



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ÁGUA OZONIZADA NO PRÉ-CONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE MILHO:
QUALIDADE FISIOLÓGICA E DESEMPENHO EM CAMPO**

NATASHA OHANNY DA COSTA MONTEIRO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

**BRASÍLIA, DF
FEVEREIRO/ 2020**



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ÁGUA OZONIZADA NO PRÉ-CONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE MILHO:
QUALIDADE FISIOLÓGICA E DESEMPENHO EM CAMPO**

NATASHA OHANNY DA COSTA MONTEIRO

ORIENTADOR: ERNANDES RODRIGUES DE ALENCAR
COORIENTADORA: NARA OLIVEIRA SILVA SOUZA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA, DF
FEVEREIRO/ 2020



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**ÁGUA OZONIZADA NO PRÉ-CONDICIONAMENTO DE SEMENTES DE MILHO:
QUALIDADE FISIOLÓGICA E DESEMPENHO EM CAMPO**

NATASHA OHANNY DA COSTA MONTEIRO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM AGRONOMIA.

APROVADA POR:

**ERNANDES RODRIGUES DE ALENCAR, Dr. Professor Associado da UnB – FAV
(Orientador)**

**RICARDO CARMONA, Dr. Professor Titular da UnB – FAV
(Examinador interno)**

**CAROLINE JÁCOME COSTA, Dra. Pesquisadora da Embrapa Hortaliças
(Examinadora externa)**

BRASÍLIA/DF, 27 de fevereiro de 2020 (27/02/2020).

FICHA CATALOGRÁFICA

Monteiro, Natasha Ohanny da Costa.

Água ozonizada no pré-condicionamento de sementes de milho: qualidade fisiológica e desempenho em campo. Orientação: Ernandes Rodrigues de Alencar - Brasília, 2020.

74p.:il.

Dissertação de Mestrado (M) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2020.

1. Ozonização. 2. Milho (*Zea mays*). 3. Qualidade fisiológica. 4. Taxa de germinação. 5. Pré-condicionamento de sementes

I. Alencar, E. II. Ph.D.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MONTEIRO, N. O. C. **Água ozonizada no pré-condicionamento de sementes de milho: qualidade fisiológica e desempenho em campo**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2020, 74p. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Natasha Ohanny da Costa Monteiro

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Água ozonizada no pré-condicionamento de sementes de milho: qualidade fisiológica e desempenho em campo.

GRAU: Mestre ANO: 2020

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos.

O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Citações são estimuladas, desde que citada à fonte.

Nome: Natasha Ohanny da Costa Monteiro

e-mail: natasha.ohanny@gmail.com

DEDICATÓRIA

“Quando morre uma flor, nasce uma semente; quando uma semente morre, nasce uma planta. E a vida continua seu caminho, mais forte do que a morte.”

Rabindranath Tagore

“A sabedoria é suprema; portanto, adquira a sabedoria.

Sim, com tudo o que possui adquira o entendimento.”

Provérbios 4:7

Dedico este trabalho à minha família e a todos que buscam crescer por meio da pesquisa.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por não me deixar desistir, por iluminar meus caminhos e me dar a oportunidade de escolhê-los.

Aos meus pais, Joélio e Arlete, por me darem todo amor, carinho, por estarem sempre presentes em todos os momentos da minha vida, me apoiando e sempre me motivando a nunca desistir e a confiar mais em mim.

Aos meus irmãos, Gabriela, Gabriel e João Vitor, que estão também sempre presentes na minha vida, demonstrando amizade, preocupação, carinho e muito amor.

Ao meu amor, Gustavo, pela paciência, pela ajuda e incentivo nos momentos mais difíceis, pela compreensão e pelo companheirismo. Agradeço também à sua família, pelo apoio e carinho.

Ao professor Ernandes, por me orientar durante esse período, pela confiança, pelo apoio, paciência e contribuições para realização deste trabalho.

À professora Nara pelas orientações, sugestões e apoio durante meu curso de mestrado.

Aos funcionários da Fazenda Água Limpa, Israel, Ronaldo e José, pela ajuda de grande importância na parte de campo da minha pesquisa.

Aos meus animais, Koka, Salem, Tesla, Gauss, Biju e Yummi pelos momentos de felicidade que me proporcionam e pelo companheirismo, me ajudando a enfrentar a vida com mais sorrisos.

A todos os professores que já passaram em minha vida e que transmitiram seus conhecimentos, contribuindo para a minha formação.

À Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, pela oportunidade concedida para realização do curso de mestrado em Agronomia.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro durante meu curso de mestrado.

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho:

Muito obrigada!!!

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. Objetivo Geral	4
2.2. Objetivos Específicos	4
3. HIPÓTESES	4
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
4.1. Aspectos gerais da cultura do milho.....	5
4.2. Qualidade fisiológica das sementes	7
4.3. Teste de germinação.....	7
4.4. Testes de vigor e desempenho da cultura em campo.....	8
4.5. Pré-condicionamento de sementes.....	11
4.6. O gás ozônio e o processo de ozonização.....	13
5. MATERIAL E MÉTODOS	15
5.1. Material genético	15
5.2. Geração do gás ozônio	16
5.3. Ozonização das sementes	16
5.4. Análises em laboratório da qualidade das sementes de milho submetidas ao pré-condicionamento em água ozonizada	18
5.4.1. Teste de germinação.....	18
5.4.2. Comprimento de plântulas e de radículas	18
5.4.3. Condutividade elétrica das sementes.....	19
5.4.4. Matéria seca das plântulas.....	19
5.4.5. Índice e velocidade de germinação.....	19
5.5. Análises em campo da qualidade das sementes de milho submetidas ao pré-condicionamento em água ozonizada	20
5.5.1. Emergência em campo	21

5.5.2. Índice de velocidade de emergência em campo	21
5.5.3. Altura das plantas e da inserção da primeira espiga.....	22
5.5.4. Produtividade	24
5.5.5. Massa de mil grãos	24
5.6. Delineamento experimental.....	25
6. RESULTADOS	25
6.1. Análise de variância e teste de Tukey para a qualidade de sementes de milho 25	
6.1.1. Qualidade em laboratório das sementes de milho submetidas ao pré- condicionamento em água ozonizada	25
6.1.2. Qualidade em campo das sementes de milho submetidas ao pré- condicionamento em água ozonizada	29
6.2. Análise da qualidade de sementes de milho por análise multivariada	34
6.2.1. Sementes do Lote A	34
6.2.2. Sementes do Lote B	36
7. DISCUSSÃO.....	38
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
10. APÊNDICE	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Gerador de ozônio da marca Ozone & Life.....	16
Figura 2- Amostra de sementes de milho sendo ozonizadas..	17
Figura 3 - Plantas de milho com aproximadamente cinco semanas.....	20
Figura 4 - Emergência das plântulas em campo.	21
Figura 5 - Emergência das plântulas em campo..	22
Figura 6 - Medição da altura das plantas de milho aos 45 dias após a emergência..	23
.....	
Figura 7 - Medição da altura das plantas de milho aos 75 dias após a emergência..	23
.....	
Figura 8 - Análise de Componentes Principais referentes à qualidade de sementes de milho do Lote A pré-condicionadas em água ozonizada em diferentes binômios de concentração do gás e tempo de exposição..	35
Figura 9 - Análise de Componentes Principais referentes à qualidade de sementes de milho do Lote B pré-condicionadas em água ozonizada em diferentes binômios de concentração do gás e tempo de exposição..	37
Figura 1A - Área experimental na Fazenda Água Limpa, UnB.....	56
Figura 2A - Desenvolvimento da cultura na área experimental na Fazenda Água Limpa, UnB.....	56
Figura 3A - Estádios de desenvolvimento do milho.....	57
Figura 4A - Estádio final da cultura em campo.....	58
Figura 5A -Área experimental na Fazenda Água Limpa, UnB. Estádio final da cultura, imagem aérea e por satélite.....	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Matéria seca (MS, mg), comprimento de raiz (CR, cm) e condutividade elétrica (CE, $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) em dois lotes de sementes de milho sob diferentes tempos de pré-condicionamento na presença ou não do ozônio.....	27
Tabela 2. Percentual de germinação (GER, %), Comprimento de radícula (CR, cm), comprimento de plântula (CP, cm), condutividade elétrica (CE, $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) e índice de velocidade germinação (IVG) em dois lotes de sementes de milho em diferentes tempos de pré-condicionamento.	28
Tabela 3. Altura das plantas e da inserção da primeira espiga (cm) e massa de mil grãos de milho (g) em dois lotes de sementes de milho em diferentes tempos de pré-condicionamento na presença ou não do ozônio.	31
Tabela 4. Índice de velocidade de emergência (IVE) e emergência em campo (EMER, %) referentes ao lote A de sementes de milho e massa de mil grãos (g) referente ao lote B de sementes de milho em diferentes tempos de pré-condicionamento.	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A7	Altura da planta com 7 dias após a emergência
A45	Altura da planta com 45 dias após a emergência
A75	Altura da planta com 75 dias após a emergência
ACP	Análise dos Componentes Principais
ANOVA	Análise de variância
AOSA	Association of Official Seed Analysts
BOD	Câmara de germinação
CE	Condutividade elétrica
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CP	Comprimento de plântula
CR	Comprimento de raiz
DBC	Delineamento em blocos casualizados
DBD	Descarga por barreira dielétrica
DIC	Delineamento inteiramente casualizado
EMER	Emergência em campo
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GER	Taxa de germinação
IPESP	Inserção da primeira espiga
ISTA	International Seed Testing Association
IVE	Índice de velocidade de emergência
IVG	Índice de velocidade de germinação
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MMG	Massa de mil grãos
MS	Massa seca
NPK	Nitrogênio, fósforo e potássio
R1	Estádio fenológico de polinização e embonecamento do milho
R6	Estádio fenológico de maturidade fisiológica do milho
RAS	Regras para análises de sementes
TPG	Teste padrão de germinação
VE	Estádio fenológico de emergência do milho
VT	Estádio fenológico de pendoamento do milho

