

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – UNIOESTE
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS – CAMPUS CASCAVEL
PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES DE SOJA OZONIZADAS
DURANTE A SECAGEM

JOEMAR MENDES REGO

CASCAVEL – PR
2017

JOEMAR MENDES REGO

**QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES DE SOJA OZONIZADAS
DURANTE A SECAGEM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento aos requisitos para obtenção de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Divair Christ

CASCADEL - PR

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

R267q

Rego, Joemar Mendes

Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de soja ozonizadas durante a secagem. / Joemar Mendes Rego. Cascavel, 2017.
74 f.

Orientador: Prof. Dr. Divair Christ

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
Campus de Cascavel, 2017
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

1. Soja. 2. Sementes - Qualidade. I. Christ, Divair. II. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. III. Título.

DD 20.ed. 633.3421
CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Beijo – CRB 9ª/965

JOEMAR MENDES REGO

Qualidade Fisiológica e Sanitária de Sementes de Soja Ozonizadas Durante a Secagem

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais, linha de pesquisa Tecnologias de Produção Vegetal e Pós-colheita, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Divair Christ

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Clair Aparecida Viecelli

Pontificia Universidade Católica do Paraná (PUCPR)



Silvia Renata Machado Coelho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 14 de julho de 2017

BIOGRAFIA

JOEMAR MENDES REGO

Nasceu em 9 de janeiro de 1989, na cidade de Barra do Garças – MT. Filho de Jonas Justiniano Rego e Marizete Mendes dos Santos Rego. Concluiu sua graduação em Engenharia de Alimentos em 2013 na Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Atualmente, é técnico em alimentos e laticínios do Instituto Federal de Mato Grosso do Sul – IFMS. Ingressou no Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola – PGEAGRI – Nível de Mestrado no ano de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais a meu orientador, professor Divair Christ, pela ajuda e paciência nesta batalha, que pode ser considerado mais que um orientador, um amigo.

Aos meus pais, Marizete e Jonas, por todo apoio e à minha irmã, Vanessa.

À minha amiga, Bruna, com quem compartilhei as dificuldades e me ajudou a vencer esta luta. Obrigado pela ajuda.

Aos meus colegas, Ivan e Suian, pela ajuda no desenvolvimento do gerador de ozônio e sugestões oferecidas.

À UNIOESTE e ao PGEAGRI, pela oportunidade de realização deste mestrado.

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudos.

A todos que, de maneira direta ou indireta, colaboraram para que esse trabalho fosse realizado.

Muito obrigado.

QUALIDADE FISIOLÓGICA E SANITÁRIA DE SEMENTES DE SOJA OZONIZADAS DURANTE A SECAGEM

RESUMO

No Brasil, a soja é considerada um dos principais produtos agrícolas, todavia, com a expansão da agricultura, surgiram novas doenças fitossanitárias. Assim, um armazenamento inadequado pode provocar o crescimento de insetos e microrganismos bem como promover a deterioração do produto. Atualmente, o gás ozônio está entre os produtos em estudo para a desinfecção de fungos, o qual é formado por três moléculas de oxigênio (O_3) e seu produto final é o oxigênio. Além disso, o O_3 é considerado seguro pela indústria alimentícia. Assim, os objetivos deste estudo foram avaliar tanto os efeitos do gás ozônio durante a secagem no que tange à qualidade fisiológica e físico-química, como a eficiência na descontaminação fúngica e determinar a modelagem das curvas de secagem para as sementes de soja. Para este estudo, foram usadas as sementes da cultivar NK 7059 (V-máx RR), produzidas na região de Medianeira – PR, da safra de 2016 com 20,18% B.U. Foi usado um planejamento fatorial 2^2 com ponto central, com tempos (5, 10 e 15 minutos) e temperatura (30, 40 e 50 °C). O modelo matemático que apresentou o melhor ajuste aos dados experimentais foi a Midilli. Os coeficientes **a**, **b** e **k** foram considerados como dependentes da temperatura do ar de secagem enquanto o coeficiente **n** foi dependente dos fatores tempo de aplicação do ozônio e temperatura do ar de secagem. O gás ozônio demonstrou eficiência na descontaminação fúngica através dos efeitos microbiológicos e a temperatura de 50 °C apresentou os melhores resultados. O tempo de cinco minutos de aplicação do ozônio e a temperatura do ar de 30 °C para a secagem apresentaram maior número de sementes germinadas.

Palavras-chave: Ozônio; desinfecção; modelagem matemática; qualidade.

PHYSIOLOGICAL AND SANITARY QUALITY OF SOYBEAN SEEDS OZONIZED DURING DRYING PHASE

ABSTRACT

In Brazil, soybeans are considered one of the main agricultural products, however, with the expansion of agriculture, new phytosanitary diseases have emerged. Thus, inadequate storage can lead to the growth of insects and microorganisms as well as promote product deterioration. Currently, ozone gas is among the products being studied for the disinfection of fungi, which is formed by three molecules of oxygen (O_3) and its final product is oxygen. In addition, O_3 is considered safe by the food industry. Thus, the objectives of this study were to evaluate both the effects of ozone gas during drying in terms of physiological and physical-chemical quality, as well as the efficiency of fungal decontamination and to determine the modeling of drying curves for soybean seeds. For this study, seeds of cultivar NK 7059 (V-máx RR), produced in the Medianeira-PR region, from the 2016 crop with 20.18% B.U. A factorial design 2^2 with center point was used, with times (5, 10 and 15 minutes) and temperature (30, 40 and 50 ° C). The mathematical model that presented the best fit to the experimental data was Midilli. The coefficients **a**, **b** and **k** were considered to be dependent on the drying air temperature while the coefficient **n** was dependent on the time factors of ozone application and drying air temperature. Ozone gas demonstrated efficiency in fungal decontamination through microbiological effects and the temperature of 50 °C showed the best results. The time of five minutes of ozone application and the air temperature of 30 °C for drying showed a higher number of germinated seeds.

Keywords: Ozone; disinfection; mathematical modeling; quality.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo geral.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 Cultivo de soja	3
3.2 Pré-processamento e armazenamento da soja.....	3
3.2.1 Secagem de produtos agrícolas.....	3
3.2.2 Sistemas de armazenamento	4
3.3 Contaminação de fungos em sementes.....	6
3.4 Ozônio (O ₃).....	8
3.5 Gerador de ozônio	8
3.6 Qualidade fisiológica em sementes ozonizadas.....	10
4 MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1 Amostragem	12
4.2 Armazenamento	12
4.3 Secagem	12
4.3.1 Obtenção e quantificação do gás ozônio	13
4.3.2 Processo de secagem com ozonização dos grãos de soja	14
4.3.3 Modelagem matemática da secagem.....	15
4.4 Qualidade microbiológica.....	16
4.4.1 Determinação da contaminação fúngica	17
4.4.1.1 Reagentes e meios de cultura.....	17
4.4.1.2 Diluições seriadas.....	18
4.4.1.3 Preparação das placas	18
4.4.1.4 Inoculação	18
4.4.1.5 Incubação	18
4.4.1.6 Contagem das colônias e cálculo dos resultados.....	19
4.5 Qualidade fisiológica das sementes.....	19
4.5.1 Determinação da germinação	19
4.5.2 Condutividade elétrica	20
4.6 Qualidade física das sementes	20
4.6.1 Pureza	20
4.6.2 Massa de 100 sementes.....	20

4.7 Análises físico-químicas	20
4.7.1 Determinação do teor de água.....	21
4.8 Análise estatística	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1 Caracterização inicial das sementes de soja	22
5.2 Teor de água	22
5.2.1 Curvas de secagem de soja com adição de O ₃	24
5.3 Avaliação microbiológica	35
5.4 Teste padrão de germinação (TPG).....	40
5.5 Teste de condutividade elétrica	45
6 CONCLUSÕES	47
7 REFERÊNCIAS	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Níveis dos fatores do planejamento fatorial -----	13
Tabela 2 Matriz de planejamento fatorial 2^2 , com valores codificados e reais-----	13
Tabela 3 Modelo de regressão não-linear utilizados para predizer o fenômeno de secagem -----	16
Tabela 4 Propriedades iniciais das sementes de soja, variedade NK 7059 V-máx rr, colhidas em 24/01/2016, Medianeira - PR -----	22
Tabela 5 Valores médios do teor de água (%b.u.) das sementes de soja, após a secagem (AS) e após o armazenamento (AA)-----	23
Tabela 6 Teor de água (% B.U.) de sementes de soja após a secagem sem a aplicação de ozônio -----	23
Tabela 7 Teores de umidade de equilíbrio (U_e %) em função da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem -----	24
Tabela 8 Parâmetros estatísticos dos valores médios obtidos para os oito modelos de secagem (equações 03 a 10), para as condições de secagem -----	25
Tabela 9 Coeficientes do modelo midilli para predizer a razão de umidade durante a secagem de sementes de soja -----	26
Tabela 10 Efeitos estimados das condições de secagem sobre o coeficiente a do modelo midilli para predizer o processo de secagem-----	28
Tabela 11 Resumo da análise de variância para predizer o coeficiente a da equação do modelo de midilli -----	29
Tabela 12 Efeitos estimados das condições de secagem sobre o coeficiente k do modelo midilli para predizer o processo de secagem-----	30
Tabela 13 Resumo da análise de variância para predizer o coeficiente k da equação do modelo de midilli -----	30
Tabela 14 Efeitos estimados das condições de secagem sobre o coeficiente n do modelo de midilli para predizer o processo de secagem-----	31
Tabela 15 Resumo da análise de variância para predizer o coeficiente n da equação do modelo de midilli -----	32
Tabela 16 Efeitos estimados das condições de secagem no coeficiente b do modelo de midilli para predizer o processo de secagem-----	33

Tabela 17 Resumo da análise de variância para predizer o coeficiente b da equação do modelo de Midilli -----	34
Tabela 18 Valores médios da contagem fúngica (UFC.g ⁻¹) de sementes de soja, após a secagem (AS) e após o armazenamento (AA)-----	35
Tabela 19 Efeitos estimados das condições de secagem na contagem fúngica na diluição 10 ⁻² , após a secagem (AS) e os coeficientes do modelo linear -----	35
Tabela 20 Resumo da análise de variância para predizer a contagem fúngica (AS) em secagem de sementes de soja-----	36
Tabela 21 Efeitos estimados da contagem fúngica em sementes de soja secas com aplicação de O ₃ e armazenadas por 30 dias (AA) -----	37
Tabela 22 Resumo da análise de variância para predizer a contagem fúngica (AS) em secagem de sementes de soja secas com aplicação de O ₃ e armazenadas por 30 dias -----	38
Tabela 23 Contagem fúngica de amostras de sementes de soja após a secagem sem aplicação de ozônio -----	39
Tabela 24 Valores médios do teste padrão de germinação (%) de sementes de soja após a secagem (AS) e após o armazenamento (AA) por 30 dias -----	40
Tabela 25 Efeitos estimados das condições de secagem (AS) na germinação de sementes de soja -----	41
Tabela 26 Resumo da análise de variância para predizer o teor de germinação (AS) na secagem de sementes de soja -----	41
Tabela 27 Efeitos estimados das condições de secagem da porcentagem de germinação de sementes de soja, após 30 dias de armazenamento (AA) -----	42
Tabela 28 Resumo da análise de variância para predizer a porcentagem de germinação (AA) na secagem de sementes de soja-----	43
Tabela 29 Germinação de amostras de sementes de soja após a secagem sem a aplicação de ozônio -----	44
Tabela 30 Valores médios do teste de condutividade (μs.cm ⁻¹ .g ⁻¹) de sementes de soja após a secagem (AS) e após o armazenamento (AA) por 30 dias -----	45
Tabela 31 Efeitos estimados das condições de secagem (AS) do teste de condutividade elétrica de sementes de soja -----	46
Tabela 32 Efeitos estimados das condições de condutividade elétrica em sementes de soja -----	46

Tabela 33 Condutividade elétrica de amostras de sementes de soja após a secagem sem a aplicação de ozônio----- 47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Representação da geração de ozônio por efeito corona (MORAES, 2005).....	9
Figura 2 Gerador de O_3 da marca ozônio line	14
Figura 3 Vista tridimensional do secador experimental de camada fixa utilizado na determinação das curvas de secagens.	15
Figura 4 Valores observados e estimados pelo modelo de Midilli para descrever a curva de secagem das sementes de soja para diferentes temperaturas e tempos de aplicação de ozônio.....	27
Figura 5 Variação do coeficiente a em função da temperatura do ar de secagem ($^{\circ}C$).	29
Figura 6 Variação do coeficiente k em função da temperatura do ar de secagem ($^{\circ}C$).	31
Figura 7 Superfície de resposta para predizer os valores do coeficiente n para o processo de secagem.....	33
Figura 8 Variação do coeficiente b em função da temperatura do ar de secagem ($^{\circ}C$).	34
Figura 9 Superfície de resposta para predizer os valores estimados da contagem fúngica (AS) para as sementes de soja.....	37
Figura 10 Superfície de resposta para predizer os valores estimados da análise fúngica (AA) para as sementes de soja.....	38
Figura 11 Superfície de resposta para predizer os valores estimados da porcentagem de germinação (AS) para as sementes de soja.	42
Figura 12 Superfície de resposta para predizer os valores estimados da porcentagem de germinação (AA) para as sementes de soja.	43

INTRODUÇÃO

O cultivo da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) está entre as principais produções agrícolas do Brasil, com importância econômica e destaque para a produção de óleos vegetais e produtos derivados com elevado teor de proteínas. As doenças em cultivares surgiram com o aumento da produção de sementes, conseqüentemente houve aumento de microrganismos, prejuízo para a qualidade das sementes, além de ter provocado a redução do poder de germinação e fonte de inóculo para novas safras.

O armazenamento de sementes em regiões tropicais pode apresentar deterioração devido às condições de temperatura e umidade relativa. Os fungos estão entre os fatores biológicos que contribuem para deterioração, os quais, quando em contato com as sementes, provocam deterioração e a produção de micotoxinas. Logo, há perda de qualidade do produto com diminuição da germinação, descoloração, odor, aquecimento da massa de sementes e crescimento fúngico.

Entretanto, existem meios para minimizar ou eliminar a contaminação, através da descontaminação microbiológica. O ozônio (O₃) está entre os agentes oxidantes cujas características são de grande interesse para as indústrias alimentícias, com maior segurança e eficiência em comparação aos desinfetantes convencionais, além de agir sobre grande número de microrganismos.

O ozônio é um agente oxidante e desinfetante e compreende as aplicações na fase pós-colheita com inativação e prevenção de produção de bactérias e fungos, destruição de pesticidas e resíduos químicos, inativação de micotoxinas e controle de insetos na armazenagem.

Estudos mostram a eficiência da aplicação do ozônio na eliminação de microrganismos em sementes. Contudo, há poucos estudos referentes à soja considerando quais seriam as possíveis influências da aplicação do ozônio na qualidade do óleo, e derivados, qualidade fisiológica das sementes e seus efeitos descontaminantes.

Esta pesquisa estudou os efeitos de aplicação de O₃, quanto à secagem, redução fúngica e germinação das sementes e analisou os parâmetros da qualidade do óleo extraído.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o efeito da aplicação de ozônio durante a secagem no que tange à qualidade microbiológica, fisiológica e sanitária de sementes de soja.

2.2 Específicos

- Obter as curvas de secagem das sementes de soja e ajustar modelos matemáticos utilizados aos dados experimentais;
- Avaliar os efeitos imediatos e latentes da aplicação de ozônio durante a secagem de sementes de soja;
- Avaliar a eficiência da aplicação na descontaminação de fungos;
- Avaliar a eficiência fisiológica das sementes de soja.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cultivo de soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merr) é uma planta com grande variabilidade genética, tanto no ciclo vegetativo (período compreendido da emergência da plântula até a abertura das primeiras flores) como no reprodutivo (período do início da floração até o fim do ciclo da cultura), e também é influenciada pelo meio ambiente (THOMAS; COSTA, 2010).

Na agricultura brasileira, a soja foi considerada a cultura que mais cresceu nas últimas três décadas (1990 – 2010) e corresponde a 49% da área plantada de grãos no País. O aumento da produtividade está associado aos avanços tecnológicos, ao manejo e à eficiência dos produtores. O grão é componente essencial na fabricação de rações animais e com uso crescente na alimentação humana (MAPA, 2015).

Segundo o IBGE (2017), a estimativa para 2017 é que haverá acréscimo de 1,9% e de 11,8% na área cultivada da soja e na produção, respectivamente, em relação ao ano anterior no Brasil. E neste mesmo ano de 2017, o estado do Paraná foi considerado, em pesquisa realizada pelo IBGE, como um dos principais na produção de soja, com 17,3% da produção nacional, porém, sofreu redução de 0,3% em relação ao ano anterior.

A cultura de soja é considerada uma das mais importantes, por possuir capacidade de produzir grandes quantidades de proteína de excelente qualidade para a alimentação animal e de óleo para consumo humano. Além disso, possui uma linha muito diversificada de produtos com grande importância para a suplementação alimentar (FEDERIZZI, 2005).

3.2 Pré-processamento e armazenamento da soja

3.2.1 Secagem de produtos agrícolas

A colheita dos produtos agrícolas ocorre geralmente com teores de umidade superiores ao recomendado para uma armazenagem segura. A secagem objetiva possibilitar a antecipação da colheita, de modo a minimizarem-se os efeitos prejudiciais das condições climáticas adversas, danos mecânicos e ataque de fungos e insetos, além de maximizarem-se o peso e a qualidade dos grãos colhidos (GARCIA et al., 2004).

A secagem torna-se uma operação crítica quando a colheita é antecipada ou quando os grãos são colhidos com umidade elevada. A secagem inadequada ou a falta de secagem é uma das principais causas de deterioração dos grãos durante o armazenamento (PIMENTEL; FONSECA, 2011).

O processo de secagem de produtos agrícolas é considerado o mais utilizado para garantir a qualidade, a estabilidade durante o armazenamento, a inibição do crescimento de microrganismos e a redução de taxa de reações enzimáticas ou não-enzimáticas (CORRÊA et al. 2011). A secagem é um processo complexo que envolve transferência simultânea de calor e massa, que pode provocar mudanças significativas na composição química, estrutura e propriedades físicas dos alimentos (RAHMAN, 2003).

