \text{t}^{-1}$, o tempo de residência, a massa total de ozônio fornecida aos grãos, o tempo e concentração de saturação foram de 60,41 s, 4,32 g, 148,01 min e $1,67 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. Quando se adotou vazão específica de $1,5 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \text{t}^{-1}$, o tempo de residência, a massa total de ozônio fornecida aos grãos, o tempo e concentração de saturação foram de 40,27 s, 6,48 g, 87,03 min e $2,28 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. E na vazão específica de $2,0 \text{ m}^3 \text{min}^{-1} \text{t}^{-1}$, o tempo de residência, a massa total de ozônio fornecida aos grãos, o tempo e concentração de saturação foram de 30,21 s, 8,64 g, 61,27 min e $2,70 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

Os resultados obtidos no presente estudo seguem a tendência de comportamento da cinética de saturação em grãos com uso do gás ozônio já observadas em outras investigações científicas (HARDIN et al., 2010; ALENCAR et al., 2016; SILVA et al., 2019). É possível observar que o fluxo de ozônio através da

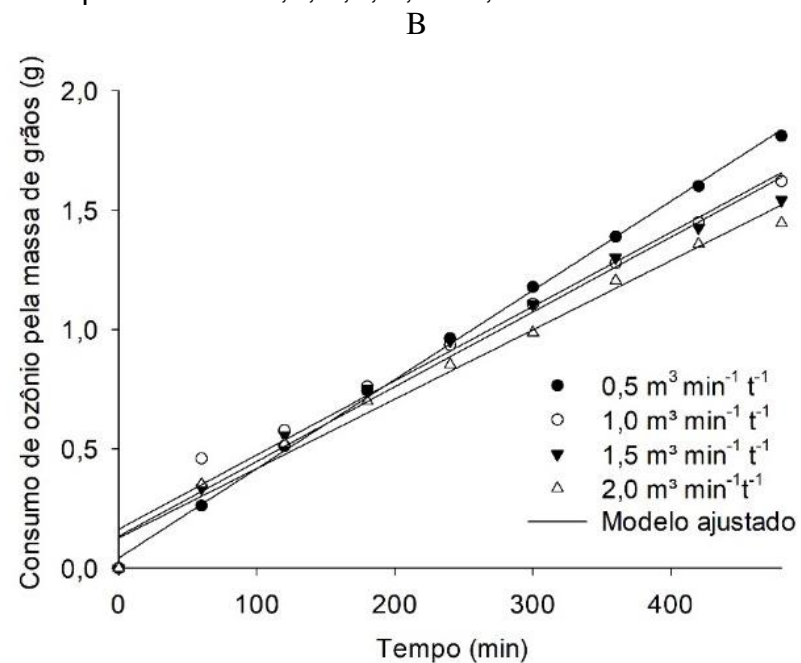
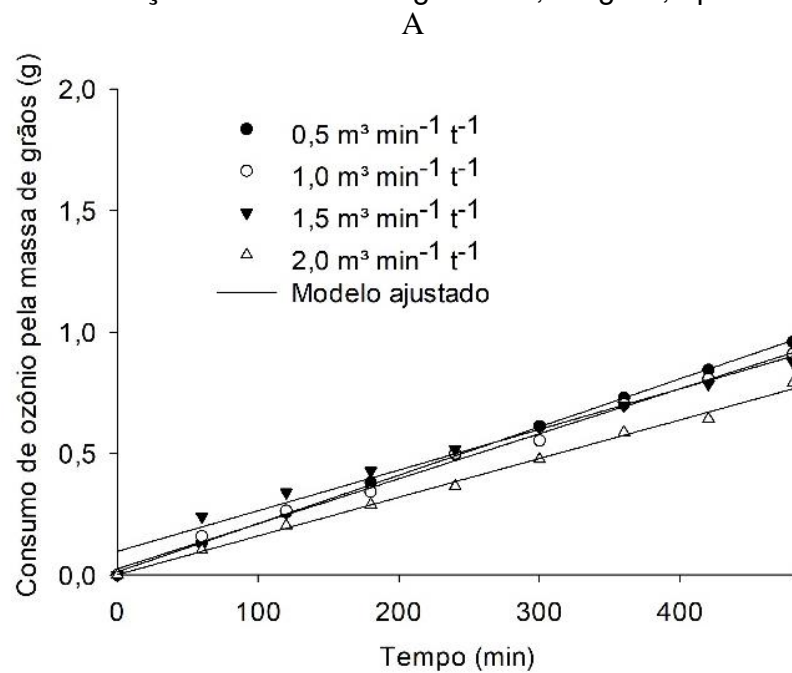
massa de grãos apresenta duas fases. Na primeira fase, a concentração de ozônio é rapidamente reduzida à medida que passa através do produto porque o grão possui em sua superfície sítios quimicamente ativos, que fazem com que o ozônio seja consumido. A exposição ao ozônio degrada gradualmente esses locais ativos, até que a segunda fase seja iniciada. Nessa fase, o gás ozônio se move através da coluna de grãos com uma taxa constante e menor decomposição (KELLS et al., 2001).