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) é um cereal de grande importância mundial, tanto econômica quanto social e está na base alimentar de diferentes países. Nesse contexto, atualmente há grande preocupação com as perdas na qualidade das sementes e cada vez mais a necessidade de pesquisas com o intuito de retardar o processo natural de deterioração. O pré-condicionamento fisiológico e a ozonização são métodos que vêm sendo estudados e têm apresentado potencial para a manutenção da qualidade de diferentes produtos agrícolas, inclusive de sementes. O objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos na qualidade fisiológica e no desempenho em campo de sementes de milho com diferentes padrões de qualidade antes e depois do pré-condicionamento em água ozonizada. Para avaliação da qualidade fisiológica, foram utilizados dois lotes (de alta e baixa qualidade fisiológica) de sementes de milho da variedade BR 106, da safra 2016/2017 (submetido ao envelhecimento) e 2017/18 (não submetido ao envelhecimento), com aproximadamente 11,0% de umidade, nomeados de lote A e B, respectivamente. As sementes de ambos os lotes foram imersas em água destilada com o borbulhamento de gás ozônio ou ar atmosférico na solução. Foram utilizadas três concentrações de ozônio (0, 10 e 20 mg L⁻¹) e cinco períodos de exposição (0, 30, 60, 90 e 120 min), com três repetições. Após os períodos de pré-condicionamento, as sementes foram secas em temperatura ambiente e em seguida foram realizados os testes de qualidade fisiológica. Em laboratório, foram realizados os seguintes testes: germinação (TPG), condutividade elétrica (CE), comprimento de plântula (CP), comprimento de raiz (CR), massa seca (MS) e velocidade de germinação (IVG). Em campo avaliaram-se a emergência (EMER), a velocidade de emergência (IVE), as alturas das plantas com 7, 45 e 75 dias após a emergência, altura de inserção da primeira espiga, a produtividade e a massa de mil grãos. Na avaliação da qualidade fisiológica das sementes, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), para variáveis de laboratório, e delineamento em blocos ao acaso (DBC), para variáveis de campo, em esquema fatorial 3x5, com três repetições. Inicialmente foi realizada análise de variância e posteriormente foi realizado o teste de Tukey a 5,0% de probabilidade. A partir dos resultados da análise de variância, foram definidos as variáveis e os binômios formados por concentração do ozônio e período de exposição para a análise multivariada. Na análise multivariada, realizou-se Análise

de Componentes Principais (PCA). O uso da técnica de pré-condicionamento de sementes de milho em água na presença ou não do ozônio favoreceu a qualidade fisiológica das sementes de milho, quando eram consideradas variáveis de laboratório e de campo. Houve aumento na emergência em campo de sementes não submetidas ao envelhecimento. O uso do ozônio foi positivo na menor perda de solutos celulares em sementes submetidas ao envelhecimento (binômio 20 mg L⁻¹/60 min) e destacou-se positivamente nos incrementos das alturas das plantas e na inserção da primeira espiga em relação às sementes não tratadas. Para as sementes do lote com alta qualidade fisiológica (não submetidas ao envelhecimento), os binômios mais adequados foram 20 mg L⁻¹/60 min e 20 mg L⁻¹/90 min. Para as sementes do lote de baixa qualidade fisiológica (submetidas ao envelhecimento), os binômios que se destacaram foram 0 mg L⁻¹/30 min e 20 mg L⁻¹/60 min. O pré-condicionamento por período igual a 120 min é inadequado para sementes de milho.

PALAVRAS-CHAVE: ozonização, milho (*Zea mays L.*), qualidade fisiológica de sementes, vigor, pré-condicionamento de sementes

ABSTRACT

Corn (*Zea mays* L.) is a cereal of great importance worldwide, both economically and socially and is the food base of different countries. In this context, there is currently great concern about the decrease in seed quality, increasing the need for research in order to delay the natural deterioration process. Physiological priming and ozonation are methods that have been studied and show potential to maintain the quality of different agricultural products, including seeds. The objective of the present work was to evaluate the effects on the physiological quality and the performance in field of corn seeds with different quality standards before and after hydropriming with ozone. To evaluate the physiological quality, two lots (one with high physiological quality and the other with physiological low quality) of corn seeds of the variety BR 106, from the 2016/2017 season (submitted to aging) and 2017/18 (not submitted to aging), were used, with approximately 11.0 % moisture. Seeds from both lots were immersed in distilled water and bubbled with ozone gas or atmospheric air. Three concentrations of ozone (0, 10 and 20 mg L⁻¹) and five periods of exposure (0, 30, 60, 90 and 120 min) were used, with three repetitions. After the priming periods, the seeds were dried at room temperature and were submitted to physiological quality tests. In the laboratory, the evaluations tests were carried out: germination, electrical conductivity, seedling length, root length, dry mass and germination speed index. In a field, the evaluation tests were as follows: emergency, emergency speed index, such as plant heights 7, 45 and 75 days after emergence, height of insertion of the first corn cob, productivity and mass of a thousand grains. In assessing the physiological quality of seeds, a completely randomized design was used for laboratory variables, and a randomized block design for field variables, in a 3x5 factorial scheme, with three replications. Initially an analysis of variance was performed and then the Tukey test at 5.0% probability. From the results of the analysis of variance, the variables and binomials formed by ozone concentration and exposure time for multivariate analysis were defined. In the multivariate analysis, Principal Component Analysis was performed. The use of the corn seed hydropriming in the presence or not of ozone favored the physiological quality of the corn seeds, when considering laboratory and field variables. There was an increase of emergence in the field seeds not submitted to aging. The use of ozone was positive in the lower loss of cellular solutes in seeds submitted to aging (binomial 20 mg L⁻¹/60 min) and stood out positively in the

increase of plant heights and in the insertion of the first corn cob in comparison to untreated seeds. In the seeds from high physiological quality (not submitted to aging), the most used binomials were 20 mg L⁻¹/60 min and 20 mg L⁻¹/90 min. In the seeds of low physiological quality (submitted to aging), the most used binomials were 0 mg L⁻¹/30 min and 20 mg L⁻¹/60 min. Hydropriming for a period equal to 120 min is harmful for corn seeds.

KEY WORDS: ozonation, corn (*Zea mays* L.), physiological quality of seeds, vigor, seeds priming

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um cereal de grande importância mundial, tanto econômica quanto social e está na base alimentar de diferentes países, sendo também uma alternativa para a produção de biocombustível. A produção mundial de milho vem crescendo a cada ano e de acordo com a FAO (2019) sua produção total em 2017 foi de 1,13 bilhões de toneladas. No Brasil, a produção desse cereal é a mais expressiva, comparativamente a de outros cereais, com a safra 2018/19 equivalente a aproximadamente 100 milhões de toneladas, sendo o terceiro maior produtor desse grão no mundo (CONAB, 2019).

Para um bom rendimento, boa produtividade, otimização dos insumos e demais etapas de produção, faz-se necessário utilizar sementes com alto padrão de qualidade. Nesse contexto, atualmente há grande preocupação com as perdas na qualidade de sementes e cada vez mais a necessidade de pesquisas com o intuito de retardar o processo natural de deterioração. Em se tratando de semente, é importante reduzir as perdas quantitativas, assim como as qualitativas, visto que o valor das sementes é baseado em sua qualidade fisiológica, física, genética e sanitária.

As sementes têm como principal função a perpetuação, dispersão e distribuição daquela determinada espécie, tanto no espaço quanto ao longo do tempo. Elas, assim como qualquer outro ser vivo, têm suas atividades metabólicas em processo contínuo. Entretanto, é natural a perda de viabilidade das sementes ao longo do armazenamento, devido às condições ambientais e à sua atividade respiratória, com o consequente gasto de suas reservas energéticas. A perda de viabilidade das sementes durante o armazenamento depende de diferentes fatores, tais como grau de umidade e temperatura, por exemplo. Quando se fala em viabilidade, vigor e germinação estamos falando principalmente de atributos relacionados à qualidade fisiológica de sementes.