O fenômeno de secagem acontece através do movimento da água do interior para a periferia do grão por meio de diversos mecanismos (CORRÊA; RESENDE; RIBEIRO, 2006). A redução do teor de água é de grande importância, pois influencia na variação das propriedades físicas dos materiais vegetais durante a secagem (RESENDE et al., 2005).

A taxa de secagem indica a perda de água do produto por unidade de tempo e é influenciada por vários fatores, tais como método de secagem, temperatura, umidade relativa e velocidade do ar de secagem, umidade inicial do produto e tempo de exposição à temperatura de secagem, dentre outros. A falta do controle desses fatores pode comprometer a qualidade do produto final (ISQUIERDO, 2011).

Dentre os vários parâmetros da secagem, a temperatura do ar é a de maior flexibilidade em um sistema de secagem em elevadas temperaturas, pois influencia significativamente a taxa e a eficiência de secagem, bem como a qualidade final do produto. E, se não houver controle adequado, pode provocar danos físicos como descoloração dos grãos, quebras e trincas (AFONSO JÚNIOR, 2001).

A redução de umidade relativa do ar de secagem por outros meios é uma alternativa para continuar com o aumento da taxa de secagem, sem provocar danos térmicos aos grãos, tais como a circulação do ar através de um material dessecante, o qual adsorve e remove a umidade do ar de secagem ou pela redução da temperatura de ponto de orvalho do ar (ONDIER; SIEBENMORGEN; MAUROMOUSTAKOS, 2010).

3.2.2 Sistemas de armazenamento

O teor de umidade ideal para a armazenagem de grãos e sementes é de 13% para as condições brasileiras. Esse valor foi estipulado por estabilizar a atividade aquosa do produto (A_w) e assim inviabilizar, principalmente, o desenvolvimento de fungos e bactérias (SILVA, 2005).

No sistema de pré-processamento de produtos agrícolas, o armazenamento é um fator importante, pois, nesta fase, os grãos são submetidos a fatores físicos, químicos e biológicos, que podem interferir na conservação e qualidade (BROOKER; BAKKERARKEMA; HALL, 1992).

O armazenamento é considerado uma das etapas da pós-colheita com maior período e contribui decisivamente para a qualidade final dos grãos. A manutenção da qualidade ou a aceleração da degradação, durante essa etapa, é influenciada pela eficiência do processo de secagem, teor de umidade dos grãos, atmosfera e período de armazenagem, controle de pragas, temperatura e umidade relativa do ar, percentual de grãos danificados, presença de impurezas, matérias estranhas, microrganismos, insetos e ácaros (MAGAN; ALDRED, 2007).

O principal objetivo do armazenamento é possibilitar condições ambientais adequadas que forneçam proteção e mantenham-se a qualidade e a quantidade das sementes ou dos grãos. A qualidade das sementes ou grãos pode ser afetada principalmente por ataques de insetos e fungos. Com um controle adequado da temperatura há também o controle da umidade e com isso impede-se a presença insetos, fungos e etc. (SUN; WOODS, 1994).

No Brasil, a armazenagem de grãos é realizada na forma convencional, em sacarias ou a granel. O armazenamento convencional usa estruturas como armazéns e/ou depósitos de construção relativamente simples de alvenaria, na quase totalidade, com o acondicionamento dos grãos em sacaria (ELIAS, 2000).

A armazenagem convencional pode ser empregada com sucesso, desde que as estruturas armazenadoras atendam às condições mínimas, como controle de umidade e ventilação adequadas. Outros pontos ainda a serem observados estão no piso, o qual deve ser concretado e cimentado, além do controle e proteção contra ratos. As pilhas de sacos devem ser erguidas sobre estrados de madeira ou plásticos e afastadas das paredes. O controle de insetos deve ser através de expurgo periódico com produtos químicos, principalmente fosfina e a pulverização externa das pilhas de sacos bem como de toda a estrutura (SANTOS, 2006).

De acordo com Villers (2006), quando a armazenagem convencional fica exposta a um ambiente quente e úmido, não ocorre a proteção adequada do produto armazenado durante o período desejado, portanto, o resultado são perdas significativas na quantidade e qualidade de grãos ou sementes. Outra forma de armazenagem de grãos está no sistema de depósito de grãos a granel, em silos, considerado uma das formas mais eficientes e rápidas na conservação de grandes montantes de grãos. Neste sistema, a mecanização e a automação da carga e descarga são possíveis, pois facilitam a operação dos mecanismos de manejo de grãos (SILVA, 2002).

Entre os meios de armazenamento, há o sistema hermético, que é classificado como um método de controle físico, sem o uso de produtos químicos no controle dos agentes prejudiciais ao armazenamento. Neste sistema, ocorre o impedimento da troca gasosa entre o interior e o exterior do compartimento onde os grãos são armazenados. Os organismos vivos que compõem o ecossistema (grãos, insetos e microrganismos) consomem o oxigênio (O_2) pelo processo respiratório e liberam gás carbônico (CO_2) e água (H_2O). Também diminuem a concentração de O_2 em níveis letais ou restritivos ao desenvolvimento dos seres

vivos associados (RUPOLLO et al., 2004). Ou seja, não há renovação do ar e os grãos, a partir da atividade respiratória, consomem todo o oxigênio disponível, por conseguinte, os insetos não sobreviverão na ausência de oxigênio (SANTOS, 2006).

3.3 Contaminação de fungos em sementes

A proteção contínua de produtos agrícolas armazenados contra a deterioração evita perdas de qualidade e quantidade de grãos ou sementes durante o armazenamento (PADIN; BELLO; FABRIZIO, 2002). Os fungos estão entre os fatores que provocam a deterioração dos grãos no armazenamento, além de perdas na qualidade daqueles, tais como o consumo de gordura, proteína e carboidratos. Tal fato, posteriormente, durante a extração de óleo, ocasiona o aumento do teor de acidez. O crescimento de fungos é ocasionado pela umidade das sementes, temperatura, tempo de armazenamento, condição física e sanitária das sementes, conteúdo de oxigênio e infestações de insetos e ácaros. Ainda, a presença de insetos em um lote de grãos pode iniciar o desenvolvimento de fungos, pois, através de sua atividade metabólica há aumento de umidade e temperatura da massa dos grãos e a lesão causada pelo inseto no grão favorece a penetração dos fungos (MARCIA; LAZZARI, 1998).

No período de pós-colheita, transporte e armazenamento de produtos agrícolas, o crescimento fúngico pode ser influenciado por fatores tais como o nível de umidade das sementes, temperatura, período de armazenamento, aeração, danos provocados por insetos, nível de contaminação, impurezas, concentração de CO₂ intergranular, condições físicas e sanitárias dos grãos (BELÉM, 1994; LAZZARI, 1997).

Em condições ambientais favoráveis como umidade e temperatura ótimas, ocorre a liberação de esporos, os quais germinam e desenvolvem hifas que infestam grãos, rações e outros substratos para o desenvolvimento dos fungos (PRADO; MATTOS; PEREIRA, 1991). Os fungos toxigênicos possuem potencial para a produção de metabólitos secundários tóxicos, assim, contaminam os grãos no campo, antes mesmo da colheita ou durante o armazenamento. Como exemplo desses fungos estão os gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium*, responsáveis geralmente pela produção de micotoxinas (CARVAJAL; ARROYO 1997; SWEENWEY; DOBSON, 1998).

As principais características do desenvolvimento fúngico em sementes armazenadas estão na perda do poder germinativo, perda de matéria seca e alteração do valor nutricional (PIEIDADE et al., 2002).

Os microrganismos capazes de invadir e danificar sementes, grãos, fibras naturais e seus subprodutos são classificados em três grupos: fungos de campo, fungos intermediários e fungos de armazenamento (LAZZARI, 1993). Os fungos de campo apresentam o potencial de invadirem as sementes na planta mãe, diminuindo o rendimento e causando deterioração

na lavoura. Nestas espécies estão os gêneros *Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium* e *Helminthosporium*, os quais podem alterar a aparência dos grãos e o valor comercial do produto, enquanto os dos gêneros *Aspergillus* e *Penicillium* são os fungos de armazenamento ou depósito mais frequentemente encontrados (PUZZI, 1986; LAZZARI, 1997).

Os fungos intermediários apresentam a característica de invadir as sementes antes da colheita, provocando danos durante o armazenamento. Nesta categoria estão incluídos os gêneros *Fusarium* (*F. semitectum*) e *Penicillium*. Já os fungos de armazenamento são os principais iniciadores da deterioração em sementes, pois geram danos ao embrião, descoloração e alterações nutricionais na semente. Nesta classe está incluído o gênero *Aspergillus*, que causa danos somente quando há condições favoráveis ao seu desenvolvimento (LAZZARI 1997; MÁRCIA; LAZZARI, 1998).

Os fungos de armazenamento apresentam como característica o seu desenvolvimento em presença de água livre (CHRISTENSEN, 1973). Entretanto, ocorre maior desenvolvimento de fungos em sementes colhidas em períodos mais úmidos (MILLS; WALLACE, 1992). Outro fator a ser observado está no equilíbrio dos teores de água das sementes, pois, nesse caso, não há crescimento de fungos, isto para umidades relativas de ar inferiores a 68% (BEWLEY; BLACK, 1994).

As principais doenças causadas por patógenos na soja são transmitidas pelas sementes. Os microrganismos com maior destaque são: *Phomopsis spp.* – anamorfo de *Diaporthe spp.* (causador do cancro da haste da soja, da seca da haste e da vagem da soja e da deterioração das sementes), *Cercospora sojina* (causador da mancha olho-de-rã). *C. Kikuchii* (causador da mancha púrpura da semente e do crestamento foliar), *Colletotrichum truncatum* (causador da antracnose), *Fusarium semitectum* (causador da deterioração das sementes), *Aspergillus flavus* (fungo de armazenamento), *Sclerotinia sclerotiorum* (causador da podridão branca da haste e da vagem) e *Rhizoctonia solani* (causador do tombamento de plântulas e morte em reboleira) (GOULART, 1997).

3.4 Ozônio (O₃)

O ozônio é um gás alotrópico de oxigênio e é também uma molécula triatômica (O₃), que, em forma concentrada e pura, possui uma cor azul clara e odor característico pungente (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999). O gás é gerado pela passagem de ar, ou gás de oxigênio, por descarga elétrica de alta tensão ou por irradiação ultravioleta da luz (MAHAPATRA; MUTHUKUMARAPPAN; JULSON, 2005).

O produto final da degradação do ozônio é o oxigênio, deste modo, não há resíduos nos produtos que sofreram sua aplicação. Existem outros benefícios do uso deste gás, tais como a depuração de micotoxinas (KARACA; VELIOGLU, 2007), resíduos de pesticidas (IKEHATA; EL-DIN, 2005), controle de microrganismos de interesse para alimentos seguros (SELMA et al., 2008) e não há necessidade de aeração de grãos para remoção do gás (ISIKBER; ATHANASSIOU, 2015).

O ozônio (O₃) é um poderoso agente antibacteriano devido à sua potente capacidade oxidante (KHADRE; YOUSEF; KIM, 2001). O potencial de oxidação do ozônio (2,07 Volts) é maior do que a do ácido hipocloroso (1,49 Volts) ou cloro (1,36 Volts) (BRADY; HUMISTON, 1978). Assim, este potencial apresenta características desinfetante, inativa rapidamente vírus, bactérias, algas e fungo (MAJCHROWICZ, 1998) e elimina pequenos invertebrados, como insetos (MENDEZ et al., 2003; MCDONOUGH et al., 2011).

A eficiência do ozônio está relacionada com vários fatores desde a concentração aplicada, características do produto e fatores ambientais como temperatura e umidade. Assim, cada produto que recebeu a aplicação de ozônio pode desenvolver comportamentos diferentes devido às suas estruturas físicas que entram em contato com gás (GIORDANO; NONES; SCUSSEL 2012; SAVI et al., 2014).

Como forma de se preservar a qualidade e subprodutos de grãos armazenados, tem ocorrido o crescimento da utilização do O₃, com intuito de que haja redução dos microrganismos. Em 1997, o ozônio (O₃) foi reconhecido como seguro (*Generally Recognized as Safe* – GRAS) pela *Food and Drug Administration* (FDA) e utilizado pela indústria alimentícia na detoxificação de microrganismos ou produtos químicos (USDA, 1997; KIM; YOUSEF; DAVE 1999; KARACA; VELIOGLU, 2007).

3.5 Gerador de ozônio

Em 1857, na Alemanha, Von Siemens desenvolveu o primeiro gerador de ozônio industrial, baseado em descargas corona (emissão de elétrons por eletrodos de alta tensão) (IGLESIAS, 2002). Dentre os diversos métodos para a geração de ozônio estão a descarga elétrica em oxigênio, a eletrólise na água ou termal, a fotoquímica ou radioquímica. Na

indústria, o gás ozônio é gerado principalmente do oxigênio puro ou o oxigênio da atmosfera no processo de descarga corona (MCKENZIE et al., 1997).

A geração de ozônio é baseada no fenômeno de descarga silenciosa, reação química opto-eletrolítica e assim por diante (ALONSO et al., 2003). A descarga silenciosa baseada em dielétrico de barreira é a mais amplamente utilizada em aplicações de tubulações industrial uma vez que produz as maiores concentrações de gás. O gás ozônio é gerado a partir do oxigênio ou ar pelo bombardeio de elétrons em moléculas de oxigênio com base de vidro e de barreira. Este bombardeamento quebra as moléculas de oxigênio e provoca sua recombinação seletiva uns com os outros e com outras moléculas de oxigênio estáveis produzindo ozônio. A classe de geradores de ozônio com base de descarga silenciosa dielétrico-barreira é conhecida como gerador de ozônio descarga de corona (CDOG) (MURATA et al. 2004).

O processo de descarga por corona é o mais utilizado, pois o ar ou oxigênio puro é convertido em O_3 usando alta voltagem – entre 6 a 20 kV – em um gap dielétrico por onde passa o ar seco e limpo ou oxigênio puro. O aspecto de maior interesse no O_3 está na sua rápida decomposição, isso sem produzir resíduo (USEPA 1999; KELLS et al., 2001). Os geradores podem ser dos tipos prato, tubo vertical e tubo horizontal. O dielétrico pode ser construído tanto em vidro como em cerâmica, esta última mais eficiente em termos energéticos (GIORDANO, 2009). A Figura 1 demonstra o efeito corona.

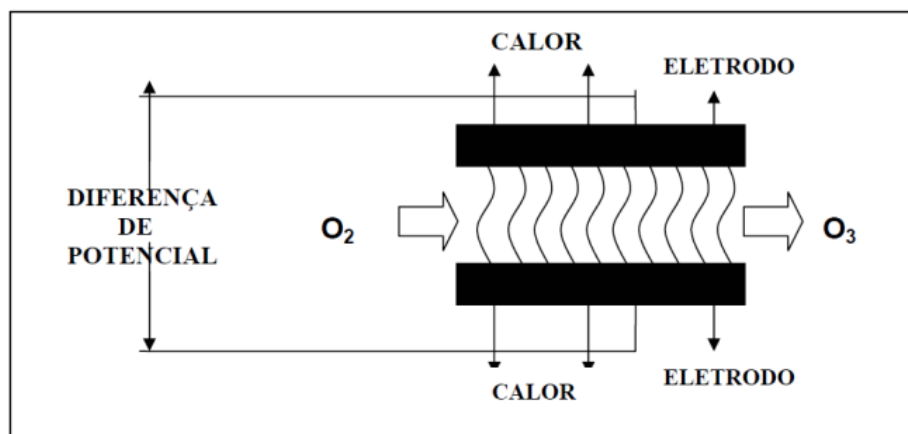


Figura 1 Representação da geração de ozônio por efeito corona (MORAES, 2005).

As plantas de geração de O_3 podem ainda ser identificadas conforme o gás utilizado para alimentação: ar ou oxigênio de alta pureza. O uso de ar para geração de O_3 exige que o ar seja filtrado e seco antes de passar pelo processo de descarga corona. Isto porque a presença de umidade no gás pode produzir um condensado muito corrosivo dentro do reator. Além disso, o rendimento do equipamento pode ser reduzido pela formação de óxidos de nitrogênio, como o ácido nítrico (GIORDANO, 2009).

3.6 Qualidade fisiológica em sementes ozonizadas

A oxidação de óleos comestíveis é um dos principais problemas na indústria de alimentos, pois o seu desenvolvimento provoca deterioração dos mesmos. Este efeito possui grande importância econômica, pois acarreta o desenvolvimento de diversos sabores, odores estranhos e redução de sua vida de prateleira em óleos comestíveis e produtos à base de gorduras, chamados de ranço lipídico (SILVA; BORGES; FERREIRA, 1999; ORDÓÑEZ, 2005).

O desenvolvimento da rancidez oxidativa de gorduras e óleos está ligada à aceitabilidade e qualidade nutricional dos alimentos, pois provoca oxidação do produto, modificações e deterioração dos alimentos bem como afeta suas características organolépticas (FRANKEL 2005; SCHAICH, 2005).

O processo de rancificação pode ser classificado como: rancidez hidrolítica e rancidez oxidativa. Na rancidez hidrolítica, o processo é definido pelo aumento progressivo de ácidos graxos livres, pela ação hidrolítica enzimática ou por agentes químicos como ácidos e bases, a partir de ácidos graxos liberados dos triacilgliceróis, fosfatídios e glicolípidios. Este processo oxidativo ocorre com maior facilidade em alimentos com alto conteúdo de água, condição que permite a hidrólise enzimática, além de contaminação microbiológica (BOBBIO; BOBBIO 1992; SCHAICH, 2005).

A rancidez oxidativa ou auto-oxidação envolve uma série complexa de reações químicas e compreende uma grande quantidade de reações interconectadas que ocorre entre o oxigênio atmosférico e os ácidos graxos insaturados dos lipídeos. Essa reação ocorre em três estágios (iniciação, propagação e terminação) (BOBBIO; BOBBIO, 1992; RIBEIRO; SERAVALLI, 2007; STEEL; BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2012).

Na fase de iniciação, o ácido graxo insaturado doa um hidrogênio ao carbono decompondo-se em radical livre. Enquanto na fase de propagação, os radicais livres formados na fase anterior reagem com o oxigênio e produzem mais radicais peróxidos. Esses radicais subtraem hidrogênio de outra molécula insaturada e produzem peróxido mais um novo radical livre (ORDÓÑEZ, 2005).