No presente trabalho, verificou-se que à medida que se aumenta a coluna de grãos, obtém-se um aumento do tempo de saturação do gás, sendo comportamento similar observado por ALENCAR et al. (2016), que ozonizaram grãos de amendoim nas alturas de coluna de produto de 0,25, 0,50 e 0,75 m. Além disso, ao utilizar vazões específicas maiores, o tempo de saturação é menor. No entanto, a demanda por oxigênio é maior para conseguir suprir a produção de ozônio, o que pode implicar em maiores custos, ao passo que utilizar menores valores de vazão específica, resulta em tempo de saturação da massa de grãos maior.

Ressalta-se ainda que em todas as combinações de altura da coluna de grãos pela vazão específica utilizada, a concentração de saturação do ozônio é menor que a concentração de entrada. Na ozonização com altura de coluna de produto de 9 cm, a adoção de vazão de $2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ implicou em concentração de saturação de 2,95 mg/L, sendo 1,7 vezes menor que a concentração de entrada (5,0 mg/L). Dessa forma, é evidente que a degradação do ozônio ocorre ao longo da coluna, influenciando a concentração de saída do gás (STRAIT, 1998).

O consumo de ozônio pela massa de grãos em função do tempo de exposição, para as alturas da coluna de grãos de 9 e 18 cm, é apresentado na Figura 3 (A e B). Na Tabela 2, são apresentadas as equações ajustadas para consumo de O_3 pelos grãos de arroz em casca, nas alturas da coluna de grãos de 9 e 18 cm. A massa total de ozônio fornecida aos grãos e do consumo de ozônio pela massa de grãos permite também mostrar a influência das diferentes vazões específicas utilizadas no tratamento. Na altura de coluna de produto de 18 cm, a vazão de $2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ contribuiu com uma massa total de ozônio injetada de 8,64 g, sendo 4 vezes maior àquela injetada pela vazão de $0,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ (Tabela 1). Contudo, o consumo de O_3 pelos grãos apresentou comportamento inverso. Na vazão de $0,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$, verificou-se maior consumo de ozônio pela massa de grãos quando comparado à vazão de $2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$ (Figura 3B). O mesmo comportamento foi observado para o tratamento na altura de coluna de produto de 9 cm (Figura 3A).

Figura 3 – Consumo de ozônio pela massa de grãos em função do tempo, nas alturas da coluna de produto de 9 cm (A) e 18 cm (B), para concentração de entrada do gás de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, aplicado nas vazões específicas de $0,5$; $1,0$; $1,5$ e $2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$



Fonte: Autor.