A qualidade fisiológica é de extrema importância para o bom desenvolvimento de uma semente, para sua rápida e vigorosa germinação, para o seu estabelecimento em diversos ambientes ao qual for submetida (MARCOS FILHO, 2005). De acordo com Krzyzanowski (1999), a qualidade fisiológica potencial de uma semente, além da herança genética, é determinada também pelas condições ambientais em que foi produzida, as técnicas utilizadas, o período da colheita, a

forma como foi realizada a secagem, seu beneficiamento e armazenamento, ou seja, todas as etapas de produção em que a semente for envolvida merecem atenção quando queremos um produto final de alta qualidade.

Métodos que contribuam para reduzir o tempo de germinação, aumentar a germinabilidade, a uniformidade e vigor das plântulas são importantes para o setor de produção de sementes. O pré-condicionamento fisiológico e a ozonização são métodos que vêm sendo estudados e têm apresentado potencial para a manutenção da qualidade de diferentes produtos agrícolas, inclusive de sementes.

O pré-condicionamento fisiológico, também conhecido como “priming”, baseia-se na embebição restrita das sementes em uma solução, para a inicialização dos seus processos metabólicos, sem que ocorra o processo germinativo completo (FERREIRA; BORGHETTI, 2004). Como consequência do pré-condicionamento, ocorre a reorganização das membranas celulares e reparação dos tecidos da semente, contribuindo na sua qualidade final, na rapidez e na uniformização da sua germinação (ARTOLA et al., 2003).

No que tange ao uso do ozônio em produtos agrícolas, pode-se dizer que esse gás tem grande potencial e tem se tornado uma alternativa de cunho ecológico e considerada de baixo custo (ROZADO et al., 2008). Pela facilidade em se obter o gás e por não deixar resíduos, a ozonização é uma técnica que vem sendo cada vez mais estudada em diversos setores e tem se tornado destaque nos principais periódicos da área agrícola, tanto nacional quanto internacional. Esse gás é usado no tratamento de água e esgoto, na manutenção da qualidade de produtos agropecuários e também na área da saúde. Na área agrícola, na conservação de alimentos, tendo em vista seu potencial como agente antimicrobiano. Seus efeitos benéficos na conservação e sanitização de alimentos decorrem do alto potencial de oxidação do gás ozônio (CHIATTONE et al., 2008). Diversos trabalhos evidenciam os benefícios do gás ozônio na agricultura, como por exemplo o aumento da vida de prateleira dos produtos agrícolas (SILVA et al., 2011), a redução da perda de solutos celulares em sementes de milho após exposição à água ozonizada (MAXIMIANO et al., 2018) e também aumento da taxa de germinação de sementes de milho (VIOLLEAU et al., 2008). O gás ozônio como fumigante reduz significativamente as principais pragas agrícolas do milho armazenado, como por exemplo o *Sitophilos zeamais* (KELLS et al., 2001). Foi demonstrado também que o tratamento com

ozônio em peras desacelera o aumento de sólidos solúveis totais, indicativo de maturação dos frutos e, em consequência aumenta, sua vida útil (ALENCAR et al., 2014). Tiwari et al. (2010) concluiu que o uso do ozônio é um método alternativo de sucesso para desinfestação de grãos e, além disso é favorável ao meio ambiente por não deixar nenhum resíduo tóxico ao final do processo.

Com a demanda crescente por tecnologias sustentáveis, não convencionais e não prejudiciais ao meio ambiente, o uso da técnica do pré-condicionamento fisiológico e da ozonização, combinados ou não, são alternativas promissoras. Espera-se que com o uso dessas tecnologias, seja possível contribuir de forma significativa e eficaz no processo de pós-colheita, resultando não somente na conservação e preservação da qualidade fitossanitária e fisiológica de sementes, mas também na manutenção de bancos de germoplasma, com o aumento do período de armazenamento seguro e minimização das perdas por baixa viabilidade.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar os efeitos na qualidade fisiológica e no desempenho em campo de sementes de milho com diferentes padrões de qualidade antes e depois do pré-condicionamento em água ozonizada.

2.2. Objetivos Específicos

- 1) Avaliar o efeito do pré-condicionamento em água ozonizada ou não na germinação de sementes de milho com diferentes padrões de qualidade em laboratório e em campo, a partir de diferentes binômios entre concentração do ozônio e período de exposição;
- 2) Verificar o efeito do pré-condicionamento em água ozonizada ou não de sementes com diferentes padrões de qualidade, no desenvolvimento inicial de plântulas, a partir de diferentes binômios entre concentração do ozônio e período de exposição;
- 3) Avaliar o efeito do pré-condicionamento em água ozonizada ou não no desempenho agrônômico da cultura de milho, a partir de diferentes binômios entre concentração do ozônio e período de exposição.

3. HIPÓTESES

- 1) A ozonização de sementes de milho afeta positivamente a qualidade fisiológica;
- 2) A aplicação de ozônio em meio aquoso tem respostas positivas superiores em relação à aplicação de ar atmosférico;
- 3) Sementes de milho ozonizadas apresentem melhor desempenho em campo do que sementes não ozonizadas;
- 4) A ozonização tem efeito mais pronunciado em sementes com qualidade fisiológica inferior;
- 5) O pré-condicionamento fisiológico afeta positivamente a qualidade fisiológica de sementes de milho.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Aspectos gerais da cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é o cereal de maior volume de produção no mundo. Pertencente à família *Poaceae* (antiga *Gramineae*) (MAGALHÃES et al., 1995), essa espécie contém quase todos os aminoácidos conhecidos e valiosas qualidades nutricionais, sendo utilizada desde a alimentação humana a animal e também na produção de etanol, por exemplo. Acredita-se que o berço dessa espécie seja o sul do México, pois foi nessa região que detectaram os seus primeiros registros. Geneticistas afirmam que o milho tem sua origem advinda do Teosinto, uma subespécie mexicana, que por meio da domesticação ao longo de muitos anos originou o milho como o conhecemos hoje (BARROS; CALADO, 2014).

De acordo com Magalhães et al. (2002), o milho é uma das plantas mais eficientes quando se fala em armazenamento de energia, pois de apenas uma semente é possível surgir uma planta de mais de dois metros de altura. E de acordo com Aldrich et al. (1982), citado por Magalhães et al. (2002), depois de plantada, uma semente de milho pode vir a produzir cerca de 600 a 1000 sementes semelhantes.

A semente de milho é formada basicamente por três partes: o embrião, o endosperma e o pericarpo. O pericarpo é a parte mais externa da semente e envolve o endosperma, que por sua vez é a parte mais importante em termos nutricionais e econômicos, sendo constituído principalmente por amido e outros carboidratos (BARROS; CALADO, 2014). O embrião é a parte mais essencial, sendo responsável por dar origem a uma nova planta após a germinação.

O desenvolvimento da semente de milho é limitado principalmente pela disponibilidade de água, temperatura e luminosidade. Esses fatores devem estar disponíveis em níveis considerados ótimos, para que a cultura expresse todo o seu potencial genético de produção (CRUZ et al., 2010). De acordo com Aldrich et al. (1982), conforme citado por Magalhães et al. (2002), a quantidade de água que uma planta de milho consome durante o seu ciclo é de aproximadamente 600 mm de lâmina. Caso essa planta passe por um estresse hídrico de dois dias, por exemplo, na fase de florescimento, o rendimento pode diminuir em mais de 20%. Como podemos ver, a água é de extrema importância para o completo desenvolvimento da

planta de milho, pois é necessária a disponibilidade correta de água em pelo menos três fases de seu desenvolvimento: iniciação floral, fertilização e enchimento do grão, ou seja, a falta de água pode afetar diretamente na queda de produção e no tamanho do grão (MAGALHÃES et al., 2002).

A temperatura considerada ideal para o desenvolvimento de uma planta de milho desde sua germinação até seu estágio de floração, está entre 24 e 30 °C. A duração do ciclo das cultivares de milho pode variar bastante, sendo classificadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento em três grupos: Grupo I ($n < 110$ dias/ precoce), Grupo II ($n \geq 110$ dias ou $n \leq 145$ / ciclo médio) e Grupo III ($n > 145$ dias/ ciclo tardio) (CRUZ et al., 2010). Uma planta de milho passa por diversos estádios de desenvolvimento durante seu ciclo. Os estádios de desenvolvimento de uma planta de milho estão divididos em estágio vegetativo (V) e reprodutivo (R). O estágio VE por exemplo, se refere ao momento da emergência da plântula, indo até o estágio VT que seria o momento do pendoamento. O estágio R1 é o momento da polinização e embonecamento, indo até o estágio R6 onde ocorre a maturidade fisiológica, ou seja, é o momento em que todas as sementes da espiga atingem o máximo de matéria seca e máximo vigor. Nesse estágio, seria o momento ideal para a realização da colheita, mas o grau de umidade ainda é muito elevado nesse momento, então, por segurança, a maioria dos produtores deixam para colher tardiamente, quando a umidade atinge entre 18 a 25% (b.u.). De qualquer forma, é necessário que o produto seja submetido a uma secagem artificial, para que seja armazenado adequadamente com segurança e para que tenha uma vida de prateleira maior (MAGALHÃES et al., 2002).