Já a etapa de terminação ocorre quando dois radicais livres interagem entre si, para que se formem diversas substâncias, e assim terminam o papel deles como propagadores da reação. As características dessa etapa são a diminuição do consumo de oxigênio e a redução da concentração de peróxidos. Com isso, o alimento apresenta alterações de aroma, sabor, cor e resistência (RIBEIRO; SERAVALLI, 2007).

A capacidade de oxidação potente faz com que o ozônio seja muito eficaz na destruição de microrganismos (GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004). Entretanto, alguns autores relatam que o uso excessivo do ozônio pode provocar a oxidação da superfície dos alimentos. O uso de altas concentrações do gás ozônio pode provocar oxidação na

superfície dos alimentos e gerar perda de cor e modificações no sabor e odor. Além disso, o O_3 é capaz de alterar a coloração da superfície de frutas e legumes como pêssegos, cenouras e brócolis (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999; PRESTES, 2007).

O gás ozônio elimina microrganismos através da oxidação progressiva dos componentes celulares vitais. Autores relatam que o principal alvo da aplicação de ozônio está na superfície celular bacteriana, pois foram identificados dois mecanismos principais na destruição dos microrganismos (GUZEL-SEYDIM; GREENE; SEYDIM, 2004). No primeiro mecanismo, o ozônio oxida os grupos sulfidríla e aminoácidos de enzimas, proteínas e peptídeos. No segundo mecanismo ocorre a ação do gás como agente oxidante de ácidos graxos poli-insaturados a peróxidos (VICTORIN, 1992).

O O_3 degrada células com insaturações lipídicas, provoca a ruptura celular e subsequente vazamento do seu conteúdo, indicando que as ligações duplas de lipídios insaturados são particularmente vulneráveis ao ataque do ozônio. Entretanto, nas bactérias gram-negativas, as camadas de lipoproteína e de lipopolissacárideos são os primeiros sítios onde ocorre a destruição pelo ozônio e o resultado é o aumento da permeabilidade celular e, eventualmente, lise celular (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999).

Enquanto o cloro realiza o processo de eliminação de certos sistemas de enzima intracelular de modo seletivamente, o gás ozônio irá provocar a oxidação generalizada de proteínas no interior de células, a fim de causar a morte celular de modo rápido. A morte celular pode ocorrer devido à destruição potente e danos aos ácidos nucleicos. A base nitrogenada timina é mais sensível ao ozônio do que a citosina ou a uracila (KIM; YOUSEF; DAVE, 1999).

Algumas análises estão atreladas a isso para assegurar a qualidade de óleos comestíveis. Assim, é possível avaliar o estado oxidativo, na predição à rancidez, a partir de análises como índice de peróxidos (medida do conteúdo de oxigênio reativo) e a análise de ácidos graxos livres (porcentagem de ácidos graxos livres) (MORETTO; FETT, 1998; STEEL; BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2012).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Amostragem

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Armazenagem e Protótipos de Instalações de Secagem (LAPIS), Laboratório de Controle de Qualidade (LACON) e o Laboratório de Saneamento Ambiental (LASAM) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), localizados no campus de Cascavel - PR.

Foram utilizadas amostras de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) do cultivar Nk 7059 (V-max RR), produzido na região de Medianeira no Oeste do Paraná, provenientes da safra de 2015/2016. Ainda na fazenda de plantio foram retiradas as impurezas e matérias estranhas, utilizando uma peneira de número 6 e em seguida transportado para os Laboratórios da UNIOESTE.

4.2 Armazenamento

As sementes antes da secagem foram acondicionadas em sacos plásticos produzidos em polietilenos com capacidade para 8,0 litros (28,0 x 42,0 cm) e armazenadas em refrigerador sob temperatura de 3 °C. Após secagem com a ozonização estas foram acondicionadas armazenadas em sacos de papel kraft com capacidade 2,8 litros (17,3 x 27,0 x 6,0 cm) sob temperatura ambiente e armazenadas após 30 dias submetidas as análises.

4.3 Secagem

Os ensaios de secagem foram realizados segundo um planejamento experimental (DCC) em esquema fatorial 2² com 4 repetições no ponto central. Foram avaliados os efeitos dos fatores tempo de exposição das sementes ao O₃ e a temperatura de secagem.

As sementes foram submetidas ao processo de secagem sem ozônio (30, 40 e 50 °C) e secagem com ar adicionado de ozônio (Tabela 1) (temperaturas de 30, 40 e 50 °C com 05, 10 e 15 minutos de O₃). Em seguida, as amostras foram armazenadas por um período de 30 dias em sacos de papel Kraft. Na sequência foram repetidas as análises de teor de água, análise de germinação, condutividade elétrica e comparadas com os resultados do teste controle.

Tabela 1 Níveis dos fatores do planejamento fatorial

Fator	-1	0	+1
Tempo de aplicação de O ₃ (min)	5	10	15
Temperatura do ar de secagem (°C)	30	40	50

Os ensaios do planejamento experimental, realizados segundo a matriz de delineamento composto central (DCC) com 4 experimentos principais e 4 pontos centrais, completando 8 ensaios, apresentados na tabela 2.

Tabela 2 Matriz de planejamento fatorial 2², com valores codificados e reais

Ensaio*	Codificação		Real	
	Tempo O ₃ (Min)	Temperatura (°C)	Tempo O ₃ (Min)	Temperatura (°C)
1	-1	-1	5	30
2	+1	-1	15	30
3	-1	+1	5	50
4	+1	+1	15	50
5	0	0	10	40
6	0	0	10	40
7	0	0	10	40
8	0	0	10	40

*Realizados em ordem aleatória

4.3.1 Obtenção e quantificação do gás ozônio

O gás ozônio (O₃) foi obtido por gerador de ozônio GO3500 AA-INX, desenvolvido pela empresa Ozônio Line (Figura 2), com capacidade de produção de 2000 mg de O₃.h⁻¹. No processo de geração do gás foi utilizado ar ambiente, sendo o oxigênio transformado em ozônio pelo chamado efeito “descarga corona”.



Figura 2 Gerador de O₃ da marca Ozônio Line

4.3.2 Processo de secagem com ozonização dos grãos de soja

Para a realização do processo de ozonização as sementes foram acondicionadas em um recipiente cilíndrico de cloreto de polivinil (PVC), com 15 cm de diâmetro (d), 46 cm de altura (a) sendo 10 cm de altura do plenum, contendo aproximadamente 1,0 kg de grãos. Posicionada a 10 cm do fundo do recipiente, uma tela de cloreto de polivinil (PVC) de 14 cm sendo fixada para sustentação das sementes e formação de uma câmara plenum para distribuição do ozônio no interior do cilindro. Nas tampas inferior e superior do mesmo foram instaladas conexões para injeção e saída do gás (Figura 3).

A ozonização ocorreu simultaneamente ao processo de secagem, com aquecimento do ar por meio de resistência elétrica, obtendo assim o controle da temperatura do ar de secagem nos ensaios (30, 40 e 50 °C). Por meio do planejamento fatorial foi desenvolvido a realização dos ensaios, sendo a temperatura do ar de secagem controlada por meio de um termostato e termopares.

Após a realização dos ensaios as amostras foram separadas conforme os tratamentos realizados individualmente a fim de evitar contaminações cruzada e mantidas em temperatura ambiente por período de 30 dias, a fim de avaliar os efeitos latentes na contaminação fúngica e contaminantes após a aplicação de O₃.

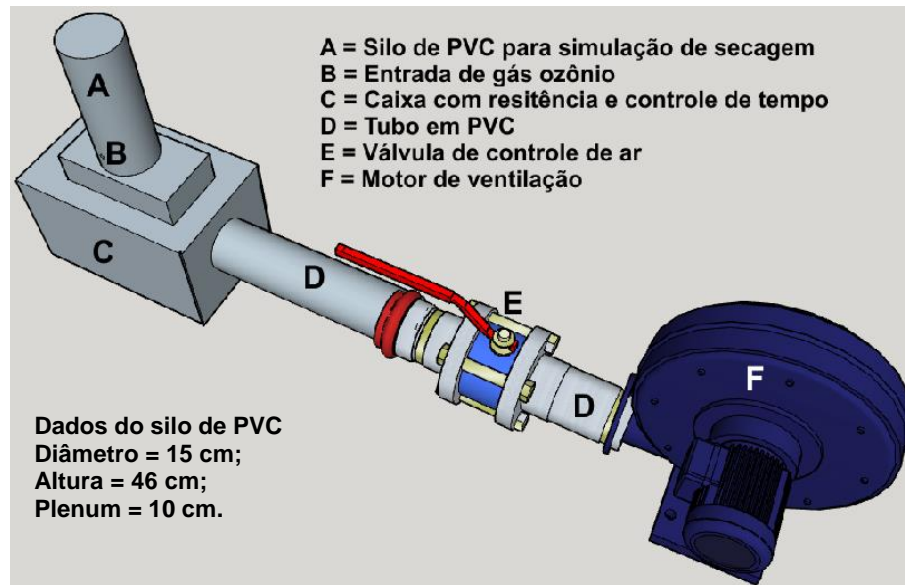


Figura 3 Vista tridimensional do secador experimental de camada fixa utilizado na determinação das curvas de secagens.

4.3.3 Modelagem matemática da secagem

Entre as diversas equações, a que melhor expressa o teor de umidade de equilíbrio dos grãos, em função da temperatura e umidade relativa, para faixas mais amplas de temperatura e umidade relativa, é a equação de Henderson (PEREIRA 1987; BROOKER; BAKKERARKEMA; HALL 1992):

$$1-UR = \exp.(-C.T.(U_e)^n) \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

UR = umidade relativa do ar, decimal;

Exp = base do logaritmo neperiano = 2,718;

T = temperatura absoluta do ambiente, °K;

U_e = umidade de equilíbrio, % b.s.; e

“C” e “n” = constantes que dependem da natureza do produto.

Segundo Silva (2008), a umidade de equilíbrio para a soja, pode ser calculada pela equação de Henderson modificada com as constantes $C = 5,76 \times 10^{-5}$ e $n = 1,52$.

A determinação das razões de umidade (RU) das sementes de soja em diferentes condições de secagem, foi utilizada a Equação 2.

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

U = teor de água do produto, decimal b.s;

U_i = teor de água inicial do produto, decimal b.s;

U_e = teor de água de equilíbrio do produto, decimal b.s;

As curvas de secagem foram ajustadas aos dados experimentais, utilizando-se diferentes modelos empíricos e semi-empíricos, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 Modelo de regressão não-linear utilizados para predizer o fenômeno de secagem

Designação do modelo	Modelo	Equação
Modelo de Page	$RU = \exp(-k.t^n)$	(3)
Modelo de Henderson e Pabis	$RU = a.\exp(-k.t)$	(4)
Modelo de Midilli	$RU = a.\exp(-k.t^n) + b.t$	(5)
Modelo de Wang e Sing	$RU = 1 + a.t + b.t^2$	(6)
Modelo de Page Modificado	$RU = \exp[-(k.t)^n]$	(7)
Modelo de Newton	$RU = \exp(-k.t)$	(8)
Modelo de Henderson & Pabis modificado	$RU = a.\exp(-k.t) + b.\exp(-k_0.t) + c.\exp(k_1.t)$	(9)
Modelo de aproximação da difusão	$RU = a.\exp(-k.t) + (1-a).\exp(-k.b.t)$	(10)

Fonte: Christ (1996); Madamba; Driscoll; Buckle (1996); Doymaz (2004); Mohapatra; Rao (2005)

Em que:

RU = Razão de Umidade do produto, adimensional;

t = tempo de secagem, h;

k, k_0 , k_1 = coeficientes de secagem, h^{-1} ;

a, b, c, n = coeficiente dos modelos.

A comparação ocorreu entre os valores estimados para cada modelo do erro médio relativo (P) e erro médio estimado (ϵ), conforme a equação 11 e a equação 12, respectivamente (CORRÊA et al. 1998):

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \right)$$

Eq. (11)

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y_0)^2}{GLR}}$$

Eq. (12)

Em que:

Y é o valor observado experimentalmente;

Y_0 é o valor calculado pelo modelo;

GLR são os graus de liberdade do modelo (número de observações experimentais).

A seleção dos modelos foram conforme a magnitude do coeficiente de determinação (R^2) e a magnitude do erro médio relativo (P) e estimado (ε) (CORRÊA; RESENDE; RIBEIRO 2006).

4.4 Qualidade microbiológica

As análises microbiológicas foram realizadas antes do processo de secagem com ozonização, após a secagem e após 30 dias de armazenamento, a fim de avaliar a eficiência do gás ozônio na descontaminação fúngica das sementes.

4.4.1 Determinação da contaminação fúngica

A contagem de fungos foi realizada por meio da técnica de plaqueamento em superfície de Ágar Batata Dextrose Acidificado, conforme metodologia proposta pela ABNT MB 2750 (SILVA; JUNQUEIRA; SILVEIRA, 1997).

4.4.1.1 Reagentes e meios de cultura

Para a contagem de fungos nas amostras de soja, foram utilizados os seguintes reagentes/meios de cultura: Água peptonada 0,1% e Ágar Batata Dextrose Acidificado.

4.4.1.2 Diluições seriadas

Para cada ensaio foi separado 25 g da amostra de soja e adicionou-se 225 mL de água peptonada 0,1%, está identificada como a primeira solução (diluição 1:10 ou 10^{-1}). Para o preparo da segunda solução (10^{-2}), transferiu-se para um tubo de ensaio, de forma asséptica, 1 mL da diluição 10^{-1} e, em seguida, adicionou-se 9 mL de água peptonada 0,1%. As diluições subsequentes foram obtidas da mesma maneira, transferindo-se 1 mL da diluição anterior para um tubo de ensaio contendo 9 mL de água peptonada 0,1%.

4.4.1.3 Preparação das placas

Para o plaqueamento em superfície, as placas foram previamente preparadas com 15 a 20 mL do meio selecionado (Ágar Batata Dextrose).

Para o preparo do meio, pesou-se 11,7 g do mesmo e, este foi adicionado a um balão volumétrico contendo 300 mL de água destilada. Após o procedimento na autoclave (Marca Prismatec Autoclaves, Modelo CS, capacidade 18 litros), o meio foi distribuído em placas de Petri (previamente esterilizadas e secas em estufa a 50 °C por 2 h); estas permaneciam por cerca de uma hora, dentro da capela de fluxo laminar (Marca Pachene, Modelo Pa-50), com as tampas parcialmente abertas para secagem do meio.

4.4.1.4 Inoculação

Foram selecionadas duas diluições (10^{-2} e 10^{-3}) e de cada uma delas, foi retirado 0,1 mL da amostra (com auxílio de pipeta esterilizada), para inoculação na superfície das placas de Petri. Com o auxílio da alça de Drigalski, o inóculo foi espalhado em toda a superfície do meio, até que todo o excesso de líquido ser absorvido.

Todo este procedimento foi realizado dentro de uma capela de fluxo laminar, para evitar que o meio externo contamine as amostras inoculadas.

4.4.1.5 Incubação

Decorrido o período de quinze minutos da inoculação, as placas foram incubadas em estufa bacteriológica a 25 °C durante cinco dias. No terceiro dia de incubação as placas foram observadas e, em caso de crescimento de colônias espalhadas, a contagem era realizada

neste dia com intuito de prevenir a perda de placas por espalhamento das colônias. Quando no terceiro dia não se observava risco de espalhamento, as placas eram novamente incubadas e a contagem total era realizada no quinto dia de incubação.

Cada diluição foi inoculada em triplicata, assim considera-se como número de colônias a média aritmética obtida em cada uma das diluições.

4.4.1.6 Contagem das colônias e cálculo dos resultados

Após o quinto dia de incubação efetuava-se a contagem do número de colônias contidas em cada placa de Petri. O número de unidade formadoras de colônia por grama (UFC.g⁻¹) de amostra foi calculado multiplicando o número de colônias observadas pelo inverso da diluição inoculada.

4.5 Qualidade fisiológica das sementes

As análises fisiológicas das sementes foram realizadas antes do processo de secagem com O₃, após a secagem e após 30 dias de armazenamento.

As amostras foram avaliadas a fim de verificar os efeitos da secagem com ozonização nas sementes com a determinação da germinação, condutividade elétrica.

4.5.1 Determinação da germinação

A germinação foi determinada pelo teste-padrão de germinação (TPG), com 50 grãos por tratamento, utiliza-se quatro repetições para cada ensaio. O substrato utilizado foi o papel-germitest, umedecido com água deionizada (volume de água igual a 2,5 vezes o peso do papel). As sementes de soja foram dispostas sobre duas folhas do papel toalha e posteriormente cobertas por mais uma folha do mesmo papel, sendo então enroladas. Os rolos foram colocados em posição vertical dentro de um germinador e mantidas a uma temperatura de 25 ± 1 °C, por um período de sete dias. A primeira contagem foi efetuada no quarto dia e a última, no sétimo dia.

As plântulas foram avaliadas de acordo com os procedimentos descritos pela Regra para Análise de Sementes (BRASIL 2009).

4.5.2 Condutividade elétrica

Foram utilizadas quatro amostras de 50 sementes puras sendo pesadas, colocadas em frascos contendo 75 mL de água deionizada, e mantidas em BOD a 25 °C, durante 24 horas. Após embebição, as amostras foram agitadas e a leitura feita em condutímetro. O valor obtido foi dividido pela massa e os resultados expressos em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ (VIEIRA 1994).

4.6 Qualidade física das sementes

As sementes foram avaliadas quanto aos parâmetros físicos nível de pureza e massa de 100 sementes somente nas propriedades iniciais.

4.6.1 Pureza

Para a realização da análise de pureza pesou-se 100 g de sementes e seguida realizou-se a separação dos seguintes componentes: semente intacta (pura), quebrada, manchada, ardida, trincada e fragmento. Após isso pesou-se novamente individualmente cada componente para calcular a porcentagem (BRASIL 2009). A pureza é determinada pelo seguinte cálculo:

$$\text{Pureza (\%)} = \frac{\text{Peso sementes puras}}{\text{Peso total da amostra}} \times 100 \quad \text{Eq. (13)}$$

4.6.2 Massa de 100 sementes

Para a determinação da massa de 100 sementes foram utilizadas quatro subamostras com 100 sementes, as quais eram pesadas individualmente em balança de precisão. Os resultados foram expressos em gramas por 100 sementes (BRASIL 2009).