Tabela 2 - Equações de regressão ajustadas por meio da relação de consumo de ozônio pela massa de grãos de arroz e o tempo de exposição do produto nas alturas de coluna de 9 cm e 18 cm e nas vazões específicas de 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 m³ min⁻¹ t⁻¹ para concentração de entrada do gás de 5,0 mg L⁻¹

Vazão específica (m ³ min ⁻¹ t ⁻¹)	Equações ajustadas	R ²	SEE
9 cm			
0,5	$C_{O_3 \text{ grãos}} = 0,013 + 0,002t$	0,99	0,008
1,0	$C_{O_3 \text{ grãos}} = 0,056 + 0,003t$	0,99	0,015
1,5	$C_{O_3 \text{ grãos}} = 0,097 + 0,002t$	0,97	0,047
2,0	$C_{O_3 \text{ grãos}} = 0,002 + 0,002t$	0,99	0,017
18 cm			
0,5	$C_{O_3 \text{ grãos}} = 0,043 + 0,004t$	0,99	0,03
1,0	$C_{O_3 \text{ grãos}} = 0,016 + 0,003t$	0,98	0,08
1,5	$C_{O_3 \text{ grãos}} = 0,134 + 0,003t$	0,98	0,08
2,0	$C_{O_3 \text{ grãos}} = 0,127 + 0,003t$	0,98	0,06

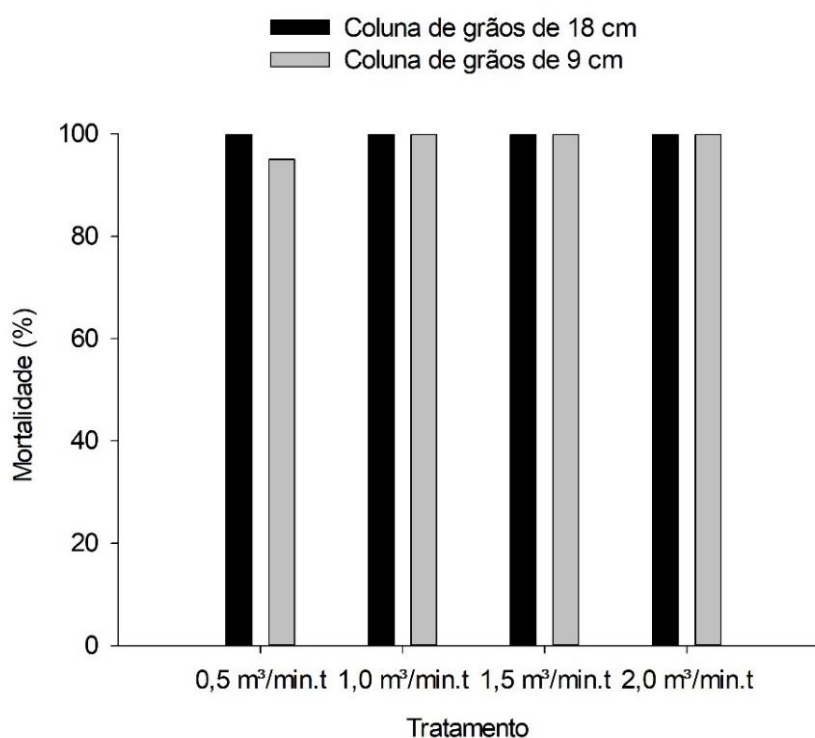
$C_{O_3 \text{ grãos}}$ = consumo de ozônio pela massa de grãos de arroz; R² - Coeficiente de determinação; SEE – Erro padrão da estimativa

Fonte: Autor.

3.2 Eficácia do ozônio no controle de *Sitophilus zeamais*

No presente estudo, quando se variou a altura da coluna de grãos ou a vazão específica, o gás ozônio foi eficiente no controle de insetos de *Sitophilus zeamais*, com mortalidade de 95% na combinação altura de coluna de grãos de 9 cm e vazão específica de 0,5 m³ min⁻¹ t⁻¹ (Figura 4). Nas demais combinações de altura de coluna de grãos e vazão específica, a mortalidade observada foi de 100% (Figura 4).

Figura 4 - Mortalidade de *Sitophilus zeamais* em decorrência da exposição ao ozônio em grãos de arroz em diferentes combinações de altura de coluna de grãos e vazão específica, para concentração de entrada do gás de 5,0 mg L⁻¹



Fonte: Autor.