Atualmente, o maior produtor de milho no mundo é os Estados Unidos, seguido da China e em terceiro o Brasil, com produção estimada de 101 milhões de toneladas de grãos na safra 2018/2019. O Brasil é, atualmente, o segundo maior exportador de milho no mundo, ficando atrás somente dos Estados Unidos. Alguns dos maiores importadores são alguns países europeus, o México e o Japão (INDEX MUNDI, 2019). Nacionalmente, a produção e o consumo desse cereal são bastante elevados e, é também muito utilizado para ração animal, devido ao seu alto valor energético e potencial de produção, podendo ser classificado como um dos mais importantes para o agronegócio brasileiro (CONAB, 2019).

4.2. Qualidade fisiológica das sementes

A qualidade de uma semente é primordial na agricultura para que a planta tenha sucesso em todo o seu ciclo de desenvolvimento.

A qualidade das sementes que são produzidas no Brasil está amparada pela lei Nº 10.711, de 5 de agosto de 2003, que fala sobre o Sistema Nacional de Sementes e Mudas. Tem como principal objetivo garantir a identidade, a qualidade do material de multiplicação e de reprodução vegetal produzida, comercializada e utilizada no Brasil (BRASIL, 2007). A qualidade de uma semente como um todo é definida por Popinigis (1977) como o somatório de todos os seus atributos: genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários. Neste trabalho, a abordagem está focada principalmente na qualidade fisiológica das sementes de milho.

De acordo com Popinigis (1977), a qualidade fisiológica é definida como a capacidade que a semente tem de desempenhar suas funções vitais, que é caracterizada pela germinação, pelo vigor e pela sua longevidade. Todos esses atributos irão afetar diretamente a capacidade de desenvolvimento dessas sementes no campo e na produtividade final da cultura.

Para se estudar a qualidade fisiológica das sementes existem diversos testes que podem contribuir para estimar a capacidade de germinação e o vigor das mesmas, alguns deles são mais simples e outros, mais complexos, mas todos apresentam papel importante dentro da tecnologia da produção de sementes de alta qualidade.

A avaliação da qualidade fisiológica de uma semente é realizada principalmente, por meio do teste de germinação, mas, de acordo com Krzyzanowski (1999), este teste é limitado, pois ele não avalia a natureza progressiva da deterioração, sendo necessário então, realizar testes de vigor, pois nos fornece uma medida mais real do grau de deterioração de uma semente.

4.3. Teste de germinação

A germinação é o reinício do desenvolvimento do embrião, ou seja, quando se fornece água para a semente, ela reativa o crescimento do embrião que culmina na ruptura do tegumento da semente. Popinigis (1977) diz que a germinação é a capacidade que a semente tem de reproduzir uma plântula, que por meio de suas características essenciais (sistema radicular, coleóptilo e parte aérea), demonstre

todo seu potencial para produzir uma planta normal em diversas condições ambientais de campo.

Para determinar o poder de germinação, ou a taxa de germinação de uma semente, é necessário realizar o teste de germinação, que serve, também, para comparar a qualidade de diferentes lotes e para estimação do valor de densidade para semeadura em campo. Os resultados do teste de germinação são de grande importância, pois o teste é altamente padronizado, permitindo obtenção de resultados reproduzíveis por diferentes laboratórios quando se avalia um mesmo lote (POPINIGIS, 1977).

O teste é conduzido em laboratório, onde se pode simular as condições ideais para o desenvolvimento da semente. O resultado do teste é dado em porcentagem de germinação, onde são consideradas as plântulas classificadas como normais. Por ser realizado em laboratório, o teste de germinação tem suas limitações pelo fato de ser conduzido em condições artificiais, com um ambiente “perfeito” para o desenvolvimento das sementes, não condizendo com as condições ambientais em campo. E por esse motivo é necessário conduzir também testes para atestar o vigor das sementes.

No Brasil, o teste de germinação é exigido pela Legislação Brasileira para comercialização de sementes, sendo que para híbridos de milho, nas categorias de sementes C1, C2, S1 e S2, o valor mínimo de germinação é de 85% (BRASIL, 2013).

4.4. Testes de vigor e desempenho da cultura em campo

De acordo com Krzyzanowski (1999), o conceito de vigor pode ser dividido em acadêmico e operacional. O vigor, sob o ponto de vista acadêmico, de acordo com a International Seed Testing Association (ISTA, 1995), é a soma total das propriedades das sementes as quais determinam o nível potencial de atividade e comportamento da mesma ou de um lote delas durante a germinação e emergência da plântula. Já sob o ponto de vista operacional, de acordo com AOSA (Association of Official Seed Analysts), vigor é o somatório de propriedades das sementes que determinam seu potencial para uma rápida e uniforme emergência e desenvolvimento de plântulas normais e sadias sob um amplo espectro de condições ambientais (AOSA, 1983). De acordo com Marcos Filho (1999), um dos

objetivos principais em realizar testes de vigor é ter a possibilidade de analisar e avaliar diferenças significativas na qualidade fisiológica de lotes de sementes com germinação e comportamento semelhante, ou seja, poder comparar e diferenciar com maior segurança o nível de vigor de um lote para o outro. De acordo com Krzyzanowski (1999), para que um teste de vigor seja considerado ideal, ele deve ser de fácil execução e relativamente rápido e, para isso, existem vários testes que podem aferir o vigor de um lote de sementes, dentre os principais estão o teste de condutividade elétrica, o índice de velocidade de emergência e germinação, a altura da planta, o comprimento de plântula e raiz, a matéria seca, entre outros.

O teste de condutividade elétrica possibilita a estimativa do vigor em apenas 24 horas, sendo considerado um método simples e de resultados rápidos. Este teste foi proposto pela primeira vez em sementes de ervilha por Matthews e Bradnock (1967), apud (CALIARI; MARCOS FILHO, 1990).

O teste de condutividade elétrica tem como princípio o fato de que, com o processo de deterioração, ocorre um aumento considerável da lixiviação dos componentes celulares das sementes embebidas em água, devido à perda da integridade das membranas celulares (HEPBURN et al., 1984). O aparelho de medição da condutividade, também conhecido como condutímetro, contabiliza de maneira indireta a quantidade de eletrólitos liberados pelas sementes no processo de embebição, que está relacionado com a integridade da membrana e seu grau de estruturação (POWELL, 1986). Uma membrana celular danificada, deteriorada, libera mais eletrólitos, logo, considera-se o vigor das sementes inversamente proporcional à leitura realizada pelo condutímetro (VIEIRA; CARVALHO 1994; VIEIRA; KRZYZANOWSKI, 1999). No caso específico do milho, já existem, na literatura, valores de referência para o teste de condutividade elétrica. De acordo com Vieira e Carvalho (1994), sementes de milho com valores de condutividade igual ou abaixo de $6 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ são consideradas de muito alto vigor, já sementes com condutividade entre 6 e $15 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ são consideradas de alto vigor, de 15 a $24 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ médio vigor e acima de $24 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ são de baixo vigor.

Diversos trabalhos evidenciam a importância e eficiência do teste de condutividade elétrica para diversos tipos de sementes e demonstram que o decréscimo na germinação e no vigor é diretamente proporcional ao aumento da liberação de solutos das membranas celulares das mesmas. Alguns trabalhos se

destacam como o de Torres e Pereira (2010) em sementes de rúcula, em sementes de pimentão (OLIVEIRA; NOVEMBRE, 2005), na comparação entre lotes de sementes de amendoim (VANZOLINI; NAKAGAWA, 2005), Santos (1993) com sementes de algodão, Bruggink et al. (1991) com sementes de milho, Dias e Marcos Filho (1996) com sementes de soja, dentre outros trabalhos.

A altura das plantas e a inserção da primeira espiga podem ser influenciadas pela qualidade fisiológica das sementes. Quanto maior a altura, maior o vigor e, conseqüentemente, maior a produtividade. Alguns trabalhos comprovaram essa afirmação, como Schuch et al. (2009), que observaram que plantas de soja provenientes de sementes de alto vigor apresentaram maior altura e 25% a mais no rendimento final do que aquelas provenientes de sementes de baixa qualidade fisiológica. Resultados semelhantes foram obtidos por Scheeren (2002), também com plantas de soja, em que plantas oriundas de sementes de alto vigor apresentaram maior altura nos 20 primeiros dias e isso contribuiu para maior rendimento final de grãos. Resultados semelhantes foram obtidos por Rossi, Cavariani e França Neto (2017). Os resultados demonstraram que sementes de soja com baixo vigor resultaram em plantas de menor estatura, menor altura de inserção de vagens e, conseqüentemente, menor número de vagens. Ainda de acordo com os esses autores, plantas mais vigorosas são mais altas e logo mais competitivas por luz do que as plantas daninhas e, devido à maior estatura da primeira vagem, as perdas na colheita são menores. De acordo com Repke et al. (2012), a altura da planta e da inserção da primeira espiga, em se tratando de milho, são indicadores de natureza quantitativa de grande relevância e estão relacionadas com a tolerância ao acamamento.