4.7 Análises físico-químicas

Para avaliar os efeitos dos parâmetros físico-químico, as análises foram realizadas antes, após a secagem com ozonização e após 30 dias de armazenamento, sendo avaliado o teor de água e índice de peróxidos.

4.7.1 Determinação do teor de água

A determinação do teor de água das amostras foi realizada de acordo com as Regras para análise de sementes (BRASIL 2009). Foram pesados 20 g de amostra de cada tratamento e levadas para estufa de secagem em temperatura de 105 ± 3 °C por 24 h. Após este período, as amostras foram retiradas, e resfriadas em dessecador até temperatura ambiente, e posteriormente pesadas. A determinação do teor de água das amostras se dá pela diferença de massas antes e após secagem em estufa.

4.8 Análise estatística

De acordo com Box e Wilson (1951), a análise por superfície de resposta (ASR), avalia os efeitos de dois ou três fatores e suas interações sobre as variáveis de resposta. Assim, ASR é uma coletânea de técnicas matemáticas e estatísticas que têm sido utilizadas com sucesso para desenvolver, melhorar e otimizar processos.

Para análise estatística foi calculado os efeitos principais e as interações dos fatores temperatura do ar de secagem (T) e tempo de ozonização (t) sobre as respostas, determinando-se os efeitos significativos ($p < 0,1$) e ajustando-se um modelo de primeira ordem (Equação 16) para correlacionar os fatores e suas respostas. Os coeficientes significativos do modelo foram avaliados por meio do teste “t” (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010; RODRIGUES; IEMMA, 2014).

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^2 b_i X_i + \sum_{i,j=1}^2 b_{ij} X_i X_j \quad \text{eq.(16)}$$

Onde:

b_0 , b_j , b_{ij} são os coeficientes da regressão do modelo;

x_i e x_j são os fatores independentes, em valores codificados.

A validade estatística do modelo foi verificada pelo teste-F determinando assim a sua capacidade de predição e a validade dos modelos matemáticos obtidos, adotando-se o nível de 10% de probabilidade.

O ajuste dos modelos matemáticos de secagem das sementes de soja aos dados experimentais, realizou-se por análise de regressão não linear pelo método Simplex, Quase – Newton.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização inicial das sementes de soja

Na tabela 4 estão apresentadas as propriedades das sementes antes da secagem quanto ao teor de água (%), análise de germinação (%), condutividade elétrica ($\text{uS.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$), Análise microbiológica de fungos (UFC.g^{-1}), Pureza (grãos intactos) (%), Massa dos 100 grãos (g).

Tabela 4 Propriedades iniciais das sementes de soja, variedade NK 7059 V-máx RR, colhidas em 24/01/2016, Medianeira - PR

Análises	Resultados
Teor de água (% b.u)*	20,18
Análise de germinação (%)	96
Condutividade elétrica ($\text{uS.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$)	55,605
Contagem fúngica (UFC.g^{-1})	227×10^{-2}
Pureza (grãos intactos) (%)	84,57
Massa dos 100 grãos (g)	16,0015

*b.u. – base úmida

5.2 Teor de água

Os valores médios do teor de água (%) das sementes de soja após a secagem (AS) estão apresentados na Tabela 5, segundo o planejamento fatorial 2^2 e após o período de armazenamento de 30 dias (AA).

Tabela 5 Valores médios do teor de água (%B.U.) das sementes de soja, após a secagem (AS) e após o armazenamento (AA)

Condições de secagem		Teor de água (% B.U)	
Tempo de aplicação de O ₃ (Minutos)	Temperatura do ar de secagem (°C)	AS	AA
-1 (5)	-1 (30)	15,40	14,33
+1 (15)	-1 (30)	14,38	13,30
-1 (5)	+1 (50)	14,74	12,78
+1 (15)	+1 (50)	16,14	15,59
0 (10)	0 (40)	14,69	13,07
0 (10)	0 (40)	15,22	14,87
0 (10)	0 (40)	13,66	12,00
0 (10)	0 (40)	13,22	12,50

Os teores de água após a secagem (AS) e após o armazenamento (AA) (Tabela 5) apresentaram diminuição de um período para outro, tendendo a atingir a umidade de equilíbrio. Tal fato se deve à umidade relativa do ar no local de armazenamento nas épocas de determinação do teor de água das sementes, que conseqüentemente, fez com que elas entrassem em equilíbrio durante o período de armazenamento. Entretanto, o grau de umidade de equilíbrio ficou acima do recomendado para um armazenamento seguro pois, segundo Silva (2008), para um armazenamento seguro de sementes de soja para um ano, o teor de umidade (%) deve ser de 11-12%.

As análises de variância dos teores de água das sementes de soja AS e AA não apresentaram diferenças significativas ($p < 0,1$). Os resultados já eram os esperados, pois a secagem era interrompida quando o teor de água se aproximava de 13%.

Os teores de água das sementes de soja submetidas ao processo de secagem sem adição de ozônio estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 Teor de água (% B.U.) de sementes de soja após a secagem sem a aplicação de ozônio

Temperaturas do ar de secagem (°C)	Após a secagem (% B.U.)	Após Armazenamento (% B.U.)
30	15,5	13,2
40	15,0	13,0
50	15,9	12,8

Os teores de água das sementes de soja secas sem a adição de O₃ apresentaram diminuição durante o armazenamento, resultado semelhante ao observado nas sementes secas com a aplicação de ozônio.

5.2.1 Curvas de secagem de soja com adição de O₃

Os teores de água de equilíbrio (U_e %), calculados pela equação de Henderson (Equação 1) em função das condições de secagem desenvolvidas neste estudo, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 Teores de umidade de equilíbrio (U_e %) em função da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem

Ensaio			
Tempo de aplicação do O ₃ (Minutos)	Temperatura do ar de secagem (°C)	Umidade relativa do ar de secagem (%)	Umidades de equilíbrio (U _e %)
5	30	25	6,3179
15	30	40	9,2171
5	50	36	8,0865
15	50	58	12,5216
10	40	35	8,0657
10	40	43	9,6085
10	40	50	11,0289
10	40	49	10,8201
-	30	43	9,8159
-	40	46	10,2073
-	50	43	9,4119

Considerando a temperatura e a umidade relativa do ar de secagem, foi calculada a umidade de equilíbrio higroscópico utilizando-se a equação de Henderson (equação 1) e para a soja foram usadas as constantes $C = 5,76 \times 10^{-5}$ e $n = 1,52$.

Após a determinação das umidades de equilíbrio, foram determinadas as Razões de Umidade (RU) (Equação 2). Os dados experimentais da RU foram ajustados às equações de secagem (Equação 03 a 10) em função do tempo de secagem, mediante regressão múltipla não-linear, método Gauss-Newton. O modelo de secagem que melhor prediz as curvas de

secagem foi determinado pelo erro médio relativo (P) e erro médio estimado (ϵ), conforme as Equações 14 e 15 e pelo coeficiente de correlação R^2 .

Segundo Mohapatra e Rao (2005) e Kashaninejad et al. (2007), os valores para o erro médio relativo (P) e o desvio padrão da estimativa (ϵ) devem ser inferiores a 10%. O valor P indica o desvio dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo. Diante disso, os valores se encontram dentro dos estimados em literatura assim como os valores médios do coeficiente de regressão (R^2) foram superiores a 99%, conforme a Tabela 8.

Tabela 8 Parâmetros estatísticos dos valores médios obtidos para os oito modelos de secagem (Equações 03 a 10), para as condições de secagem

Modelos	R^2	ϵ	P
Page	0,99983	0,011403888	-41,39803
Henderson e Pabis	0,99966	0,019801412	-9,76167
Midilli	0,99999	0,000039000	-8,24169
Wang e Sing	0,99561	0,076852140	-71,48143
Page Modificado	0,99983	0,011403858	-41,39774
Newton	0,99964	0,007622747	-4,06796
Henderson & Pabis modificado	0,99964	0,034297052	-9,76127
Aproximação da difusão	0,99989	0,002440342	-33,54981

O modelo que melhor apresentou ajuste aos dados experimentais foi a equação de Midilli, conforme dados apresentados na Tabela 8. Os valores de erro médio estimado (ϵ), coeficiente de determinação ajustado (R^2) e erro médio relativo (P) para o modelo de Midilli ajustado foram respectivamente 0,99999, 0,000039 e -8,24169.

Conforme Madamba; Driscoll e Buckle (1996), sozinho, o coeficiente de determinação (R^2) não constitui bom critério para a seleção de modelos não lineares. Desta forma, os valores para o erro médio estimado (ϵ) e erro médio relativo (P) foram considerados. Os valores de P indicam o desvio dos valores observados em relação à curva estimada pelo modelo (Kashaninejad et al., 2007) e segundo Mohapatra e Rao (2005), valores inferiores a 10% são recomendados para a seleção de modelos.

Segundo Andrade et al. (2014), em seus estudos sobre a cinética de secagem dos grãos de abóbora para a velocidade de 0,33 m.s⁻¹, submetidos a diferentes temperaturas do ar de secagem (35, 45, 55 e 70 °C), o modelo de Aproximação da Difusão foi o que melhor representou o fenômeno. Silva (2013) tinha como objetivo determinar a cinética de secagem da banana nanica (*Musa paradisíaca*) nas temperaturas de 40, 50, 60, 70 °C e velocidade do ar 1,5 m/s e observou que os melhores ajustes foram os das equações Page, Dois termos e Aproximação da Difusão. Os valores médios dos parâmetros do modelo de Midilli estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 Coeficientes do modelo Midilli para prever a razão de umidade durante a secagem de sementes de soja

Tempo de O ₃ (Min)	Temperatura (°C)	Coeficientes do modelo			
		a	k	n	b
5	30	0,999799	0,043927	0,567572	0,000338
15	30	0,999865	0,065607	0,598648	-0,000137
5	50	1,003577	0,092599	0,708615	-0,000687
15	50	1,00377	0,092599	1,090273	-0,000890
10	40	1,000378	0,107457	0,611344	-0,000154
10	40	1,000631	0,076736	0,613347	-0,000390
10	40	1,001287	0,077432	0,633503	-0,000459
10	40	1,002431	0,07744	0,659918	-0,000567
-	30	1,001135	0,067084	0,312026	-0,000163
-	40	1,013593	0,070947	0,668818	-0,000510
-	50	1,086274	0,677325	0,669946	-0,001611

a; k; n; b coeficientes do modelo ajustados por regressão não linear, método Quase – Newton

Observa-se que os coeficientes **k**, **a** e **n** aumentaram com o aumento da temperatura a partir do modelo de secagem Midilli. Entretanto, o coeficiente **b** diminuiu com o aumento da temperatura do ar de secagem. Resultados semelhantes foram encontrados nos estudos feitos por Martinazzo et al. (2007) e Gasparin et al. (2017).

Segundo Babalis e Belessiotis (2004), o coeficiente **k** determina as condições externas de secagem e está relacionado com a difusividade efetiva no processo de secagem no período decrescente.

A Figura 4 representa o bom ajuste do modelo do Midilli na descrição dos resultados experimentais e o cálculo da razão de umidade em função do tempo de secagem.

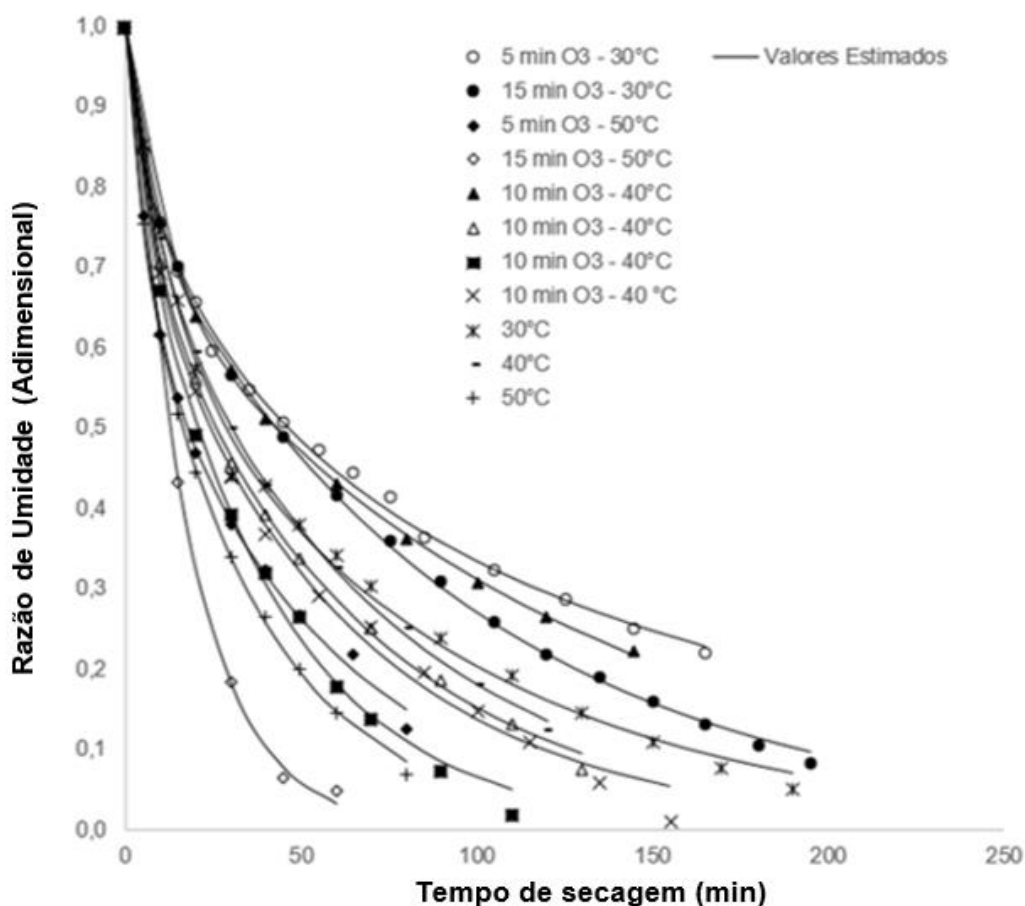


Figura 4 Valores observados e estimados pelo modelo de Midilli para descrever a curva de secagem das sementes de soja para diferentes temperaturas e tempos de aplicação de ozônio.

As curvas apresentadas na figura acima demonstram que o teor de umidade existente no início do processo de secagem é exponencialmente reduzido até alcançar o teor de umidade de equilíbrio. Este comportamento demonstra a inexistência do período de secagem constante. Assim, o processo de secagem do produto aconteceu apenas no período decrescente de secagem, a qual foi controlada pela difusão interna do líquido até a superfície onde acontece a evaporação.

Constatou-se que o tempo de secagem depende da temperatura e que a diminuição do conteúdo de umidade é mais rápida no início do processo de secagem das sementes de soja.

Segundo Yilbas; Hussain e Dincer (2003), a transferência de calor e massa ocorre simultaneamente ao processo de secagem e envolve o produto e ar de secagem, que consiste na remoção do excesso de água contida no grão por evaporação. Fioreze (2004) relata que, durante o processo de secagem, o calor evapora a água do alimento e o ar remove o vapor d'água, conseqüentemente há a redução tanto da umidade como da atividade de água.

A modelagem dos coeficientes **a**, **k**, **n** e **b** (Tabela 9) para o processo de secagem de sementes de soja foi modelada segundo o planejamento fatorial 2² em função do tempo de aplicação de ozônio e da temperatura de secagem.

Na Tabela 10, são apresentados os efeitos estimados das condições de secagem sobre o coeficiente **a** da equação de Midilli para predizerem o processo de secagem de soja e os parâmetros da regressão da Equação 5.

Tabela 10 Efeitos estimados das condições de secagem sobre o coeficiente **a** do modelo Midilli para predizer o processo de secagem

Fatores	Efeitos	P-valor	Coeficientes
Média/Interação (b ₀)	1,001467	0,000000*	1,001467
Tempo (Min) (t) (b _i)	0,000130	0,896612 ^{ns}	0,000065
Temperatura (T) (b _j)	0,003841	0,024779*	0,001921
T x t (b _{ij})	0,000064	0,949134 ^{ns}	0,000032

* significativo a 10% de probabilidade. ^{ns} não significativo a 10% de probabilidade

De acordo com a Tabela 10, a temperatura do ar de secagem teve efeito significativo e positivo sobre o coeficiente **a**, ou seja, para temperaturas mais altas, os valores do coeficiente **a** são maiores. O tempo de aplicação de O₃ e a interação entre os fatores estudados não foram significativos a 10% de probabilidade.

O modelo para predizer o coeficiente **a** em função da temperatura do ar de secagem (T) é apresentado na Equação 17.

$$\hat{a} = 1,001467 + 0,001921 * T \quad \text{eq. (17)}$$

Sendo:

\hat{a} = Estimativa do coeficiente **a** do modelo de Midilli (Eq. 5);

T = valor codificado de temperatura do ar de secagem.

A validação do modelo foi feita pela ANOVA (Tabela 11), na qual apresentou coeficiente de determinação (R²) de 82% da variabilidade de resposta, pode ser explicada pelo modelo. Houve diferença significativa entre as amostras (p<0,1) para a regressão e não apresentou falta de ajuste aos dados.

Tabela 11 Resumo da análise de variância para predizer o coeficiente **a** da equação do Modelo de Midilli

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	F	F tab
Regressão	0,00001	1	0,00001	27,72	3,78
Resíduo	0,00000	6	0,00000		
Falta de ajuste	0,00000	3	0,00000	0,27	5,39
Erro puro	0,00000	3	0,00000		
Total	0,00002	7			

Notas SQ = Soma dos quadrados, GL = Graus de liberdade, MQ = média ao quadrado, F = Estatística, F tab = F tabelado, Coeficiente de determinação (R^2) = 0,82.

A variação do coeficiente **a** é apresentada em função da temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$) na Figura 5. Os valores do coeficiente **a** aumentaram linearmente em função da temperatura. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos com sementes de feijão-caupi por Camicia et al. (2015) e na secagem de *Mentha piperita* por Gasparin et al. (2017), na qual o valor do coeficiente **a** aumentou com o aumento da temperatura do ar de secagem.