Os resultados obtidos no presente estudo sobre a mortalidade de *S. zeamais* estão em concordância com aqueles obtidos por outros autores (KELLS et al., 2001; SILVA et al., 2019; ABREU et al., 2022; SRIVASTAVA et al., 2021). Dessa forma, o presente estudo contribui para uma confirmação adicional na eficácia do ozônio para controle de insetos-praga em grãos de arroz armazenados. SILVA et al. (2019), ao testar concentração de 4,5 mg/L de O₃ no tratamento com grãos de milho de pipoca, verificaram mortalidade de *S. zeamais* de 100%, após um período de exposição de 10 h.

Os insetos, de modo geral, são caracterizados por terem uma alta capacidade reprodutiva, e pela habilidade de atacar e causar danos em um grande número de hospedeiros (FONTES et al., 2003). A espécie *Sitophilus zeamais* é comum nas regiões quentes e tropicais do mundo e são pragas primárias de arroz armazenado (FONTES et al., 2003).

3.3 Qualidade dos grãos de arroz em casca ozonizados

3.3.1 Teor de água

Os resultados obtidos para o teor de água dos grãos são apresentados na Tabela 3, na qual pode-se observar que os valores permaneceram na faixa entre 13,10% e 13,80%. Para todas as condições estabelecidas do experimento, o processo de ozonização não alterou o teor de água dos grãos de arroz.

Tabela 3 - Valores médios do teor de água dos grãos de arroz submetidos a diferentes combinações de vazão específica do gás e de altura da coluna de produto

Tratamento	Teor de água (% b.u.)
Testemunha	13,31 ± 0,20
0,5 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 18 cm	13,47 ± 0,20
1,0 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 18 cm	13,78 ± 0,20
1,5 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 18 cm	13,10 ± 0,20
2,0 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 18 cm	13,13 ± 0,20
0,5 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 9 cm	13,51 ± 0,20
1,0 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 9 cm	13,39 ± 0,20
1,5 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 9 cm	13,37 ± 0,20
2,0 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 9 cm	13,21 ± 0,20

* Diferença significativa pela análise de variância a 5% de probabilidade, quando comparado à testemunha

Fonte: Autor.

Em estudo desenvolvido por SILVA (2015), em que foi feito tratamento com gás ozônio em grãos de arroz, utilizou-se uma solução saturada de Cloreto de Sódio (75% de UR) para reumidificação do gás. Dessa forma, foi possível manter a umidade relativa em torno de 75%, com objetivo de evitar a perda de água nos grãos. No presente estudo, não foi realizado ajuste da umidade relativa. Apesar disso, não houve redução do teor de água nos grãos, mesmo em vazões específicas iguais ou superiores a 1,0 m³ min⁻¹ t⁻¹, que são empregadas em secagem de grãos a baixa temperatura (PANIGRAHI et al., 2021). Possível razão para a não alteração dos valores do teor de água, é o baixo tempo de exposição dos grãos ao tratamento, tendo

em vista que para uma secagem a baixa temperatura, o tempo de secagem pode durar de 15 a 30 dias (PANIGRAHI et al., 2021).

3.3.2 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica dos grãos de arroz não foi influenciada significativamente quando eles foram expostos ao tratamento com gás ozônio, considerando-se todas as combinações de vazão específica (0,5, 1,0 1,5 e 2,0 m³ min⁻¹ t⁻¹) e altura da coluna de produto (18 e 9 cm). Foram obtidos os valores médios na faixa entre 3,45 e 4,40 μS cm⁻¹ g⁻¹ (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores médios da condutividade elétrica dos grãos de arroz submetidos a diferentes combinações de vazão específica do gás e de altura da coluna de produto

Tratamento	Condutividade elétrica (μS cm⁻¹ g⁻¹)
Testemunha	3,75 ± 0,28
0,5 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 18 cm	3,48 ± 0,28
1,0 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 18 cm	3,73 ± 0,28
1,5 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 18 cm	3,70 ± 0,28
2,0 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 18 cm	4,03 ± 0,28
0,5 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 9 cm	4,35 ± 0,28
1,0 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 9 cm	3,91 ± 0,28
1,5 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 9 cm	4,15 ± 0,28
2,0 m ³ min ⁻¹ t ⁻¹ x 9 cm	4,29 ± 0,28

* Diferença significativa pela análise de variância a 5% de probabilidade, quando comparado à testemunha

Fonte: Autor.