A produtividade é um fator extremamente importante, sendo um indicador de qualidade e também um indicador econômico. É um dos parâmetros mais buscados para quem produz grãos no geral. Ter conhecimento da taxa de produtividade contribui para aferir a qualidade geral da semente que foi utilizada e como parâmetro para comparação entre diferentes lotes de sementes. A utilização de sementes de alta qualidade fisiológica, genética, sanitária e física influencia diretamente na elevação da produtividade agrícola.

De acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), a massa de mil grãos ou sementes de uma amostra é muito utilizada para calcular a

densidade de semeadura, o número de sementes por embalagem, por exemplo. Sendo muito usada para obter informação de tamanho e massa dos grãos ou sementes, assim como sua sanidade e estado de maturidade fisiológica, sendo, portanto, um dado importante para aferir também sua qualidade fisiológica.

De acordo com Maguire (1962), o índice de velocidade de germinação (IVG) é um dos mais antigos conceitos que pode ser usado para avaliar o vigor de sementes. Em 1981, Johnson e Wax observaram que em lotes de sementes de milho de alto vigor, a emergência se dava de forma mais rápida quando comparado a um lote de baixo vigor. Podemos entender que quando uma semente ou um lote delas apresentam alto nível de vigor, elas tendem a emergir de maneira mais rápida do que aquelas de baixo vigor, pois, provavelmente, as sementes de baixo vigor, antes de iniciarem o seu desenvolvimento, precisam reparar e restaurar células e tecidos que estão danificados devido ao processo natural de deterioração. De acordo com Ferreira e Borghetti (2004), o índice de velocidade de germinação é contabilizado a partir do número de sementes ou plântulas normais que germinaram a cada dia. Quando se considera o índice como um critério agrônômico, passa-se a chamá-lo de índice de velocidade de emergência (IVE). Quanto maior for o valor de IVE, mais vigorosa tende a ser a semente ou o seu lote (NAKAGAWA, 1999).

4.5. Pré-condicionamento de sementes

O pré-condicionamento, condicionamento fisiológico, condicionamento osmótico ou “priming” de sementes é uma técnica que vem sendo utilizada para facilitar o processo de germinação, a partir da embebição controlada dessas sementes, permitindo a reativação dos processos metabólicos da germinação, iniciação das primeiras etapas do processo germinativo, sem que ocorra a protrusão da raiz primária (HEYDECKER et al., 1973). Como consequência do pré-condicionamento, ocorre a reorganização das membranas celulares e reparação dos tecidos da semente, contribuindo na sua qualidade final, na rapidez e na uniformização da sua germinação (ARTOLA et al., 2003). De acordo com Vasquez (1995), o condicionamento fisiológico é um dos procedimentos mais promissores quando se pensa em uma possível reversibilidade da deterioração.

No presente trabalho, a técnica de condicionamento fisiológico que será adotada chama-se condicionamento por imersão ou hidrocondicionamento, onde ocorre diretamente o fornecimento de água para a semente. Esses efeitos benéficos

para a semente são influenciados por diversas variáveis, como a temperatura, a espécie a ser tratada, condições iniciais do lote de sementes, dentre outros (WELBAUM, et al., 1998). Por esse motivo, existe mais de um método para pré-condicionar as sementes, além do método anteriormente citado, existem outros descritos por Marcos Filho (2005), como a embebição da semente por atmosfera úmida, o condicionamento mátrico, o condicionamento osmótico, entre outros.

No trabalho realizado por Bisognin et al. (2016), o hidrocondicionamento de sementes mostrou-se uma técnica de pré-condicionamento de baixo custo e eficiente para a melhoria da qualidade e uniformidade das plântulas para as culturas do tomate e repolho. Giurizatto et al. (2008) verificaram que sementes de soja submetidas ao hidrocondicionamento em água destilada apresentaram menores perdas na qualidade fisiológica durante o armazenamento. Hölbig, Baudet e Villela (2011) observaram que o hidrocondicionamento realizado em sementes de cebola favoreceu a velocidade de emergência e a porcentagem de plântulas emergidas, além de originarem plântulas maiores e com maior acúmulo de biomassa. De Paula Queiroga et al. (2009) observaram, em sementes de algodão, que o condicionamento hídrico das mesmas proporcionou um maior potencial germinativo e maior vigor em comparação às sementes que não foram pré-hidratadas. Araújo et al. (2011), ao estudarem os efeitos do condicionamento fisiológico em sementes de maxixe, observaram um aumento no acúmulo de massa seca, altura de plântulas e velocidade de emergência, comparativamente àquelas sementes que não foram hidrocondicionadas. Silva e Villela (2011) notaram que a prévia hidratação em sementes de soja possibilitou desempenho superior na germinação de plântulas em campo e diminuiu os valores de condutividade elétrica. Hernández-López et al. (2018) verificaram, em sementes de *Capsicum chinense*, que o pré-condicionamento com água é suficiente para estimular a germinação e, conseqüentemente, diminuir a dormência dessas sementes. Em um trabalho com sementes de cornichão (*Lotus corniculatus* L.), o hidrocondicionamento foi adotado como estratégia para aumentar o vigor das sementes. Neste mesmo trabalho foi observado aumento na taxa e maior uniformidade de germinação, principalmente em sementes de baixo vigor que foram pré-condicionadas (ARTOLA et al., 2003). De acordo com Krzyzanowski (1999), as sementes que são previamente embebidas em água germinam e se desenvolvem de

maneira mais rápida do que aquelas não pré-embecidas. Para ele, pré-embecer é uma maneira de estimular a semente a aumentar seu vigor de germinação.

4.6. O gás ozônio e o processo de ozonização

O gás ozônio é resultante da reorganização dos átomos de oxigênio, que são separados por meio de descargas elétricas ou por meio da incidência de radiação eletromagnética no ar (KHADRE; YOUSEF, 2001; KIM et al., 1999). Sua descoberta ocorreu no ano de 1839 pelo físico-químico suíço-alemão Christian Friedrich Schönbein (LAPOLLI et al., 2003). O primeiro gerador de ozônio inventado teve origem na Alemanha, por volta do ano de 1875 e o ozonizador foi desenvolvido pela empresa Siemens. A utilização do ozônio como material sanitário tem registro há mais de 120 anos e começou seu desenvolvimento e maior avanço na França. Em Nice, no ano de 1906, teve-se o primeiro registro de uso do ozônio mais a associação de água para o tratamento de vegetais. Também no país francês, em 1909, o gás ozônio começou a ser utilizado para conservar alimentos como a carne. Em 1977, foi utilizado na Rússia para reduzir *Salmonella* em ovos (YANG; CHEN, 1979).

O ozônio é reconhecido com uma substância segura desde 1982, mas apenas em 1997 foi permitida pela FDA (Food and Drug Administration) sua utilização em alimentos. Com isso, foi possível seu uso como agente antimicrobiano e como sanitizante, tornando-se cada vez mais evidente o poder desse gás (GRAHAM, 1997; KIM et al., 1999; FDA, 2013).

Diversos trabalhos evidenciam os benefícios do gás ozônio na agricultura, como, por exemplo, o aumento da vida de prateleira dos produtos agrícolas (SILVA et al., 2011), a redução da perda de solutos celulares em sementes de milho após exposição à água ozonizada (MAXIMIANO et al., 2018) e também aumento da taxa de germinação de sementes de milho (VIOLLEAU et al., 2008). O gás ozônio como fumigante reduz significativamente as principais pragas agrícolas do milho armazenado, como por exemplo, *Sitophilus zeamais* (KELLS et al., 2001). Foi demonstrado, também, que o tratamento com ozônio em peras desacelera o aumento de sólidos solúveis totais, indicativo de maturação dos frutos e, em consequência, aumenta sua vida útil (ALENCAR et al., 2014). Existe também a Instrução Normativa nº 02 de 3 de janeiro de 2008, estabelecida pelo Ministério da

Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que obriga a utilização de um ozonizador no sistema de oxidação de agrotóxicos da água de lavagem das aeronaves agrícolas. Tiwari et al. (2010) concluíram que a aplicação de ozônio é eficaz para desinfestação de grãos armazenados, podendo reduzir ou até mesmo eliminar micotoxinas e microflora indesejáveis, sendo um método alternativo de sucesso, pois é favorável ao meio ambiente por não deixar nenhum resíduo tóxico ao final do processo. De acordo com Brito Júnior (2013), outra vantagem do uso do ozônio é que ele pode ser gerado no próprio local onde será utilizado e que é um dos mais efetivos agentes oxidantes existentes.

5. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida nos Laboratórios de Pré-processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas e de Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV) e na Fazenda Água Limpa, todos pertencentes à Universidade de Brasília, Brasília, DF.

5.1. Material genético

Neste trabalho foram usados dois lotes de sementes de milho da variedade BR 106, da safra 2016/2017 e 2017/18, com aproximadamente 11,0% de umidade. Ambos os lotes não foram submetidos a nenhum tipo de tratamento químico previamente.

A variedade de milho BR 106 é de elevado potencial produtivo e teve seu lançamento no mercado no ano de 1985. Todos os anos essa variedade passa por um processo para manter a pureza varietal, por meio de ciclos de seleção, que são realizados para melhorar a produtividade, a uniformidade e outras características de grande importância. É um milho considerado rústico por ser do tipo variedade, com isso também, seu custo de produção de sementes é mais baixo, possui porte médio de 240 cm de altura e tem sua maturação em aproximadamente 130 dias. Apresenta boa adaptabilidade em todas as regiões do Brasil, tem boa resistência ao acamamento, a altura da espiga fica em média com 135 cm de altura e a sua produtividade média é de 5.500 kg por hectare. É uma variedade considerada de grande alcance social, independentemente do grau de nível econômico e tecnológico, sendo usada desde o pequeno produtor e até mesmo por grandes empresas no uso para o melhoramento de milhos híbridos (NOCE, 2004).

Para obtenção do lote de baixo vigor, ou seja, com taxa de germinação abaixo de 85%, foi necessário realizar o envelhecimento acelerado das sementes. Utilizaram-se as sementes da safra 2016/2017, que inicialmente apresentavam percentual de germinação superior a 85%. No envelhecimento, foram utilizadas caixas do tipo gerbox, com 40 mL de água destilada no fundo e as sementes de milho dispostas uniformemente sobre uma tela acima da água. As caixas foram colocadas em uma câmara climática (BOD) com temperatura em torno de 42 °C. Testes preliminares indicaram necessidade de as sementes permanecerem por 60 h a 42 °C para atingir percentual de germinação de aproximadamente 60%. Em

seguida, as sementes foram colocadas para secar em condição ambiente, por sete dias, até atingir massa constante.

Dessa forma, foram utilizados dois lotes da variedade de milho BR 106: lote A com potencial de germinação de 85% e lote B com potencial de germinação de 60%.

5.2. Geração do gás ozônio

Foi utilizado um gerador de ozônio da marca OZONE & LIFE acoplado de concentrador de oxigênio (Figura 1). Esse gerador funciona baseado no método de Descarga por Barreira Dielétrica, em que, durante o processo de geração do ozônio, é utilizado oxigênio isento de umidade. Dentro do gerador, o oxigênio é refrigerado por meio de um reator e, logo após, recebe a descarga por barreira dielétrica (DBD) formando o gás ozônio (O_3). Essa descarga é resultado de uma alta voltagem entre dois eletrodos paralelos entre si, e entre esses dois eletrodos contém um vidro e um espaço livre por onde passam as moléculas de oxigênio. Essas moléculas recebem alta carga de energia, ocasionando a sua quebra e originando o ozônio propriamente dito (BRITO JÚNIOR, 2013).



Figura 1- Gerador de ozônio da marca Ozone & Life. Fonte: autor.

5.3. Ozonização das sementes

Foram utilizados recipientes de vidro com capacidade de 800 mL e com as tampas adaptadas com uma mangueira para entrada e saída do gás (Figura 2). O

gás ozônio foi borbulhado no recipiente contendo as sementes e 300 mL de água. Foram utilizadas, para cada repetição, 170 g de sementes de milho.

Para o pré-condicionamento das sementes de milho em água ozonizada, foram adotadas três concentrações de gás, sendo 0, 10 e 20 mg L⁻¹, com um fluxo de ar de 1,0 L min⁻¹. Essas condições foram estabelecidas a partir de resultados obtidos por Maximiano et al. (2018). A concentração de 0 mg L⁻¹ correspondeu ao uso de ar atmosférico. Os tempos de ozonização testados foram 0, 30, 60, 90 e 120 min. Para cada binômio entre concentração do gás e período de exposição, foram adotadas três repetições. Logo após o pré-condicionamento, as sementes de milho foram colocadas para secar até atingir massa constante durante uma semana sob condições ambiente, aproximadamente 27° C e 60% de umidade relativa do ar, sendo posteriormente armazenadas em câmara fria, a 5° C.



Figura 2- Amostra de sementes de milho sendo ozonizadas. Fonte: autor.

5.4. Análises em laboratório da qualidade das sementes de milho submetidas ao pré-condicionamento em água ozonizada

Na avaliação em laboratório da qualidade das sementes de milho submetidas ao pré-condicionamento em água ozonizada, foram analisados o percentual de germinação (GER), os comprimentos de plântula (CP) e raiz (CR), condutividade elétrica (CE), matéria seca das plântulas (MS) e índice de velocidade de germinação (IVG).

5.4.1. Teste de germinação

Para o teste de germinação, foram realizadas seis repetições de 25 sementes por tratamento. As sementes foram colocadas sobre papel germitest umedecido com água destilada e em seguida foram feitos rolinhos com cada um dos papéis e colocados em sacos plásticos vedados com barbante. Seguindo os critérios contidos nas Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009), os sacos plásticos contendo os rolinhos com as sementes foram colocados em uma germinadora (BOD) com temperatura de 25° C por sete dias. As avaliações foram realizadas aos 4 e 7 dias após o início do teste. Ao final do teste, ou seja, com 7 dias decorridos, foi realizada uma última contagem, considerando apenas as plântulas normais, com pelo menos 3 cm de raiz e 3 cm de parte aérea. Os valores foram expressos em porcentagem.

5.4.2. Comprimento de plântulas e de radículas

Foram medidos os comprimentos das raízes e das plântulas consideradas normais de cada repetição de cada um dos tratamentos. Foram consideradas normais as plântulas que continham radícula e parte aérea com 3 cm ou mais de comprimento, provenientes do teste de germinação. Para realizar as medições foi necessário o auxílio de uma régua graduada em centímetros fixada com fita adesiva em uma mesa. Para o comprimento de raiz (CR), a medição foi feita considerando a maior radícula presente na plântula. Para o comprimento de plântula (CP), foi necessário considerar o comprimento da ponta do coleóptilo até a ponta da maior raiz (VIEIRA; CARVALHO, 1994).

5.4.3. Condutividade elétrica das sementes

No teste de condutividade elétrica, foram utilizadas 50 sementes em duplicata, por repetição. As sementes, previamente pesadas em balança de precisão (0,01), foram colocadas em recipientes de plástico de 200 mL. Em seguida foram adicionados 75 mL de água destilada em cada recipiente, que posteriormente, foram acondicionados em uma câmara climática tipo BOD, a 25° C por 24h horas (VIEIRA; CARVALHO, 1994). Depois de decorridas as 24h, foi realizada a leitura da condutividade elétrica com aparelho da marca DIGIMED, e os resultados obtidos foram expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$.

5.4.4. Matéria seca das plântulas

Após a medição dos comprimentos das raízes e das plântulas, foi necessário retirar de cada plântula o restante da semente de milho, basicamente o resto do endosperma e o pericarpo. Em seguida, foram colocadas apenas as partes aéreas e as raízes de cada duplicata de cada tratamento em sacos de papel Kraft devidamente identificados para serem colocados posteriormente em uma estufa com circulação de ar a 80° C por 24 horas (NAKAGAWA, 1994). Decorridas as 24h em estufa, os sacos foram colocados por 15 minutos para esfriar em um dessecador contendo sílica. Após este período, cada uma das repetições foi pesada em balança de precisão (0,001g) e suas massas anotadas para futura avaliação.

5.4.5. Índice e velocidade de germinação

O índice de velocidade de germinação (IVG) foi obtido a partir do teste de germinação (TG). O método escolhido para este trabalho foi o descrito por Maguire (1962). De acordo com Ferreira e Borghetti (2004), o índice de velocidade de germinação é frequentemente usado sem unidade, porém a equação relaciona o número de plântulas emergidas pela unidade de tempo. Para o cálculo do índice de velocidade de germinação (IVG), foi utilizada a Equação 1, descrita abaixo:

$$\text{IVG} = \left(\frac{G_1}{N_1} \right) + \left(\frac{G_2}{N_2} \right) + \dots + \left(\frac{G_n}{N_n} \right) \quad \text{Equação 1}$$

em que,

G – número de plantas normais observadas (da primeira à última contagem);

N – número de dias decorridos (da primeira à última contagem).