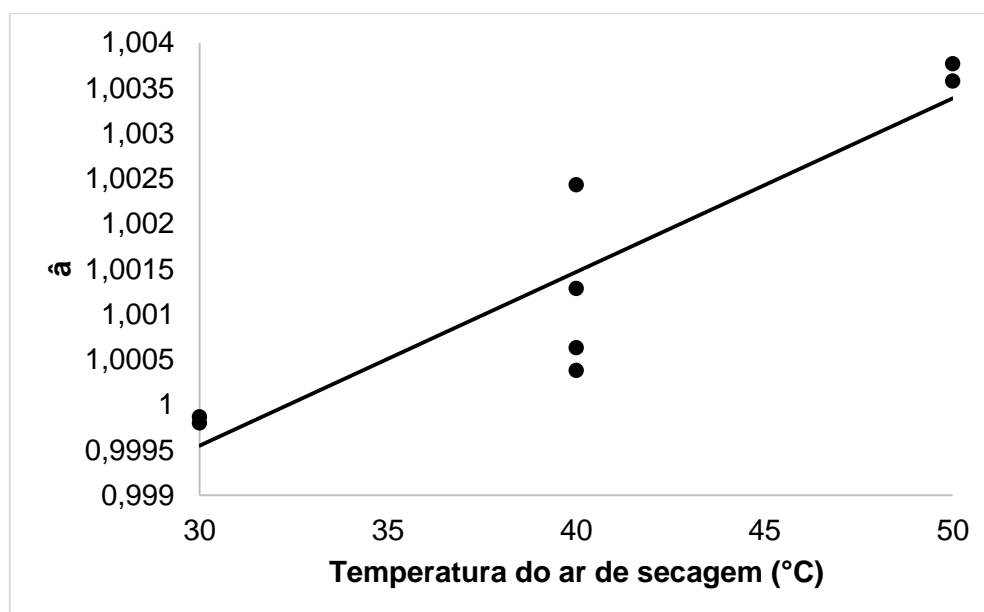


Figura 5 Variação do coeficiente **a** em função da temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$).

O aumento do valor do coeficiente **a** indica maior taxa de remoção de água. E esse resultado foi encontrado em diversos trabalhos em vários produtos agrícolas, como: Yaldiz, Ertekin e Uzun (2001); Azzouz et al. (2002); Kaymak-Ertekin (2002); Akpinar; Bicer e Yildiz (2003); Mohapatra e Rao (2005).

Na Tabela 12, os efeitos estimados para o coeficiente **k** da equação de Midilli são apresentados para predizer o processo de secagem de soja, juntamente com os parâmetros da regressão.

Tabela 12 Efeitos estimados das condições de secagem sobre o coeficiente **k** do modelo Midilli para predizer o processo de secagem

Fatores	Efeitos	P-valor	Coefficientes
Média/Interação (b ₀)	0,079225	0,000668*	0,079225
Tempo (Min) (t) (b _i)	0,010840	0,525466 ^{ns}	0,005420
Temperatura (T) (b _j)	0,037832	0,087681*	0,018916
T x t (b _{ij})	-0,010840	0,525466 ^{ns}	-0,005420

* significativo a 10% de probabilidade. ^{ns} não significativo a 10% de probabilidade

De acordo com a Tabela 12, a temperatura do ar de secagem teve efeito significativo e positivo sobre o coeficiente **k**, ou seja, para temperaturas mais elevadas, os valores do coeficiente **k** são maiores. O tempo de aplicação do O₃ e a interação entre os fatores estudados não foram significativos a 10% de probabilidade.

O modelo para predizer o coeficiente **k** em função da temperatura do ar de secagem (T) é apresentado na Equação 18:

$$\hat{k} = 0,079225 + 0,018916 \cdot T \quad \text{eq. (18)}$$

Sendo:

\hat{k} = Coeficiente k do modelo de Midilli (Eq. 5);

T = valor codificado de temperatura do ar de secagem.

O modelo foi validado pela ANOVA (Tabela 13), na qual apresentou coeficiente de determinação (R²) de 55% da variabilidade de resposta e pode ser explicada pelo modelo. Houve diferença significativa entre as amostras (p<0,1) para a regressão e não apresentou falta de ajuste aos dados.

Tabela 13 Resumo da análise de variância para predizer o coeficiente **k** da equação do modelo de Midilli

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	F	F tab
Regressão	0,00143	1	0,00143	7,36	3,78
Resíduo	0,00117	6	0,00019		
Falta de ajuste	0,00048	3	0,00016	0,70	5,39
Erro puro	0,00069	3	0,00023		
Total	0,00260	7			

Notas SQ = Soma dos quadrados, GL = Graus de liberdade, MQ = média ao quadrado, F = Estatística, F tab = F tabelado, Coeficiente de determinação (R^2) = 0,55.

A variação do coeficiente **k** é apresentada em função da temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$) na Figura 6. O coeficiente **k** indicou tendência a aumentar o valor, conforme se elevou a temperatura durante a secagem de sementes de soja. Resultados semelhantes foram encontrados pelo estudo de Martinazzo et al. (2007), Gasparin et al. (2017), Camicia et al. (2015).

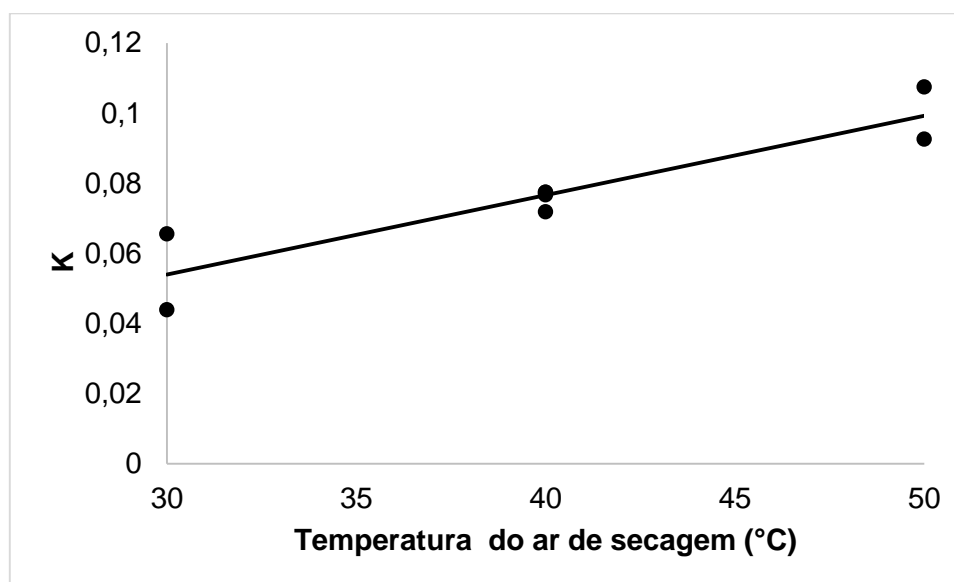


Figura 6 Variação do coeficiente **k** em função da temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$).

O coeficiente **k** pode ser utilizado como uma aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionado à difusividade efetiva no processo da secagem, no período decrescente (MADAMBA; DRISCOLL; BUCKLE 1996; BABALIS; BELESSIOTIS, 2004).

Na Tabela 14, os efeitos estimados das condições de secagem são apresentados sobre o coeficiente **n** da equação de Midilli para prever o processo de secagem de soja, juntamente com os coeficientes da regressão.

Tabela 14 Efeitos estimados das condições de secagem sobre o coeficiente **n** do modelo de Midilli para prever o processo de secagem

Fatores	Efeitos	P-valor	Coeficientes
Média/Interação (b_0)	0,685403	0,000003*	0,685403
Tempo (Min) (t) (b_i)	0,206327	0,002775*	0,103184
Temperatura (T) (b_j)	0,316324	0,000789*	0,158167
$T \times t$ (b_{ij})	0,175291	0,004456*	0,087645

De acordo com a Tabela 14, a temperatura do ar de secagem teve efeito significativo e positivo sobre o coeficiente **n**, ou seja, para temperaturas maiores, os valores dos coeficientes são maiores. O tempo de aplicação de O_3 e a interação entre os fatores estudados foram significativos a 10% de probabilidade.

O modelo matemático para prever o coeficiente **n** da equação do Modelo de Midilli em função da temperatura do ar de secagem (T) está apresentado na Equação 19:

$$\hat{n} = 0,685403 + 0,103184 *t + 0,158167*T + 0,087645*T*t \quad \text{eq. (19)}$$

Sendo:

\hat{n} = Coeficiente n do modelo de Midilli (Eq. 5);

t = valor codificado de tempo da aplicação do ozônio;

T = valor codificado de temperatura do ar de secagem.

O modelo foi validado pela ANOVA (Tabela 15), na qual apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 87% da variabilidade de resposta, que pode ser explicada pelo modelo. Houve diferença significativa entre as amostras ($p < 0,1$) para a regressão, entretanto, apresentou falta de ajuste aos dados.

Tabela 15 Resumo da análise de variância para prever o coeficiente n da equação do Modelo de Midilli

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	F	F tab
Regressão	0,17338	1	0,05779	8,72	4,19
Resíduo	0,02651	6	0,00663		
Falta de ajuste	0,02498	3	0,02498	48,91	5,54
Erro puro	0,00153	3	0,00051		
Total	0,19989	7			

Notas SQ = Soma dos quadrados, GL = Graus de liberdade, MQ = média ao quadrado, F = Estatística, F tab = F tabelado, Coeficiente de determinação (R^2) = 0,87.

Na Figura 7, a superfície de resposta do coeficiente **n** é apresentada em função do tempo de aplicação de ozônio (minutos) e da temperatura do ar de secagem (°C). Para as temperaturas mais elevadas (50 °C), o efeito do tempo de ozonização é maior, ou seja, o valor de **n** é maior, enquanto, para 30 °C os menores tempos de O₃ (5 minutos) levam a um coeficiente **n** menor.

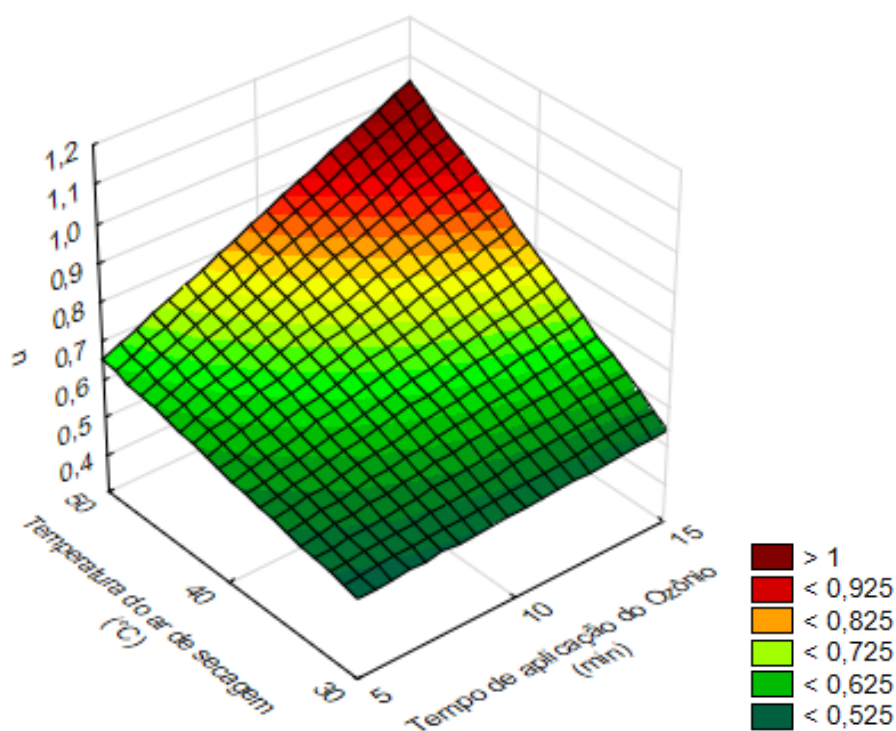


Figura 7 Superfície de resposta para prever os valores do coeficiente **n** para o processo de secagem.

Na Tabela 16, os efeitos estimados das condições de secagem são apresentados sobre o coeficiente **b** da equação de Midilli para prever o processo de secagem de soja, juntamente com os parâmetros da regressão.

Tabela 16 Efeitos estimados das condições de secagem no coeficiente **b** do modelo de Midilli para prever o processo de secagem

Fatores	Efeitos	P-valor	Coefficientes
Média/Interação (b_0)	-0,000368	0,009469*	-0,000368
Tempo (min) (t) (b_i)	-0,000339	0,147951 ^{ns}	-0,000170
Temperatura (°C) (T) (b_j)	-0,000889	0,014711*	-0,000445
T x t (b_{ij})	0,000136	0,493481 ^{ns}	0,000068

* significativo a 10% de probabilidade. ^{ns} não significativo a 10% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 16, a temperatura do ar de secagem teve efeito significativo e negativo sobre o coeficiente **b**, ou seja, para temperaturas menores, os valores do coeficiente **b** são menores. O tempo de aplicação de O₃ e a interação entre os fatores estudadas não foram significativos a 10% de probabilidade.

O modelo matemático para prever o coeficiente **b** da equação do Modelo de Midilli em função da temperatura do ar de secagem (T) está apresentado na Equação 20:

$$\hat{b} = 0,009469 + 0,014711 \cdot T \quad \text{eq. (20)}$$

Sendo:

\hat{b} = Coeficiente **b** do modelo de Midilli (Eq. 5);

T = Valor codificado de temperatura do ar de secagem.

O modelo foi validado pela ANOVA (Tabela 17), a qual apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 77% da variabilidade de resposta, que pode explicada pelo modelo. Houve diferença significativa entre as amostras ($p < 0,1$) para a regressão e houve ajuste dos dados.

Tabela 17 Resumo da análise de variância para prever o coeficiente **b** da equação do Modelo de Midilli

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	F	F tab
Regressão	$7,90 \times 10^{-7}$	1	$7,90 \times 10^{-7}$	20,63	3,78
Resíduo	$2,30 \times 10^{-7}$	6	$3,88 \times 10^{-8}$		
Falta de ajuste	$1,38 \times 10^{-7}$	3	$4,60 \times 10^{-8}$	1,51	5,39
Erro puro	$9,18 \times 10^{-8}$	3	$3,06 \times 10^{-8}$		
Total	$1,02 \times 10^{-6}$	7			

Notas SQ = Soma dos quadrados, GL = Graus de liberdade, MQ = média ao quadrado, F = Estatística, F tab = F tabelado, Coeficiente de determinação (R^2) = 0,77.

A variação do coeficiente **b** é apresentada em função da temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$) na Figura 8. O coeficiente **b** diminui o valor, conforme aumenta a temperatura durante a secagem de sementes de soja, resultados semelhantes também foram encontrados por Gasparin et al. (2017).

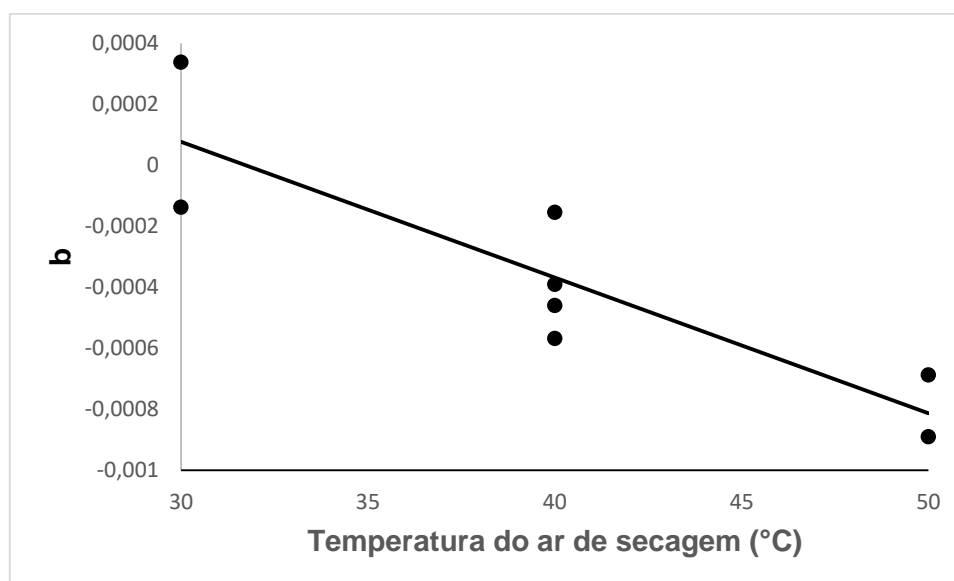


Figura 8 Variação do coeficiente **b** em função da temperatura do ar de secagem ($^{\circ}\text{C}$).

5.3 Avaliação microbiológica

Na Tabela 18, estão apresentados os valores médios da Contagem fúngica (UFC.g⁻¹) para a diluição 10⁻² das sementes de soja após a secagem (AS) e após o armazenamento (AA).

Tabela 18 Valores médios da contagem fúngica (UFC.g⁻¹) de sementes de soja, após a secagem (AS) e após o armazenamento (AA)

Condições de secagem		Contagem fúngica (UFC.g ⁻¹)	
Tempo de aplicação de O ₃ (Minutos)	Temperatura do ar de secagem (°C)	AS	AA
-1 (5)	-1 (30)	13x10 ⁻²	14x10 ⁻²
+1 (15)	-1 (30)	1x10 ⁻²	0
-1 (5)	+1 (50)	0	0
+1 (15)	+1 (50)	0	0
0 (10)	0 (40)	2x10 ⁻²	2x10 ⁻²
0 (10)	0 (40)	0	6x10 ⁻²
0 (10)	0 (40)	1x10 ⁻²	0
0 (10)	0 (40)	1x10 ⁻²	2x10 ⁻²

A aplicação do gás ozônio durante a secagem apresentou redução do número de colônias fúngicas. O melhor resultado encontrado foi na temperatura de 50 °C e tempo de aplicação do gás variou de 5 e 15 minutos.

Na Tabela 19, são apresentados os efeitos estimados das condições de secagem na contagem fúngica após a secagem e os parâmetros da equação 5.