A condutividade elétrica se fundamenta na liberação de íons, açúcares e outros metabólitos pelos grãos imersos em água. Esta característica é afetada pela integridade das membranas celulares, que varia conforme o grau de deterioração dos grãos (FESSEL et al., 2006). Dessa forma, um aumento nos valores de condutividade elétrica após o tratamento com ozônio indicaria piora na integridade física dos grãos.

No presente estudo, as condições adotadas no tratamento com gás ozônio não foram suficientes para provocar alteração nos valores de condutividade elétrica. Entretanto, essa variável tem se mostrado sensível em tratamento com ozônio em

grãos de amendoim, milho de pipoca e feijão (SÁNCHEZ et al., 2016; SILVA et al, 2019; SALVADOR, 2022). Uma possível explicação é que a concentração de entrada do ozônio ($5,0 \text{ mg L}^{-1}$) e tempo de exposição (8 h) foram baixos. Em estudo desenvolvido por SILVA et al. (2019) verificou-se aumento linear da condutividade elétrica no tratamento com ozônio em grãos de milho de pipoca. No entanto, para o presente estudo, os grãos de arroz em casca não foram afetados ao tratamento com gás ozônio, nas condições adotadas. Dessa forma, estudos futuros devem ser realizados utilizando maiores concentrações de entrada e tempo de exposição ao gás.

3.3.3 Cor

Em relação à cor dos grãos de arroz, a utilização do ozônio não promoveu alterações significativas na tonalidade de cor (h^*) e saturação de cor (C^*), quando se utilizou a altura de coluna de grãos de 18 cm combinado com qualquer vazão específica ($0,5, 1,0, 1,5$ e $2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$) (Tabela 5). Resultado semelhante também foi encontrado por SILVA (2015), que avaliou a cor dos grãos de arroz em casca expostos ao tratamento com ozônio na concentração de $2,14 \text{ mg/L}$.

Tabela 5 - Valores de saturação de cor (C^*), tonalidade de cor (h^*) e diferença total de cor (ΔE^*) dos grãos de arroz submetidos a diferentes combinações de vazão específica do gás e de altura da coluna de produto

Tratamento	C^*	h^*	ΔE^*
Testemunha	$19,51 \pm 0,66$	$72,12 \pm 1,32$	-
$0,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1} \times 18 \text{ cm}$	$19,96 \pm 0,66$	$73,24 \pm 1,32$	$4,08 \pm 0,80$
$1,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1} \times 18 \text{ cm}$	$20,88 \pm 0,66$	$73,17 \pm 1,32$	$2,45 \pm 0,80$
$1,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1} \times 18 \text{ cm}$	$19,52 \pm 0,66$	$73,07 \pm 1,32$	$4,56 \pm 0,80$
$2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1} \times 18 \text{ cm}$	$19,81 \pm 0,66$	$72,60 \pm 1,32$	$2,80 \pm 0,80$
$0,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1} \times 9 \text{ cm}$	$21,19 \pm 0,66$	$72,74 \pm 1,32$	$4,43 \pm 0,80$
$1,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1} \times 9 \text{ cm}$	$20,87 \pm 0,66$	$71,79 \pm 1,32$	$3,39 \pm 0,80$
$1,5 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1} \times 9 \text{ cm}$	$21,03 \pm 0,66$	$75,74^* \pm 1,32$	$4,17 \pm 0,80$
$2,0 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1} \times 9 \text{ cm}$	$19,69 \pm 0,66$	$75,56^* \pm 1,32$	$4,74 \pm 0,80$