5.5. Análises em campo da qualidade das sementes de milho submetidas ao pré-condicionamento em água ozonizada

O experimento em campo foi conduzido na Fazenda Água Limpa, pertencente à Universidade de Brasília (Figura 3). As atividades em campo foram iniciadas no dia 5 de abril de 2019, utilizando-se as sementes submetidas ao pré-condicionamento em água ozonizada e com borbulhamento de ar atmosférico. A formulação de adubação de plantio utilizada foi 43-0-16 (NPK – kg/ha) e com aproximadamente 45 dias após a semeadura (próximo ao estágio V7 de desenvolvimento vegetativo) foi realizada adubação nitrogenada, empregando ureia como fonte de nitrogênio. A colheita foi realizada no dia 9 de setembro de 2019, com aproximadamente 150 dias. As avaliações foram realizadas ao decorrer dos estádios de desenvolvimento da cultura. Avaliaram-se a emergência (EMER), o índice de velocidade de emergência em campo (IVE), a altura das plantas aos 7, 45 e 75 dias após a emergência, altura da inserção da primeira espiga, produtividade e massa de mil grãos. Para o controle de plantas daninhas, foram realizadas capinas de maneira manual, com auxílio de enxada, por pelo menos quatro vezes durante o cultivo do milho.



Figura 3 - Plantas de milho com aproximadamente cinco semanas. Fonte: autor.

5.5.1. Emergência em campo

O teste de emergência de plântulas foi conduzido utilizando-se duas repetições com 20 sementes de cada uma das repetições que foram ozonizadas, totalizando 3.000 sementes. Realizou-se a semeadura em fileiras de 3,0 metros lineares, com aproximadamente 4,0 cm de profundidade e o espaçamento entre linhas de 0,5 m entre si (Figura 4). As avaliações foram realizadas 14 dias após a emergência e o resultado final foi expresso em porcentagem, de acordo com Sbrussi e Zucareli (2014).



Figura 4 - Emergência das plântulas em campo. Fonte: autor.

5.5.2. Índice de velocidade de emergência em campo

O índice de velocidade de emergência em campo (IVE) foi obtido a partir do teste de emergência de plântulas, onde as observações e anotações foram realizadas todos os dias a partir da emergência da primeira plântula (Figura 5) e até que o número de plântulas se tornou constante, por volta do seu décimo quarto dia, de acordo com Sbrussi e Zucareli (2014). O método escolhido para este cálculo foi o mesmo descrito anteriormente para o índice de velocidade de germinação.



Figura 5 - Plantas com sete dias após emergência em campo. Fonte: autor.

5.5.3. Altura das plantas e da inserção da primeira espiga

Para determinar a altura das plantas, foram feitas medições aos 7, 45 e 75 dias após a emergência, a partir do nível do solo até o colar da última folha que estava totalmente aberta (Figuras 6 e 7). Para medir a altura da inserção da primeira espiga, foi feita a medição do solo até a inserção da primeira espiga. A determinação das medidas foi realizada com pelo menos dez plantas por unidade experimental, conforme proposto por Vazquez, Sargi e Pessoa (2012).



Figura 6 - Medição da altura das plantas de milho aos 45 dias após a emergência. Fonte: autor.



Figura 7 - Medição da altura das plantas de milho aos 75 dias após a emergência. Fonte: autor.

5.5.4. Produtividade

A produtividade (kg ha^{-1}) foi determinada de acordo com o método de ajuste de produtividade utilizada em ensaios com a cultura do milho, proposto por Zuber (1942), citado por Vencovsky e Cruz (1991). Foram coletadas todas as espigas de cada parcela. Posteriormente, as espigas foram debulhadas mecanicamente e, em laboratório, as amostras coletadas foram pesadas em balança de precisão (0,001). Para calcular a produtividade corrigida foi utilizada a Equação 2 abaixo:

$$Z_{ij} = Y_{ij} \cdot \frac{H - a \cdot (H - X_{ij})}{X_{ij}} \quad \text{Equação 2}$$

em que,

Z_{ij} – Produtividade corrigida;

Y_{ij} – Produtividade observada nas parcelas;

H – Representa o estande ideal, que no presente trabalho foi de 20 plantas;

a – Coeficiente de compensação por ausência de competição = 0,3;

X_{ij} – estande final de plantas no dia da colheita.

5.5.5. Massa de mil grãos

Para o procedimento de determinação da massa de mil grãos, procedeu-se à contagem de 8 repetições de 100 grãos por repetição de cada repetição por binômio. Em seguida, os grãos de cada uma das repetições foram pesados, considerando sempre o mesmo número de casas decimais, conforme descrito nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Para calcular a massa de mil grãos foi utilizada a Equação 3:

$$\text{MMG} = \frac{M_a \times 1000}{N_t} \quad \text{Equação 3}$$

em que,

MMG - massa de mil grãos;

M_a - massa da amostra;

N_t - número total de grãos.

5.6. Delineamento experimental

No experimento em laboratório, para determinação da qualidade fisiológica das sementes, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3x5, sendo três concentrações de ozônio (0, 10 e 20 mg L⁻¹) e cinco tempos de exposição em água (0, 30, 60, 90 e 120 min), com três repetições.

Em campo, o delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC), em esquema fatorial 3x5, sendo três concentrações de ozônio (0, 10 e 20 mg L⁻¹) e cinco tempos de exposição em água (0, 30, 60, 90 e 120 min), com três repetições. Cada unidade experimental foi constituída por duas fileiras com 3,0 m lineares e com espaçamento de 0,5 m.

Inicialmente, foi realizada análise de variância (ANOVA) e, posteriormente, foi realizado o teste de Tukey a 5,0% de probabilidade para comparação de médias, utilizando-se o software StatPlus 5.0. A partir dos resultados da ANOVA, foram definidas as variáveis e os binômios formados por concentração do ozônio e tempo de exposição, para a análise multivariada. Foram consideradas, para a análise multivariada, as variáveis que apresentaram efeito significativo pela interação entre concentração do ozônio e período de exposição. Na análise multivariada, realizou-se Análise de Componentes Principais, utilizando-se o software R versão 3.6.2 (R CORE TEAM, 2019).

6. RESULTADOS

6.1. Análise de variância e teste de Tukey para a qualidade de sementes de milho

6.1.1. Qualidade em laboratório das sementes de milho submetidas ao pré-condicionamento em água ozonizada

De acordo com a análise de variância, houve variação significativa ($p < 0,05$) em decorrência da interação entre os tratamentos com ozônio e tempos de exposição para a variável matéria seca (MS) no lote de alta qualidade fisiológica e para as variáveis comprimento de raiz (CR), condutividade elétrica (CE) e MS, nas sementes do lote de baixa qualidade fisiológica. Verificou-se efeito significativo ($p < 0,05$) do tempo de exposição ao ozônio isoladamente quando se analisaram as variáveis percentual de germinação (GER), comprimento de plântula (CP), comprimento de raiz (CR), condutividade elétrica (CE) e índice de velocidade de

germinação (IVG) das sementes no lote com alta qualidade (lote A). Com relação ao lote de baixa qualidade (lote B), verificou-se efeito significativo ($p < 0,05$) do tempo de exposição ao ozônio isoladamente quando se analisaram GER, CP e IVG. Quanto ao efeito da concentração, independentemente do tempo de exposição, verificou-se efeito significativo ($p < 0,05$) quando se analisaram as variáveis CR, para sementes do lote A, e IVG, para o lote B.

Na Tabela 1, são apresentados os valores médios referentes às variáveis MS, das sementes não submetidas ao envelhecimento (lote A), e CR, CE e MS, das sementes submetidas ao envelhecimento (lote B). No que se refere à MS obtida a partir das sementes não submetidas ao envelhecimento e ozonizadas em meio aquoso, verificou-se que apenas quando se adotou a concentração de 20 mg L^{-1} por de 120 min, o valor médio ($43,1 \pm 6,5 \text{ mg}$) foi estaticamente igual ($p > 0,05$) ao obtido nas sementes não tratadas ($38,1 \pm 2,1 \text{ mg}$). Por outro lado, nas demais combinações de concentração do gás e período de exposição, houve incremento nos valores médios de MS, inclusive quando se utilizou somente ar atmosférico (0 mg L^{-1}). Os valores médios permaneceram entre $52,5 \pm 5,7$ e $64,6 \pm 7,9 \text{ mg}$.

Tabela 1. Matéria seca (MS, mg), comprimento de raiz (CR, cm) e condutividade elétrica (CE, $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) em dois lotes de sementes de milho sob diferentes tempos de pré-condicionamento na presença ou não do ozônio.