Tabela 19 Efeitos estimados das condições de secagem na contagem fúngica na diluição 10⁻², após a secagem (AS) e os coeficientes do modelo linear

Fatores	Efeitos	P-valor	Coeficientes
Média/Interação (b ₀)	0,0225	0,004395*	0,0225
Tempo (min) (t) (b _i)	-0,0600	0,005208*	-0,0300
Temperatura (T) (b _j)	-0,0700	0,003336*	-0,0350
T x t (b _{ij})	0,0600	0,005208*	0,0300

* significativo a 10% de probabilidade. ns não significativo a 10% de probabilidade

Conforme a Tabela 19, o tempo e a temperatura do ar de secagem apresentaram efeito significativo e negativos para a contagem fúngica. O aumento do tempo de aplicação de O₃ e

o aumento da temperatura do ar de secagem reduzem a contagem fúngica no processo de secagem. O fator de interação também foi significativo com 10% de probabilidade.

O modelo matemático preditivo para a temperatura (T) e o tempo de secagem (t) para prever a contagem fúngica (AS) são apresentados na Equação 21:

$$\text{Contagem fúngica (AS)} = 0,0225 - 0,0300*t - 0,0350*T + 0,0300*T*t \quad \text{eq. (21)}$$

Sendo:

t = valor codificado de tempo da aplicação do ozônio;

T = valor codificado de temperatura do ar de secagem.

O modelo foi validado pela ANOVA (Tabela 20), cujo coeficiente de determinação (R^2) foi de 89% da variabilidade de resposta, que pode ser explicada pelo modelo. O modelo foi considerado preditivo pelo teste F, contudo não há ajuste dos dados. A superfície de resposta foi gerada a partir do modelo para verificar a tendência da contagem fúngica em função da temperatura do ar de secagem e do tempo de aplicação do O_3 .

Tabela 20 Resumo da análise de variância para prever a contagem fúngica (AS) em secagem de sementes de soja

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	F	F tab
Regressão	0,0121	3	0,00403	11,13	4,19
Resíduo	0,0015	4	0,00036		
Falta de ajuste	0,0013	1	0,00125	18,75	5,54
Erro puro	0,0002	3	0,00007		
Total	0,0136	7			

Notas SQ = Soma dos quadrados, GL = Graus de liberdade, MQ = média ao quadrado, F = Estatística, F tab = F tabelado, Coeficiente de determinação (R^2) = 0,89.

Na Figura 9, a superfície de resposta para a contagem fúngica (AS) é apresentada em função do tempo de aplicação de O_3 e a temperatura do ar de secagem. Nas menores temperaturas e tempos (30 °C e 05 minutos, respectivamente), verificou-se maior número de colônias fúngicas ($UFC.g^{-1}$). As sementes foram secas em condições de maiores temperaturas e a descontaminação das mesmas foi mais eficiente quando se aplicou maior tempo de aplicação de O_3 , todavia não foi registrada a presença de colônias na contagem fúngica.

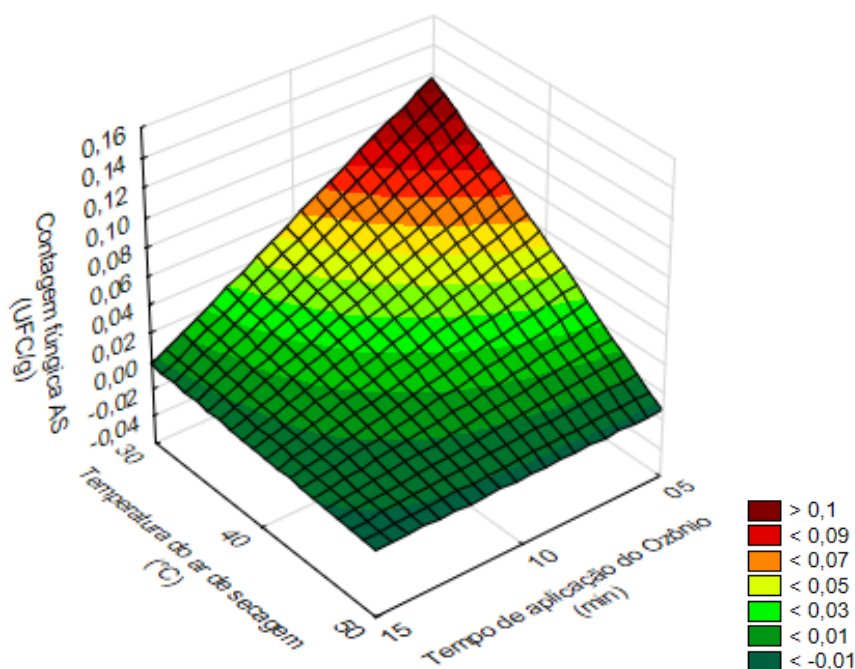


Figura 9 Superfície de resposta para prever os valores estimados da contagem fúngica (AS) para as sementes de soja.

Na Tabela 21, são apresentados os efeitos estimados quanto à contagem fúngica para sementes de soja secas e armazenadas por 30 dias (AA) e os coeficientes da Equação 23.

Tabela 21 Efeitos estimados da contagem fúngica em sementes de soja secas com aplicação de O₃ e armazenadas por 30 dias (AA)

Fatores	Efeitos	P-valor	Coeficientes
Média/Interação (b ₀)	0,0300	0,043356*	0,0300
Tempo (min) (t) (b _i)	-0,0700	0,068904*	-0,0350
Temperatura (T) (b _j)	-0,0700	0,068904*	-0,0350
T x t (b _{ij})	0,0700	0,068904*	0,0350

* significativo a 10% de probabilidade. ^{ns} não significativo a 10% de probabilidade

O tempo de aplicação de O₃ e a temperatura do ar de secagem apresentaram efeitos significativos (Tabela 19) e negativos. Valores que indicam que sementes de soja secas com o maior tempo de aplicação de O₃ (15 min) e maior temperatura do ar de secagem (50 °C) apresentam menor número de colônias fúngicas (UFC.g⁻¹).

O modelo matemático que prediz a contagem fúngica em função do tempo e da temperatura do ar de secagem é apresentado na Equação 22:

$$\text{Contagem fúngica (UFC.g}^{-1}\text{) AA} = 0,0300 - 0,0350*t - 0,0350* T + 0,0350*T*t \quad \text{eq. (22)}$$

Sendo:

t = valor codificado de tempo da aplicação do ozônio;

T = valor codificado de temperatura do ar de secagem.

A validação do modelo foi feita pela ANOVA (Tabela 22), na qual apresentou-se coeficiente de determinação (R^2) de 88% da variabilidade de resposta, que pode ser explicada pelo modelo, sendo preditivo e sem falta de ajuste dos dados.

Tabela 22 Resumo da análise de variância para prever a contagem fúngica (AS) em secagem de sementes de soja secas com aplicação de O_3 e armazenadas por 30 dias

Fonte de variação	SQ	GL	MQ	F	F tab
Regressão	0,0147	3	0,00490	9,33	4,19
Resíduo	0,0021	4	0,00052		
Falta de ajuste	0,0002	1	0,00020	0,32	5,54
Erro puro	0,0019	3	0,00063		
Total	0,0168	7			

Notas SQ = Soma dos quadrados, GL = Graus de liberdade, MQ = média ao quadrado, F = Estatística, F tab = F tabelado, Coeficiente de determinação (R^2) = 0,88.

Na Figura 10, a superfície de resposta da contagem fúngica (AS) é apresentada em função do tempo de aplicação de O_3 e temperatura do ar de secagem. A temperatura do ar de secagem de 50 °C e tempo de ozonização 15 minutos apresentaram menor número de colônias fúngicas.

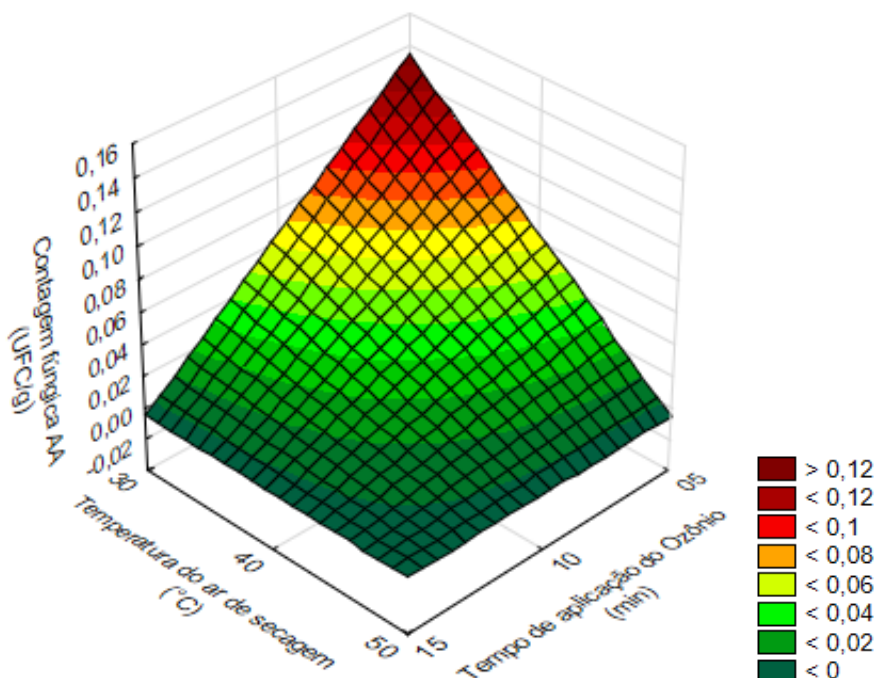


Figura 10 Superfície de resposta para prever os valores estimados da análise fúngica (AA) para as sementes de soja.

Segundo Brandani (2014), no estudo sobre o efeito do gás ozônio no controle de fungos em sementes de soja, o uso do gás pode ser eficiente no controle de fungos em

sementes. Porém, é preciso realizar um ajuste na metodologia, na concentração e no período de exposição. Esse autor ainda relata que o tratamento de melhor qualidade para a eliminação de fungos foi o de concentração de 20 mg.L e período de exposição de 1,5 horas. Entretanto, esse tratamento altera a qualidade fisiológica da semente de soja.

O efeito do ozônio para a redução do número de fungos também foi apresentado no estudo de Santos (2014), e os autores observaram que houve redução significativa ($p < 0,01$) da quantificação de fungos filamentosos e leveduras nos grãos de arroz após o tratamento com ozônio nos períodos de exposição de 12, 24, 36, 48 e 60 horas. De acordo com Alencar (2009), no processo de ozonização em grãos de amendoim, ocorreu decréscimo significativo ($p < 0,05$) na contagem de fungos totais à medida que se elevou o período de exposição dos grãos ao gás ozônio.

A inativação microbiana pelo ozônio é um processo complexo que atua sobre vários constituintes da membrana e da parede celular (por exemplo: gorduras insaturadas) juntamente com os constituintes de conteúdo celular (por exemplo: enzimas e ácidos nucleicos) (CULLEN et al., 2009). Os microrganismos são inativados pelo rompimento da camada celular ou desintegração levando à lise celular. A interrupção resultante ou a lise associada ao ozônio é um mecanismo de inativação mais rápido do que o de outros desinfetantes, os quais requerem que o agente desinfetante penetre através da membrana celular para ser eficaz (PASCUAL, LLORCA e CANUT, 2007).

Os resultados da análise fúngica (UFC.g⁻¹) das sementes de soja sem aplicação de ozônio estão apresentados na Tabela 23. Assim, fez-se somente a secagem das sementes em temperaturas determinadas.

Tabela 23 Contagem fúngica de amostras de sementes de soja após a secagem sem aplicação de ozônio

Temperaturas (°C)	Após a secagem (AS) (UFC.g ⁻¹)	Após o armazenamento (AA) (UFC.g ⁻¹)
30	39 x 10 ⁻²	46 x 10 ⁻²
40	32 x 10 ⁻²	70 x 10 ⁻²
50	17 x 10 ⁻²	61 x 10 ⁻²

Após o período de armazenamento, as sementes que não receberam a aplicação de ozônio apresentaram aumento do número de colônias fúngicas (Tabela 23). E, segundo Caldwell et al. (2005), Deschamps (2006), Gonçalves et al. (2003), diversos fatores influenciam a promoção da contaminação fúngica das sementes, tais como: umidade, temperatura, trocas gasosas, características do tegumento da semente, maturidade, infestação por fungos e insetos.

Contudo, as amostras de sementes de soja que receberam a aplicação do gás ozônio (Tabela 18) apresentaram redução do número de colônias fúngicas em relação à amostra

controle (Tabela 4). Assim, evidencia-se que o ozônio exerceu influência sobre a desinfecção de fungos das sementes de soja.

Ozkan et al. (2011) relatam que a toxicidade do ozônio está relacionada com a umidade relativa (UR) do ambiente, pois o maior valor de umidade relativa provoca maior toxicidade do gás ozônio. Os autores supracitados também observaram efeito sanitizante do ozônio em ambiente com 95% de UR.

5.4 Teste padrão de germinação (TPG)

Os valores médios do teste padrão de germinação (%) das sementes de soja após a secagem (AS) estão apresentados na Tabela 24, com as temperaturas de 30, 40 e 50 °C e tempos de 5, 10 e 15 minutos de aplicação de O₃, segundo o planejamento fatorial 2² e após o período de armazenamento de 30 dias (AA).

Tabela 24 Valores médios do teste padrão de germinação (%) de sementes de soja após a secagem (AS) e após o armazenamento (AA) por 30 dias

Condições de secagem		Porcentagem de germinação (%)	
Tempo de aplicação O ₃ (Minutos)	Temperatura do ar de secagem (°C)	AS	AA
-1 (5)	-1 (30)	94	94
+1 (15)	-1 (30)	80	76
-1 (5)	+1 (50)	80	74
+1 (15)	+1 (50)	72	72
0 (10)	0 (40)	74	74
0 (10)	0 (40)	72	70
0 (10)	0 (40)	78	74
0 (10)	0 (40)	78	78

Observou-se (Tabela 4) nas amostras-controle maior número de sementes germinadas em relação às amostras que receberam aplicação de ozônio e secas (Tabela 24). O número de sementes germinadas após a secagem e após o armazenamento não apresentou diferença na germinação (Tabela 24).

Na Tabela 25, estão apresentados os efeitos estimados das condições de secagem na germinação após a secagem (AS) e coeficientes de regressão da Equação 24.

Tabela 25 Efeitos estimados das condições de secagem (AS) na germinação de sementes de soja

Fatores	Efeitos	P-valor	Coefficientes
Média/Interação (b ₀)	78,5	0,000005*	78,50
Tempo (min) (t) (b _i)	-11,0	0,035082*	-5,50
Temperatura (T) (b _j)	-11,0	0,035082*	-5,50
T x t (b _{ij})	3,0	0,391002 ^{ns}	1,50

*Significativo a 10% de probabilidade. ^{ns} não significativo a 10% de probabilidade.

Os efeitos do tempo de ozonização e da temperatura do ar de secagem foram estatisticamente significativos e negativos, indicando que tempos maiores de aplicação de O₃ e maiores temperaturas do ar de secagem levam ao menor número de sementes de soja germinadas.

O modelo para prever o teor de germinação (AS) em função do tempo de aplicação de O₃ e da temperatura está apresentado na Equação 23:

$$\text{Porcentagem de germinação (\% AS)} = 78,50 - 5,50 \cdot t - 5,50 \cdot T \quad \text{eq. (23)}$$

Sendo:

t = valor codificado de tempo da aplicação do ozônio;

T = valor codificado de temperatura do ar de secagem.

A validação do modelo foi por ANOVA (Tabela 26), a qual apresentou coeficiente de determinação (R²) de 69% da variabilidade de resposta, que pode ser explicada pelo modelo. O modelo foi considerado significativo (p<0,1) e sem falta de ajuste.

Tabela 26 Resumo da análise de variância para prever o teor de germinação (AS) na secagem de sementes de soja

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	F	F tab
Regressão	242,00	2	121,00	5,60	3,78
Resíduo	108,00	5	21,60		
Falta de ajuste	81,00	2	40,50	4,50	5,46
Erro puro	27,00	3	9,00		
Total	350,00	7			

Notas SQ = Soma dos quadrados, GL = Graus de liberdade, MQ = média ao quadrado, F = Estatística, F tab = F tabelado, Coeficiente de determinação (R²) = 0,69.

Na Figura 11, a superfície de resposta para o teor de germinação (AS) está apresentada em função do tempo de ozonização e da temperatura do ar de secagem. Temperaturas maiores apresentaram menor número de sementes germinadas, enquanto as

sementes secas com menor temperatura (30 °C) apresentaram teor de germinação próximo de 92%. O processo de secagem na temperatura de 50 °C e 15 minutos de ozonização reduz o processo de germinação de sementes de soja.

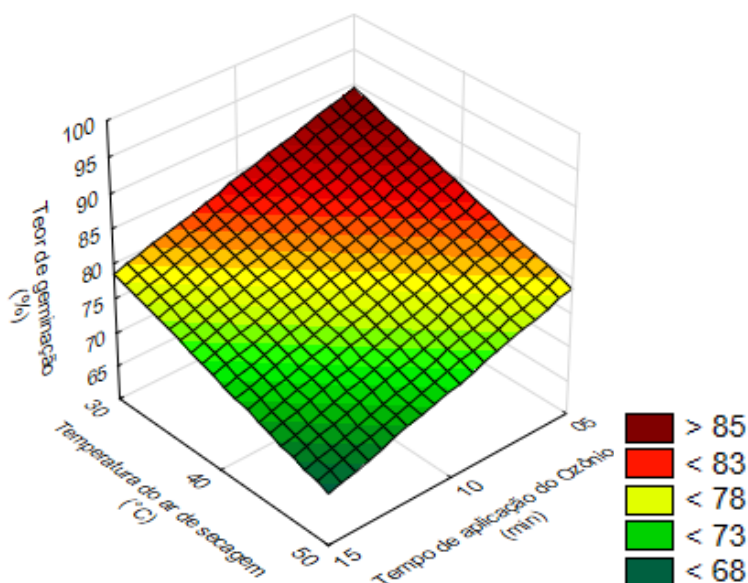


Figura 11 Superfície de resposta para prever os valores estimados da porcentagem de germinação (AS) para as sementes de soja.

Na tabela 27, estão apresentados os efeitos estimados das condições de secagem no teor germinação após 30 dias de armazenamento (AA) e os coeficientes da regressão da equação 25.