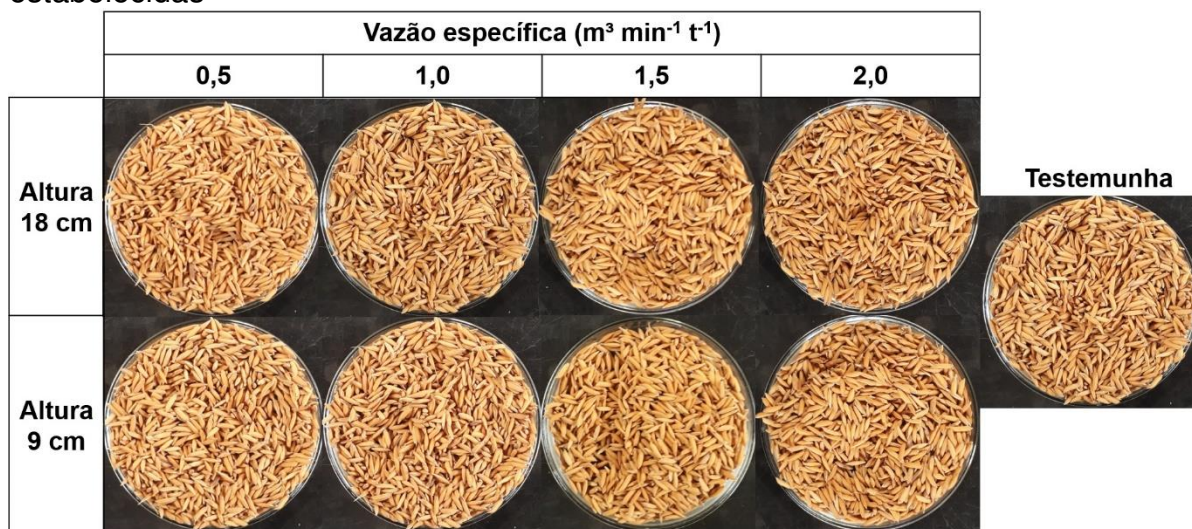
* Diferença significativa pela análise de variância a 5% de probabilidade, quando comparado à testemunha

Fonte: Autor.

Quando se adotou a altura de coluna de 9 cm, houve alteração significativa apenas no parâmetro tonalidade de cor (h^*), ao utilizar as vazões específicas de 1,5 e 2,0 $\text{m}^3 \text{min}^{-1} \text{t}^{-1}$ (Tabela 5).

Durante o processo de comercialização de um produto e em pesquisas científicas, a cor é uma das propriedades físicas que recebe maior destaque e é frequentemente empregada como um indicador de qualidade (TEIXEIRA, 2009). Alterações expressivas na cor de produtos agrícolas em decorrência da aplicação de diferentes métodos de conservação podem acarretar à rejeição do produto pelas indústrias de processamento e beneficiamento. No presente estudo, apesar da diferença apontada pelos testes na tonalidade de cor, não há uma diferença visualmente falando. O aspecto visual dos grãos de arroz obtido a partir de grãos ozonizados e testemunha, é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Grãos de arroz com casca expostos ao ozônio para todas as condições estabelecidas



Fonte: Autor.

4 CONCLUSÃO

Com este estudo foi possível observar que diferentes vazões específicas e altura da coluna influenciam o processo de saturação durante a ozonização de grãos de arroz em casca. O processo de saturação foi mais lento quando utilizado menor vazão específica em ambas as alturas de coluna do produto. Além disso, uma maior vazão específica resultou em maiores valores de concentração de saturação do ozônio e menor tempo de saturação. No que se refere ao controle de insetos de *Sitophilus zeamais*, ficou evidente que a injeção do gás foi eficiente em todas as condições do experimento, apresentando uma mortalidade igual ou superior 95%. O tratamento com ozônio em qualquer condição adotada, não provocou alterações no teor de água e condutividade elétrica. Enquanto na cor, foi observado alteração apenas na tonalidade de cor, quando se utilizou as vazões específicas de 1,5 e 2,0 $\text{m}^3 \text{min}^{-1} \text{t}^{-1}$ na altura de 9 cm.

REFERÊNCIAS

- ABREU et al. O. **Ozone as an alternative fumigant for controlling *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Chrysomelidae) in cowpea beans.** *Journal of Stored Products Research*, v. 27, 2022.
- ALENCAR, E.R.; ROBERTO, M.A.; FERREIRA, W.F.S.; MENDONÇA, M.A.; ALVES, H. Ozone saturation in a column containing peanut kernels and the effect on quality. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 19, 2016.
- ALMAGUER, M.; AIRA, M. J.; RAJO, F. J. R.; GONZALEZ, M. F.; FLORES, T. I. R. Thirty-four identifiable airborne fungal spores in Havana, Cuba. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 22, n. 2, p. 215–220, 2015.
- BORTOLOTTI, G. D. S. **Estratégias de controle e descontaminação do trigo em grãos (*Triticum aestivum* L.) com relação a fungos, micotoxinas e agrotóxicos utilizando compostos químicos e ozônio gasoso.** Tese (Doutorado) – Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.
- BURLANDO, B.; CORNARA, L. Therapeutic properties of rice constituents and derivatives (*Oryza sativa* L.): A review update. **Trends in Food Science & Technology**, v. 40, n. 1, p. 82–98, 2014.
- CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Boletim da safra de grãos.** Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 04 de julho de 2023.
- CORRÊA, P.C.; GONELI, A.L.D.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D.M. Obtenção e modelagem das isotermas de dessecção e do calor isotérmico de dessecção para grãos de trigo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 39-48, 2005.
- EATON, A. D. **Standart ethods for the examination of water and wastewater.** 21. ed. 2005.
- FESSEL, S. A., VIEIRA, R. D., CRUZ, M. C. P. D., PAULA, R. C. D., & Panobianco, M. Electrical conductivity testing of corn seeds as influenced by temperature and period of storage. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1551-1559, 2006.
- FONTES, L. S.; ALMEIDA FILHO, A.J.; ARTHUR, V. Danos causados por *Sitophilus oryzae* (Linné, 1763) e *Sitophilus zeamais* Motschulsky, 1855 (Coleoptera: Curculionidae) em cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.). **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 70, n. 3, p. 303-307, 2003.
- FREITAS, R. S.; FARONI, L. R. D.; QUEIROZ, M. E. L. R.; HELENO, F. F.; PRATES, L. H. F. Degradation kinetics of pirimiphos-methyl residues in maize grains exposed to ozone gas. **Journal of Stored Products Research**, v. 74, p. 1–5, 2017.

GOUFO, P.; TRINDADE, H. Rice antioxidants: Phenolic acids, flavonoids, anthocyanins, proanthocyanidins, tocopherols, tocotrienols, c-oryzanol, and phytic acid. **Food Science and Nutrition**, v. 2, n. 2, p. 75–104, 2014.

HARDIN, J. A.; JONES, C. L.; BONJOUR, E. L.; NOYES, R. T.; BEEBY, R. L.; ELTISTE, D. A.; DECKER, S. Ozone fumigation of stored grain; closed-loop recirculation and the rate of ozone consumption. **Journal of Stored Products Research**, v. 46, n. 3, p. 149–154, 2010.

JAVAID, A.; BUTT, A. R.; YASEEN, S. I. Seed-borne mycoflora of stored rice grains and its chemical control. **The Journal of Animal and Plant Sciences**, v. 21, n. 2, p. 193-196, 2011.

JIAN, F.; JAYAS, D. S. The Ecosystem Approach to Grain Storage. **Agricultural Research**, v. 1, p. 148-156, 2012.

KELLS, S. A.; MASON, L. J.; MAIER, D. E.; WOLOSHUK, C. P. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. **Journal of Stored Products Research**, v. 37, p. 371-382, 2001.

LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F. C.; NETO, J. B. F.; HENNING, A. A. Principais pragas e métodos de controle em sementes durante o armazenamento. **Informativo ABRATES**, v. 19, n. 1, p. 21-28, 2009.