Tabela 27 Efeitos estimados das condições de secagem da porcentagem de germinação de sementes de soja, após 30 dias de armazenamento (AA)

Fatores	Efeitos	P-valor	Coeficientes
Média/Interação	76,5	0,000008*	76,50
Tempo (min) (t)	-10,0	0,054913*	-5,00
Temperatura (T)	-12,0	0,034897*	-6,00
T x t	8,0	0,091721*	4,00

*Significativo a 10% de probabilidade. ^{ns} não significativo a 10% de probabilidade.

O tempo de ozonização e a temperatura do ar de secagem apresentavam efeito significativo e negativo, respectivamente, indicando que maiores tempos de aplicação de O₃ e maiores temperaturas do ar de secagem provocam redução quanto ao número de sementes germinadas.

O modelo para prever a porcentagem de germinação (AA) em função do tempo de aplicação de O₃ e da temperatura do ar de secagem está apresentado na equação 24:

$$\text{Porcentagem de germinação (\% AA)} = 76,5 - 5,0 \cdot t - 6,0 \cdot T + 4,0 \cdot T \cdot t \quad \text{eq. (24)}$$

Sendo:

t = valor codificado de tempo da aplicação do ozônio;

T = valor codificado de temperatura do ar de secagem.

O modelo foi validado pela ANOVA (Tabela 28) e apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 79% da variabilidade de resposta, que pode ser explicada pelo modelo, considerado significativo ($p < 0,1$) e sem falta de ajuste.

Tabela 28 Resumo da análise de variância para prever a porcentagem de germinação (AA) na secagem de sementes de soja

Fontes de variação	SQ	GL	MQ	F	F tab
Regressão	308,00	3	102,67	5,01	4,19
Resíduo	82,00	4	20,50		
Falta de ajuste	50,00	1	50,00	4,69	5,54
Erro puro	32,00	3	10,67		
Total	390,00	7			

Notas SQ = Soma dos quadrados, GL = Graus de liberdade, MQ = média ao quadrado, F = Estatística, F tab = F tabelado, Coeficiente de determinação (R^2) = 0,79.

A superfície de resposta da porcentagem de germinação de sementes de soja submetidas à secagem está apresentada na Figura 12, com diferentes condições de temperatura do ar e tempo de ozonização e armazenadas por 30 dias (AA). O menor tempo de aplicação de O_3 e a menor temperatura do ar de secagem levaram ao maior número de sementes germinadas.

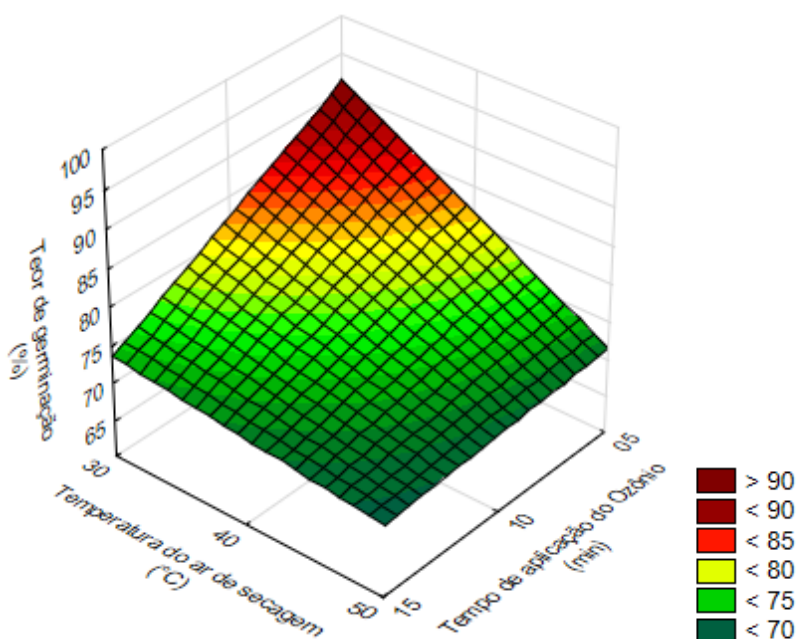


Figura 12 Superfície de resposta para prever os valores estimados da porcentagem de germinação (AA) para as sementes de soja.

Os resultados médios das análises sementes de soja sem aplicação de ozônio estão apresentados na Tabela 29, para o teste padrão de germinação. Assim, ocorreu somente a secagem das sementes em temperaturas determinadas.

Tabela 29 Germinação de amostras de sementes de soja após a secagem sem a aplicação de ozônio

Temperaturas (°C)	Após a secagem (AS) (%)	Após período de armazenamento (AA) (%)
30	81	77
40	76	78
50	80	70

Na Tabela 29, pode-se observar o resultado quanto à germinação de sementes que não receberam a aplicação de ozônio. Houve redução do número de sementes germinadas em comparação com a amostra controle. De acordo com Smaniotto et al. (2014), as sementes tendem a perder o vigor e a germinação durante o armazenamento devido à peroxidação dos lipídeos, juntamente com o elevado teor de água e da temperatura, ser passível de ter provocado a maior queda de germinação. Isso comprova que o teor de água das sementes influencia na qualidade fisiológica durante o armazenamento.

As sementes que receberam a aplicação do ozônio (Tabela 24) apresentaram maior número de germinação quando comparadas às sementes que não receberam a aplicação do gás (Tabela 28). Silva (2013) apresentou maior percentual de germinação de grãos de trigo expostos ao ozônio quando comparados aos grãos expostos ao ar atmosférico (controle). O aumento da germinação também foi encontrado por Rodrigues et al. (2015) em sementes de girassol e por Violleau et al. (2008) em sementes de milho, expostas ao ozônio.

Os valores baixos de germinação da amostra com aplicação do gás ozônio estão de acordo com os valores encontrados no teste de condutividade elétrica, pois quanto maior o valor de condutividade elétrica, maior a quantidade de lixiviados e pior a qualidade da semente.

De acordo com a Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013, a análise de germinação para sementes de soja (*Glycine max L.*) deve apresentar 80 % de germinação para todas as categorias (BRASIL, 2013). Entretanto a amostra apresentou valores de germinação inferior a 80%, sendo assim considerada grão. Brandini (2014), no estudo de aplicação de ozônio em soja, também encontrou resultados semelhantes, valores baixos para germinação, cujo maior valor encontrado para germinação foi de 83,66% e menor de 58,66%.

5.5 Teste de condutividade elétrica

Na Tabela 30, estão apresentados os valores médios do teste de condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) das sementes de soja após a secagem em diferentes condições (AS) e após o período de armazenamento (AA).

Tabela 30 Valores médios do teste de condutividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$) de sementes de soja após a secagem (AS) e após o armazenamento (AA) por 30 dias

Tempo de aplicação de O ₃ (Minutos)	Temperatura do ar de secagem (°C)	AS ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)	AA ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$)
-1 (5)	-1 (30)	216,21	130,52
+1 (15)	-1(30)	191,57	144,17
-1 (5)	+1 (50)	254,03	153,13
+1 (15)	+1 (50)	243,6	173,99
0 (10)	0 (40)	252,07	118,11
0 (10)	0 (40)	219,29	153,91
0 (10)	0 (40)	179,24	166,43
0 (10)	0 (40)	254,4	159,51

Observou-se o aumento do valor da condutividade elétrica em relação à amostra inicial (Tabela 4) em comparação à amostra após a secagem, o qual também foi observado em outros trabalhos como o de Santos (2014), em cuja solução que continha os grãos de arroz expostos ao ozônio sofreu aumento da condutividade elétrica. Rozado et al. (2008) verificaram aumento da condutividade elétrica ao exporem os grãos de milho ao gás ozônio. Silva (2011) também observou aumento dos valores de condutividade elétrica em grãos de trigo ozonizados.

Segundo Woodstock (1973) e Vieira e Carvalho (1994), o aumento do valor da condutividade elétrica corresponde à liberação de íons para a solução aquosa pela lixiviação de eletrólitos dos tecidos dos grãos. De acordo com Woodstock (1973), os baixos valores de condutividade (baixa lixiviação) indicam que as sementes apresentam elevada qualidade, enquanto os valores elevados estão relacionados às sementes de qualidade inferior.

Vieira e Carvalho (1994) apontam que as sementes de soja que possuem padrões de condutividade elétrica, lotes de sementes acima de $90 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ são considerados de baixo vigor. Observa-se que os resultados verificados neste trabalho (Tabela 28) apresentaram resultados de condutividade elétrica superiores a $110 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$, e mostraram que as sementes não apresentaram boa qualidade fisiológica.

Sementes com maiores valores de condutividade elétrica possuem maiores taxas de degradação da membrana celular, portanto, menor percentual de germinação (KRZYZANOWSKI; VIEIRA; FRANCA NETO, 1999).

Na Tabela 31, estão apresentados os efeitos estimados das condições de secagem no teste de condutividade elétrica após a secagem (AS).

Tabela 31 Efeitos estimados das condições de secagem (AS) do teste de condutividade elétrica de sementes de soja

Fatores	Efeitos	P-valor	Coeficientes
Média/Interação (b ₀)	226,3012	0,000363*	226,3012
Tempo (min) (t) (b _i)	-17,5350	0,652620 ^{ns}	-8,7675
Temperatura (T) (b _j)	44,9250	0,291716 ^{ns}	22,4625
T x t (b _{ij})	7,1050	0,852956 ^{ns}	3,5525

*Significativo a 10% de probabilidade. ^{ns} não significativo a 10% de probabilidade.

Os efeitos do tempo de ozonização e da temperatura do ar de secagem não foram estatisticamente significativos ($p < 0,1$), indicando que a variação de tempo de aplicação do gás ozônio e temperaturas do ar de secagem não promoveram influência na condutividade elétrica das sementes de soja.

Os efeitos estimados da condutividade elétrica para sementes de soja secas e armazenadas por 30 dias (AA) estão apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 Efeitos estimados das condições de condutividade elétrica em sementes de soja

Fatores	Efeitos	P-valor	Coeficientes
Média/Interação (b ₀)	149,9713	0,000286*	149,9713
Tempo (min) (t) (b _i)	-17,2550	0,481622 ^{ns}	8,6275
Temperatura (T) (b _j)	26,2150	0,310552 ^{ns}	13,1075
T x t (b _{ij})	3,6050	0,877717 ^{ns}	1,8025

Os tempos de aplicação do O₃ e da temperatura do ar de secagem não apresentaram significância estatística ($p < 0,1$) nos efeitos estimados, ou seja, os fatores de tempo de aplicação do gás ozônio e temperaturas do ar de secagem não influenciaram no teste de condutividade elétrica das sementes de soja.

Os resultados do teste de condutividade elétrica das sementes de soja submetidas à secagem sem aplicação de ozônio estão apresentados na Tabela 33.

Tabela 33 Condutividade elétrica de amostras de sementes de soja após a secagem sem a aplicação de ozônio

Temperatura do ar de secagem (°C)	Após a secagem (AS) ($\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$)	Após período de armazenamento (AA) ($\mu\text{S.cm}^{-1}.\text{g}^{-1}$)
30	231,63	156,58
40	216,69	173,15
50	221,51	169,47

A Tabela 33 contém o resultado da condutividade elétrica das sementes, nas quais não foram expostas ao gás ozônio e apresentaram redução do valor de condutividade elétrica durante o armazenamento. De acordo com Veiga et al. (2005), no estudo de tolerância de sementes de soja à dessecação, quando as sementes foram submetidas à secagem, houve redução nos valores de condutividade elétrica à medida que os estádios de colheita avançaram. Isso indica que as sementes colhidas com maior teor de água estavam menos tolerantes à dessecação.

As amostras que receberam a aplicação do gás ozônio (Tabela 30) apresentaram elevação do valor da condutividade elétrica em relação à amostra controle (Tabela 4). Vieira (1994) relata que o aumento da condutividade elétrica indica a liberação de íons para a solução aquosa devido à lixiviação de eletrólitos teciduais e por estar relacionado à deterioração dos mesmos.

6 CONCLUSÕES

- 1) O modelo que melhor apresentou ajuste aos dados experimentais foi a equação de Midilli;
- 2) Os coeficientes **a**, **b** e **k** da equação de Midilli são dependentes da temperatura do ar de secagem e o coeficiente **n** é dependente da temperatura do ar de secagem e do tempo de aplicação do gás ozônio;
- 3) As condições de 50 °C do ar de secagem e 15 minutos de aplicação de O₃ apresentaram maior eficiência na descontaminação fúngica;
- 4) O tempo de 5 minutos de aplicação do ozônio e a temperatura do ar de secagem a 30 °C apresentaram maior número de sementes germinadas.

7 REFERÊNCIAS

AFONSO JÚNIOR, P. C. **Aspectos físicos, fisiológicos e da qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. 2001. 373 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

AKPINAR, E. K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v. 59, p. 99-104, 2003.

ALENCAR, E. R. **Processo de ozonização de amendoim (*Arachis hypogaea* L.): cinética de decomposição, efeito fungicida e detoxificante de aflatoxinas e aspectos qualitativo**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R. D; SOARES, N. F. F.; CARVALHO, M. C. S.; PEREIRA, K. F. Effect of the ozonization process on the quality of peanuts and crude oil. **Revista brasileira engenharia agrícola e ambiental**. Campina Grande - SP, v. 15, n. 2, p. 154-160, 2011.

ALONSO, J.; VALDES, M.; CALLEJA, A.; RIBAS, J.; LOSADA, J. **High frequency testing and modeling of silent discharge ozone generators**. *Ozone: Sci. Eng.* v. 25, n.5, p. 363-76, 2003.

ANDRADE, E. T.; TEIXEIRA, L. P.; ESPÍNDOLA, J. Z.; FIGUEIRA, V. G.; SILVA, I. M. **Determinação das propriedades físicas e avaliação da cinética de secagem dos grãos de abóbora**. XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014 27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil. Disponível em: <http://www.sbea.org.br/conbea/2014/livro/R0297-2.pdf>. Acesso em: 10/04/2017.

AZZOUZ, S.; GUIZANI, A.; JOMAA, W.; BELGHITH, A. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. **Journal of Food Engineering**, London, v. 55, n. 4, p. 323-330, 2002.

BABALIS, S. J.; BELESSIOTIS, V. G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 65, n. 3, p. 449-458, 2004.

BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria.** Porto Alegre, Editora Bookman, 4ª ed, 2010.

BASUNIA, M. A., ABE, T. Moisture desorption isotherms of medium-grain rough rice. **Journal of Stored Products Research**, v. 37, p. 205-219, 2001.

BELÉM, P. A. D. **Introdução ao estudo das micotoxinas de interesse em medicina veterinária.** Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa, p. 18, 1994.

BEUX, M. R. **Atlas de microscopia alimentar: Identificação de elementos histológicos vegetais.** Livraria Varela, São Paulo - SP, 1997.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination.** New York: Plenum Press, 2nd ed., p. 445, 1994.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos.** 2ª ed., São Paulo - SP; Livraria Varela, 1992.

BORGES, C. T. **Expressão do gene VLXC no tegumento de semente de soja.** Dissertação de Mestrado do Programa de Ciência e Tecnologia de Semente. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2013.

BOX, G. E. P.; WILSON, K. B.; J. R. **Statist. Soc.**, B13, 1, 1951.

BRADY, J. E.; HUMISTON, G. E. **Princípios e estrutura química geral.** John Wiley & Sons. Nova York - USA, 1978.

BRAGANTINI, C.; VIEIRA, E. H. N. **Secagem, armazenamento e beneficiamento.** Embrapa Arroz e Feijão, 2004.

BRANDANI, E. B. **Efeito do gás ozônio no controle de fungos e na qualidade fisiológica em sementes de soja.** Trabalho de Conclusão de Curso de graduação em Agronomia – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília, p. 49, 2014.

BRASIL. Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. **Padrões para a Produção e a Comercialização de Sementes.** Brasília: Diário Oficial da União, 20 set. 2013.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº11 de 16/05/2007.** Disponível em: <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1194426968>. Acesso em 15 agosto de 2015.

BRASIL. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.** Secretário de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília: Mapa/ACS, 2009.

BRITO JÚNIOR, J. G. **Ozônio como agente fungicida e seu efeito na qualidade dos grãos de milho.** Universidade Federal de Viçosa. Viçosa- MG, 2013.

BROOKER, D. B.; BAKKER ARKEMA, F. W.; HALL, C. W. **Drying and storage of grains and oilseeds.** New York: Van Nostrand Reinhold, p. 450, 1992.

CALDWELL, C. R.; BRITZ, S. J.; MIRECKI, R. M. Effect of temperature, elevated carbon dioxide, and drought during seed development on the isoflavone content of dwarf soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] grown in controlled environments. **Journal of agricultural and food chemistry.** v. 53, n. 04, p. 1125-1129, 2005.

CAMICIA, R. G. M. CHRIST, D. COELHO, S. R. M, CAMICIA, R. F. M. Modelagem matemática da secagem do feijão caupi. **Revista Caatinga.** v. 28, p. 206-214, 2015.

CARVAJAL, M.; ARROYO, G. Management of aflatoxin contaminated maize in Tarmaulipas, México. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** Washington, v. 45, n. 4, p. 1301-1305, 1997.

CARVALHO, H. H. **Alimentos: métodos físicos e químicos de análise.** Editora Universidade, Porto Alegre – RS, UFRGS, 2002.

CHRIST, D. **Curvas de umidade de equilíbrio higroscópico e de secagem da canola (*Brassica napus* L. var. oleífera), e efeito da temperatura e da umidade relativo do ar de secagem sobre a qualidade das sementes.** 60f. 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 1996.

CHRISTENSEN, C. M. Loss of viability in storage mycoflora. **Seed Science and Technology.** New Delhi, v. 1, p. 547-562, 1973.

CORRÊA, P. C.; AFONSO JÚNIOR, P. C. RIBEIRO, D. M.; SILVA, F. S. Equilíbrio higroscópico de milho, alpiste e painço: Obtenção e modelagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - SP, v. 10, n. 1, p. 162-167, 2006.

CORRÊA, P. C.; CHRIST, D.; MARTINS, J. H.; MANTOVANI, B. H. M. Curvas de dessecção e calor latente de vaporização para as sementes de milho pipoca (*zea mays*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - SP, v. 2, n. 1, p. 75-79, 1998.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; GARIN, S. A.; JAREN, C.; OLIVEIRA, G. H. H. Mathematical models to describe the volumetric shrinkage rate of red beans during drying. **Engenharia Agrícola**. v. 34, n. 4, p. 716-726, 2011.

CORRÊA, P. C.; RESENDE, O.; RIBEIRO, D. M. Drying characteristics and kinetics of coffee berry. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2006.

CULLEN, P. J.; TIWARI, B. K.; O'DONNELL, C. P.; MUTHUKUMARAPPAN, K. Modelling approaches to ozone processing of liquid foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, Issues 3-4, April, 2009, p.125-136, 2009.

DESCHAMPS, L. H. **Qualidade da semente de soja e de seu repasse beneficiados em mesa de gravidade**. 46f. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências e tecnologias de sementes). Faculdade de agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas, 2006.

DOYMAZ, I. Drying kinetics of white mulberry. **Journal of Food Engineering**, Netherlands, v. 61, p. 341-346, 2004.

ELIAS, M. C. Secagem e armazenamento de grãos de milho e de sorgo na propriedade rural. **Embrapa Clima temperado**. Pelotas - RS, p. 107-144, 2000.

FEDERIZZI, L. C. **A soja como fator de competitividade no Mercosul**: histórico, produção e perspectivas futuras. III Encontro CEPAN: Vantagens Competitivas dos Agronegócios no Mercosul, Porto Alegre, Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios – CEPAN/UFRGS, 2005.

FIOREZE, R. **Princípios de secagem de produtos biológicos**. Editora UFPB, João Pessoa – PB, p. 229, 2004.

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYŻANOWSKI, F. C.; COSTA, N. P. **O teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA-CNP Soja, (EMBRAPA-CNPSo, Documentos, 116), p. 72, 1998.

FRANÇA NETO, J. B.; PEREIRA, L. A. G.; COSTA, N. P. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA – CNP Soja, p.35, 1986.

FRANKEL, E. N. **Lipid oxidation**. 2^a ed. Bridgwater: Oily Press, 2005.

GARCIA D. C.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T.; MENEZES, N. L. A secagem de sementes. **Ciência Rural**, Santa Maria, p. 603-608, 2004.

GASPARIN, P. B.; CHRIST, D.; COELHO, S. R. M. Drying of *Mentha piperita* leaves on a fixed bed at different temperatures and air velocities. **Revista Ciência Agronômica**, UFC, v. 18, p. 242-250, 2017.

GIORDANO, B. N. E. **Efeito do ozônio sobre a micoflora e aflatoxinas durante a armazenagem de castanha-do-Brasil com casca (*Bertholletia excelsa* H.B.K.)**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2009.

GIORDANO, B. N. E.; NONES, J.; SCUSSEL, V. M. Susceptibility of the in-shell Brazil Nut mycoflora and aflatoxin contamination to ozone gas treatment during storage. **Journal of Agricultural Science**. v. 4, p. 1-10, 2012.

GONÇALVES, R. A.; SANTOS, J. P.; CHANDRA, P. K.; GERMANI, R. Controle de *Rhizopertha dominica* pela atmosfera controlada com CO₂, em trigo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 35, n. 1, p. 1-9, jan. 2009.

GOULART, A. C. P. Fungos em sementes de soja: detecção e importância. **Embrapa**, p. 58, 1997.

GUZEL-SEYDIM, Z. B.; GREENE, A. K.; SEYDIM, A. C. **Use of ozone in the food industry**. *Lebensm-Wiss. U.-Technol.* v. 37, p. 453-460, 2004.

IBGE. **Indicadores IBGE**. Estatística da Produção Agrícola - janeiro de 2017. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:

ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/estProdAgr_201701.pdf
. Acesso em abril de 2017.

IGLESIAS, S. C. **Degradation and biodegradability enhancement of nitrobenzene and 2, 4- dichlorophenol by means of advanced oxidation processes based on ozone.** 322f. 2002. Tese de Doutorado. (Doutorado em Engenharia Química). Universidade de Barcelona, Barcelona, 2002.

IKEHATA, K.; EL-DIN, M. G. **Aqueous pesticide degradation by ozonation and ozone-based advanced oxidation processes: a review (Part I).** *Ozone Science and Engineering*, p. 83-114, 2005.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ - **Normas Analíticas; métodos químicos e físicos para a análise de alimentos.** 4ª ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

ISIKBER, A. A.; ATHANASSIOU, C. G.; Revisão - O uso de gás ozônio para o controle de insetos e microrganismos em produtos armazenados. **Journal of stored products research.** v. 64, p.139-14, 2015.

ISQUIERDO, E. P. **Cinética de secagem de café natural e suas relações com a qualidade para diferentes temperaturas e umidades relativas do ar.** Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras. Lavras: UFLA, 2011.

KARACA, H.; VELIOGLU, Y. S. Aplicações de ozônio no processamento de frutas e legumes. **Food Reviews International**, p. 91-106, 2007.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 98-108, 2007.

KAYMAK-ERTEKIN, F. Drying and rehydrating kinetics of green and red peppers. **Journal of Food Science.** v. 67, n. 1, p. 168-175, 2002.

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

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

KIM, J. G.; YOUSEF, A. E.; DAVE, S. Application of ozone for enhancing the microbiological safety and quality of foods: a review. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 62, n. 9, p. 1071-1087, 1999.

KRZYZANOWSKI, F. C. H.; VIEIRA, R. D.; FRANCA NETO, J. B. Vigor de sementes: conceitos e testes. **ABRATES**, Londrina - PR, p. 4-20, 1999.

LAZZARI, F. A. **Umidade, fungos e micotoxinas na qualidade de sementes, grãos e rações**. Curitiba - PR, p. 140, 1993.

LAZZARI, F. A. **Umidade, fungos e micotoxinas na qualidade de sementes, grãos e rações**. 2^a ed. Curitiba, p. 148, 1997.

LOEFFLER, T. M.; TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. The bulk conductivity test as an indicator of soybean seed quality. **Journal of Seed Technology**, East Lansing, v. 12, n. 1, p. 37-53, 1988.

MADAMBA, P. S.; DRISCOLL, R. H.; BUCKLE, K. A. Thin layer drying characteristics of garlic slices. **Journal of Food Engineering, Netherlands**, v. 29, p. 75-97, 1996.

MAGAN, N.; ALDRED, D. Post-harvest control strategies: minimizing mycotoxins in the food chain. **International Journal of Food Microbiology**, v. 119, p. 131-139, 2007.

MAHAPATRA, A. K.; MUTHUKUMARAPPAN, K.; JULSON, J. L. Applications of ozone, bacteriocins and irradiation in food processing: a review. *Critical Reviews in food science and nutrition*, v.45, p. 447-461, 2005.

MAJCHROWICZ, A. Food safety technology: a potential role for ozone? *Agricultural Outlook, Economic. Research Service/USDA*, p.13-15, 1998.

MARTINAZZO, A. P.; CORRÊA, P.C.; RESENDE, O.; MELO, E.C. Análise e descrição matemática da cinética de secagem de folhas de campim-limão. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v.11, n. 3, jun. 2007.

MAPA. **Soja**. Ministério da Agricultura e Abastecimento. 2015. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja>. Acesso em julho de 2015.

MÁRCIA, B. A.; LAZZARI, F. A. Monitoramento de fungos de milho em grão, grits e fubá. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, p. 363-367, 1998.

MCDONOUGH, M. X.; CAMPABADAL, C. A.; MANSON, L. J.; MAIER, D. E.; DENVER, A.; WOLOSHUK, C. P. Ozone application in a modified screw conveyor to treat grain for insect pests, fungal contaminants and mycotoxins. **Journal of Stored Products Research**, p. 249-254, 2011.

MCKENZIE, K. S.; SARR, A. B.; MAYMURA, K.; BAILEY, R. H.; MILLER, D. R.; ROGERS, T. D.; NORRED, W. P.; VOSS, K. A.; PLATTNER, R. D.; KUBENA, L. F.; PHILLIPS, T. D. Oxidative degradation and detoxification of mycotoxins using a novel source of ozone. **Food and Chemical Toxicology**, v. 35, p. 807-820, 1997.

MENDEZ, F.; MAIER, D. E.; MASON, L. J.; WOLOSHUK, C. P. Penetration of ozone into columns of stored grains and effects on chemical composition and processing performance. **Journal of stored products Research**, p. 33-34, 2003.

MILLS, J. T.; WALLACE, H. A. H. Microflora and condition of cereal seeds after a wet harvest. **Canadian Journal of Plant Science**. Othawa, v. 59, n. 3, p. 645-651, 1992.

MOHAPATRA, D.; RAO, P. S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 513-518, 2005.

MOLINA, J. P. **Fracionamento da proteína e estudo termoanalítico das leguminosas: grão de bico (*Cicer arietinum*), variedade Cícero e tremoço branco (*Lupinus albus* L.)**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Alimentos e Nutrição. Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Araraquara, 2010.

MORAES, J. L. **Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário**. Tese (doutorado). Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2005.

MORETTO, E.; FETT, R. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. Livraria Varela, São Paulo - SP, 1998.

MURATA, T.; OKITA, Y.; NOGUCHI, M.; TAKASE, I. Basic parameters of coplanar discharge ozone generator ozone. **Sci. Eng.** v. 26, p. 429-442, 2004.

ONDIER, G. O.; SIEBENMORGEN, T. J.; MAUROMOUSTAKOS, A. Low-temperature, low-relative humidity drying of rough rice. **Journal of Food Engineering**, Essex, v. 100, n. 3, p. 545-550, 2010.

ORDÓÑEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos volume 1**: Componentes dos alimentos e processos. Artmed Editora, Porto Alegre - RS, p. 294, 2005.

OZKAN, R.; SMILANICK, J. L.; KARABULUT, O. A. Toxicity of ozone gas to conidia of *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum*, and *Botrytis cinerea* and control of gray mold on table grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 60, p. 47-51, 2011.

PADIN, S.; BELLO, G. D.; FABRIZIO, M. Grain loss caused by *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae* and *Acanthoscelides obtectus* in stored durum wheat and beans treated with *Beauveria bassiana*. **Journal of Stored Products Research**, Oxford, v. 38, p. 69-74, 2002.

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

PEREIRA, J. A. M. QUEIROZ, D. M. **Higroscopia**. Viçosa, MG: Centreinar, p. 28, 1987.

PIEIDADE, F. S.; FONSECA, H.; GLORIA, E. M.; CALORI-DOMINGUES, M. A.; PIEIDADE, S. M. S.; BARBIN, D. Distribution of aflatoxins in contaminated corn fractions segregated by size. **Brazilian Journal Of Microbiology**, São Paulo, v. 33, p. 12-16, 2002.

PIMENTEL, M. A. G.; FONSECA, M. J. O. **Secagem e Armazenamento**. Embrapa Milho e Sorgo, 2011.

PRADO, G.; MATTOS, S. V. M.; PEREIRA, E. C. Efeito da umidade relativa na contaminação microbiana e produção de aflatoxinas em amendoim em grão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 264-273, 1991.

PRATES, M. O.; PIZZILOLO, T. A.; TÔRRES, A. G.; MELO, E. C. Modelagem matemática de um sistema de secagem de plantas medicinais e aromáticas. **Engenharia na Agricultura**, v. 15, n. 2, p. 96-108, 2007.

PRESTES, E. B. **Avaliação da eficiência do ozônio como sanitizante em hortaliças folhosas minimamente processadas**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

PUIGNAU, J. P. **Producción de soja**. Dialogo. IICA, Montevideo, Uruguay, 1992.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. Campinas-SP, p. 603, 1986.

RAFIEE, S.; KEYHANI, A.; SHARIFI, M.; JAFARI, A.; HOBILI, H.; TABATABAEFFAR, A. Thin layer drying properties of soybean (Viliamz Cultivar). **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 11, p. 289-300, 2009.

RAHMAN, M. S. A theoretical model to predict the formation of pores in foods during drying. **International Journal of Food Properties**. v. 6, p. 61-72, 2003.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; GONELI, A. L. D.; CECON, P. R. Forma, tamanho e contração volumétrica do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.7, p.15-24, 2005.

RIBEIRO, E.P.; SERAVALLI, E. A. G. Química de alimentos. **Edgard Blucher**, 2. ed., São Paulo, 2007.

RODRIGUES, M. I; IEMMA, A. F. Planejamento de experimentos e otimização de processos. **Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor Editora**. Campinas - SP, 3ª Ed., 2014.

RODRIGUES, V. O; COSTA, F. R.; NERY, M. C.; CRUZ, S. M.; MELO, S. G. F.; LAENE, M. C. Treating sunflower seeds subjected to ozonization. **Journal of seed Science**, v. 37, n. 3, p. 202-210, 2015.

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.

RUPOLLO, G.; GUTKOSKI, L. C.; MARINI, L. J.; ELIAS, M. C. Sistemas de armazenamentos hermético e convencional na conservabilidade de grãos de aveia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1715-1722, 2004.

SANTOS, J. P. **Controle de pragas durante o armazenamento de milho**. Circular técnica. Embrapa. Sete Lagos, MG, 2006.

SANTOS, R. R. **Ozônio como agente fungicida e seu efeito na qualidade do arroz (*Oryza sativa* L.)**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2014.

SAVI, G. D.; PIACENTINI, K.; BITTENCOURT, K. O.; SCUSSEL, V. M. Ozone treatment efficiency on *F. graminearum* & deoxynivalenol degradation and its effects on whole wheat grains (*Triticum aestivum* L.) quality and germination. **Journal of Stored Products Research**, p. 245-253, 2014.

SCHAICH, K. M. Oxidação lipídica: Aspectos teóricos. Fereidoon Shahidi (Editor). **Produtos de óleo e gordura industrial de Bailey** (6th ed.), John Wiley & Sons Inc., p. 269-355, 2005.

SELMA, M. V.; IBANEZ, A. M.; CANTWELL, M.; SUSLOW T. Reduction by gaseous ozone of Salmonella and microbial flora associated with fresh-cut cantaloupe. **Food Microbiology**, p. 558-565, 2008.

SILVA, E. F. M. **Modelos empíricos e difusivos para a descrição da secagem de bananas**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

SILVA, F. A. M.; BORGES, M. F.; FERREIRA, M. A. Métodos para avaliação do grau de oxidação lipídica e da capacidade antioxidante. **Química Nova**, v. 22, n. 1, p. 94-103, 1999.

SILVA, H. C. **Estudo da Influência do Empuxo Lateral Causado por Grãos nas Paredes de Grandes Silos Horizontais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2002.

SILVA, J. S.; PARIZZI, F. C.; NOGUEIRA, R. M.; CARDOSO SOBRINHO, J. **Beneficiamento de Grãos**. Cap. 13, p. 325-341, 1995.

SILVA, J. S. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Editora Aprenda Fácil. Viçosa, MG, 2008.

SILVA, L. C. **Secagem de Grãos**. Boletim Técnico, Alegre - ES, p. 1-5, 2005.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. Editora Varela, São Paulo, 1997.

SILVA, T. A. **Processo de ozonização dos grãos de trigo**: Cinética de reação e efeito na qualidade destes e da farinha. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

SMANIOTTO, T. A. S.; RESENDE, O, MARÇAL, K. A. F. OLIVEIRA, D. E. C; SIMON, G. A. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 18, n. 4, Campina Grande-PB, 2014.

STATSOFT. Inc. (2007). **STATISTICA**. (Data analysis software system). Versão 7.0. www.statsoft.com

STEEL, C. J.; BLOCK, J. M.; BARRERA-ARRELLANO, D. Temas selectos en aceites y grasas. **Blucher**, v. 2, cap. 2, São Paulo, 2012.

SUN, D. W.; WOODS, J. L. Low temperature moisture transfer characteristics of wheat in thin layers. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, v. 37, n. 6, p. 1919-1926, 1994.

SWEENEY, M. J.; DOBSON, A. D. W. Mycotoxin production by *Aspergillus*, *Fusarium* and *Penicillium* species. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 43, p. 141-158, 1998.

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Soja: manejo para alta produtividade de grãos. **Evangraf**. Porto Alegre - RS, p. 248, 2010.

USDA. **Code of Federal Regulations**, Title 9, Part 381.66 - poultry products; temperatures and chilling and freezing procedures. Office of the Federal Register National Archives and Records Administration, Washington, DC, 1997.

USEPA - **United States Environmental Protection Agency. Alternative disinfectants and oxidants guidance manual**. 1999. Disponível em: http://ocw.tudelft.nl/fileadmin/ocw/courses/DrinkingWaterTreatment1/res00066/embedded/alternative_disinfectants_guidance.pdf. Acesso em 28 de janeiro de 2016.

VEIGA, A. D; ROSA, S. D. V. F.; SILVA, P. A.; OLIVEIRA, J. A.; ALVIM, P. O.; DINIZ, K.A. Tolerância de sementes de soja à dessecação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras-MG, v. 31, n. 3, p. 773-780, 2007.

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

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Testes de vigor em sementes**. FUNEP, Jaboticabal - SP, p.164, 1994.

VILLERS, P. Safe storage of grain in the tropics. **Feed Technology Update**, v. 1, n. 3, 2006.

VIOLLEAU, F.; HADJEBA, K; CAZALIS, R.; SUREL, OLIVIER. Effect of oxidative treatment on corn seed germination kinetics. **Ozone: Science & Engineering**, v. 30, n.6, p. 418-422, 2008.

WEBER, É. A. **Excelência em Beneficiamento e Armazenagem de Grãos**. Canoas: Sales, p. 586, 2005.

WHITE, S. D.; MURPHY, P. T.; BERN, C. J.; VAN LEEUWEN, J. H. Controlling deterioration of high-moisture maize with ozone treatment. **Journal of Stored Products Research**, p. 7-12, 2010.

WOODSTOCK, L. M. Physiological and biochemical tests for seed vigor. **Seed Science and Technology**, Norway, v. 1, n. 1, p. 127-157, 1973.

YALDIZ, O.; ERTEKIN, C.; UZUN. H. I. Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. **Energy**, v. 26, p. 457-465, 2001.

YILBAS, B. S.; HUSSAIN, M. M.; DINCER, I. Heat and moisture diffusion in slab products to convective boundary condition. **Heat and Mass Transfer**, v. 39, p. 471-476, 2003.