MASKAN, M. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. **Journal of food engineering**, v. 48, n. 2, p. 169-175, 2001.

MENDEZ, F.; MAIER, D.; MASON, L.; WOLOSHUK, C. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and processing performance. **Journal of Stored Products Research**, v. 39, n. 1, p. 33-44, 2003.

MOLINIÉ, A.; FAUCET, V.; CASTEGNARO, M.; LESZKOWICZ, A. P. Analysis of some breakfast cereals on the French market for their contents of ochratoxin A, citrinin and fumonisin B1: Development of a method for simultaneous extraction of ochratoxin A and citrinin. **Food Chemistry**, v. 92, n. 3, p. 391-400, 2005.

OLIVEIRA, C. M. et al. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, v. 56, p. 50-54, 2014.

PANIGRAHI, S. S., SINGH, C. B., & FIELKE, J. Strategies to mitigate dead-zones in on-farm stored grain silos fitted with aeration ducting modelled using computational fluid dynamics. **Biosystems Engineering**, v. 205, p. 93-104, 2021.

PINTO, A. T.; SCHMIDT, V.; RAIMUNDO, S. A.; RAIHMER, F. Uso de ozônio no controle de fungos em sala de maturação de queijos. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 35, n. 3, p. 333-337, 2007.

ROZADO, A. F.; FARONI, L. R. A.; URRUCHI, W. M. I.; GUEDES, R. N. C.; PAES, J. L. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 282-285, 2008.

SALVADOR, D. V. **Aplicação do gás ozônio em grãos de feijão: saturação e controle de *Zabrotes subfasciatus* em diferentes vazões específicas.** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2022.

SANCHEZ, B. A. O. et al. Tracing interactions among column height, exposure time and gas concentration to dimension peanut antifungal ozonation. **LWT-Food Science and Technology**, v. 65, p. 668-675, 2016.

SILVA, M. G. C. **Estimativa dos tempos letais para *Sitophilus zeamais* e *rhizopertha dominica* submetidos a diferentes concentrações de ozônio em grãos de milho e trigo.** Dissertação (Mestrado) - Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2021.

SILVA, M. V. A. et al. Kinetics of the ozone gas reaction in popcorn kernels. **Journal of Stored Products Research**, v. 83, p. 168-175, 2019.

SILVA, M. V. A. **Ozonização de grãos de milho de pipoca: cinética de reação, controle de insetos, desinfecção fúngica e características de qualidade.** Tese (Doutorado) – Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2022.

SILVA, N. A. S. **Ozonização e irradiação gama (^{60}CO) como processos alternativos no armazenamento de arroz.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, 2015.

SRIVASTAVA, S.; MISHRA, G.; MISHRA, H. N. Vulnerability of different life stages of *Sitophilus oryzae* insects in stored rice grain to ozone treatment and its effect on physico-chemical properties in rice grain. **Food Frontiers**, v. 2, p. 494-507, 2021.

STRAIT, C. A. **Efficacy of ozone to control insects and fungi in stored grain.** Dissertation (Master of Science) - Department of Entomology, Purdue University, West Lafayette, 1998.

TEIXEIRA, L. V. Sensory analysis in the food industry. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 64, n. 366, p. 12-21, 2009.

TIWARI, B. K.; BRENNAN, C. S.; CURRAN, T.; GALLAGHER, E.; CULLEN, P. J.; DONNELL, C. P. O. Application of ozone in grain processing. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 248-255, 2010.

VARNAMKHAISTI, M. G.; MOBILI, H.; JAFARI, A.; KEYHANI, A. R.; SOLTANABADI, M. H.; RAFIEE, S.; KHEIRALIPOUR, K. Some physical properties of rough rice (*Oryza Sativa L.*) grain. **Journal of Cereal Science**, v. 47, n. 3, p. 496-501, 2008.

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

VIEIRA, R. D., TEKRONY, D. M., EGLI, D. B., & RUCKER, M. Electrical conductivity of soybean seeds after storage in several environments. **Seed Science and Technology**, v. 29, n. 3, p. 599-608, 2001.