Concentrações de ozônio	Tempo (min)				
	0	30	60	90	120
Lote A (alta qualidade)					
MS (mg)					
0 mg L ⁻¹	38,1±2,1bA	60,1±2,3aA	56,1±0,7aA	57,8±4,9aA	64,6±7,9aA
10 mg L ⁻¹	38,1±2,1bA	62,9±3,5aA	55,1±5,4aA	55,7±1,8aA	56,0±1,2aA
20 mg L ⁻¹	38,1±2,1bA	54,7±1,3aA	52,5±5,7aA	57,1±3,7aA	43,1±6,5bB
Lote B (baixa qualidade)					
CR (cm)					
0 mg L ⁻¹	9,7±1,0bA	13,6±0,6aA	11,2±0,5abA	11,1±0,8abA	9,6±1,5bA
10 mg L ⁻¹	9,7±1,0aA	11,1±1,5aB	10,8±0,6aA	11,0±0,7aA	9,7±1,0aA
20 mg L ⁻¹	9,7±1,0bA	11,3±0,3abB	12,7±0,6aA	12,4±1,3aA	10,4±1,7bA
CE ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)					
0 mg L ⁻¹	16,7±0,6aA	15,8±0,6aA	17,8±0,8aA	18,3±2,0aA	17,9±2,0aA
10 mg L ⁻¹	16,7±0,6abA	15,5±1,7bA	18,1±1,7aA	15,8±1,4abB	16,0±0,9abA
20 mg L ⁻¹	16,7±0,6aA	14,4±1,7abA	13,3±0,6bB	14,5±1,9abB	15,9±0,8aA
MS (mg)					
0 mg L ⁻¹	48,4±3,4abA	50,0±3,1aA	48,5±2,8abA	46,5±2,2abA	42,4±4,5bB
10 mg L ⁻¹	48,4±3,4aA	43,4±1,4abB	40,6±2,1bB	43,7±1,9abA	44,3±1,5abAB
20 mg L ⁻¹	48,4±3,4aA	45,3±1,3aAB	50,7±1,3aA	47,4±0,6aA	48,6±3,2aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No que se refere à CR obtida a partir das sementes do lote B, ou seja, de menor potencial germinativo, e ozonizadas em meio aquoso (Tabela 1), observou-se que houve incremento em relação às sementes não tratadas, quando se analisaram o tratamento controle (0 mg L⁻¹) no tempo de exposição de 30 min e o tratamento referente à concentração do gás de 20 mg L⁻¹ por 60 e 90 min. Quando se adotou a concentração do gás de 20 mg L⁻¹, por 60 min, o valor obtido foi de 1,30 vezes aquele obtido nas sementes não tratadas. Essa observação referente ao binômio 20 mg L⁻¹/60 min, está de acordo com o resultado obtido para a condutividade elétrica. Nessa condição, foi observada a redução mais expressiva da condutividade elétrica, sendo que o valor médio obtido foi 0,80 vezes aquele obtido nas sementes não tratadas. No que se refere à MS obtida a partir das sementes do lote B, as variações não foram tão expressivas quanto às observadas quando se analisou sementes do lote A.

Apresentam-se, na Tabela 2, o efeito do tempo isoladamente para as variáveis GER, CP, CR, CE e IVG, para as sementes do lote A, e GER, CP e IVG, lote B.

Tabela 2. Percentual de germinação (GER, %), Comprimento de raiz (CR, cm), comprimento de plântula (CP, cm), condutividade elétrica (CE, $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$) e índice de velocidade germinação (IVG) em dois lotes de sementes de milho em diferentes tempos de pré-condicionamento.

Variáveis	Tempo (min)				
	0	30	60	90	120
Lote A (alta qualidade)					
GER (%)	90,7±4,0b	93,1±3,2ab	95,8±2,7a	95,6±3,1a	95,3±3,5a
CP (cm)	17,1±1,1b	24,8±1,0a	23,7±1,4a	24,5±1,5a	24,7±1,3a
CR (cm)	9,9±0,6b	15,2±1,0a	15,3±0,5a	15,4±0,9a	15,6±1,1a
CE ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)	13,3±0,4a	10,0±0,7b	8,9±0,6b	9,1±1,1b	9,4±1,4b
IVG	13,2±1,3b	15,1±0,7a	14,8±0,5a	13,8±1,2ab	14,6±0,8a
Lote B (baixa qualidade)					
GER (%)	67,3±5,6b	80,7±5,2a	77,1±5,8a	77,1±5,8a	66,9±7,8b
CP (cm)	17,6±1,5b	20,5±1,8a	19,7±1,3a	20,1±1,4a	17,8±2,3b
IVG	10,0±0,9b	11,0±1,8ab	11,6±1,2a	10,6±0,9ab	10,5±1,0ab

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação à variável GER no lote A, observou-se incremento significativo ($p < 0,05$) a partir de 60 min, sendo que os valores permaneceram superiores a 95,0% (Tabela 2). Quando se analisaram as variáveis CP e CR, verificou-se incremento a partir de 30 min de exposição. Para a variável CP, os valores médios obtidos a partir de 30 min de exposição foram 1,38 vezes ou mais o valor obtido nas sementes não tratadas (0 min). Incremento mais expressivo foi observado em CR, sendo os valores médios das sementes tratadas equivalentes a 1,53 vezes ou mais o valor obtido nas sementes não tratadas. Por outro lado, observou-se redução da condutividade elétrica a partir de 30 min, sendo que não houve diferença significativa quando se comparou os resultados obtidos nas sementes tratadas.

Quanto às sementes do lote B, o pré-condicionamento favoreceu aumento de GER, quando se utilizaram os tempos de 30, 60 e 90 min (Tabela 2). Ressalta-se que o valor médio obtido para o tempo de 120 min foi estatisticamente similar ($p > 0,05$) ao obtido nas sementes não tratadas (0 min). Depois de 30 min de pré-condicionamento, o valor médio de GER foi 1,20 vezes o valor obtido nas sementes não tratadas. Resultados semelhantes foram observados quando se analisou a

variável CP, com os valores médios obtidos para 30, 60 e 90 min, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) daquele obtido nas sementes não tratadas. Quanto ao IVG, somente houve diferença significativa entre os valores referentes aos tempos 0 (sementes não tratadas) e 60 min.

No que tange ao efeito do pré-condicionamento no lote A e expostas à água ozonizada, independentemente do tempo de exposição, obtiveram-se valores médios de CR iguais a 14,7, 14,0 e 13,7 cm, para os tratamentos controle (0 mg L^{-1}) e quando se adotaram 10 e 20 mg L^{-1} de ozônio, respectivamente. O valor médio de CR para o tratamento controle foi superior ao valor obtido quando se utilizou água ozonizada à concentração de 20 mg L^{-1} . Quanto ao IVG das sementes do lote B e submetidas ou não à ozonização em meio aquoso, foram obtidos valores médios iguais a 11,4, 10,4 e 10,5, para os tratamentos controle (0 mg L^{-1}) e para as concentrações de 10 e 20 mg L^{-1} de ozônio, respectivamente. O valor de IVG obtido no tratamento controle foi superior aos valores obtidos quando se utilizou água ozonizada, independentemente do tempo de exposição.

6.1.2. Qualidade em campo das sementes de milho submetidas ao pré-condicionamento em água ozonizada

De acordo com a análise de variância, obteve-se variação significativa ($p < 0,05$) em decorrência da interação entre os tratamentos com ozônio e o tempo de exposição quando se analisaram as alturas depois de sete, 45 e 75 dias da emergência e altura da inserção da primeira espiga para as sementes do lote de pior qualidade (lote B) (Tabela 3). Com relação a massa de mil grãos, houve variação significativa para interação entre os tratamentos com ozônio e o tempo de exposição somente quando se analisaram as sementes não submetidas ao envelhecimento. O tempo de exposição isoladamente ocasionou diferença significativa ($p < 0,05$) na emergência em campo (EMER) e na massa de mil grãos, quando se analisaram o lote A e B, respectivamente. Verificou-se efeito significativo ($p < 0,05$) em decorrência dos tratamentos isoladamente, quando analisados a produtividade do milho e EMER para os dois lotes, respectivamente. Não houve variação significativa ($p > 0,05$) quando se analisou o índice de velocidade de emergência (IVE) das sementes submetidas ou não ao envelhecimento, tanto pela

interação entre tratamentos e tempo de exposição, quanto devido aos fatores isoladamente.

Apresentam-se na Tabela 3, os valores médios de alturas depois de sete, 45 e 75 dias da emergência em campo e da inserção da primeira espiga e massa de mil grãos referentes ao lote A. Para o lote B, são apresentados os valores médios de alturas depois de sete, 45 e 75 dias da emergência em campo e da inserção da primeira espiga.

No que se refere ao lote A (Tabela 3) e em relação à altura depois de sete dias da emergência, observou-se que, para as concentrações 0 e 10 mg L⁻¹, o valor médio relativo ao período de exposição de 60 min foi superior e diferiu significativamente ($p < 0,05$), quando se compararam com os demais binômios. Quanto à concentração 20 mg L⁻¹, verificou-se maior incremento para o período de exposição de 90 min. Ressalta-se que os valores médios para os binômios 10 mg L⁻¹/60 min e 20 mg L⁻¹/90 min foram 1,12 vezes o valor obtido nas sementes não tratadas (0 min). No que tange à altura das plantas depois de 45 dias da emergência, destacou-se o aumento observado quando se analisaram as sementes que foram pré-condicionadas em água com ar-atmosférico (0 mg L⁻¹), por 120 min, com valor médio equivalente a 1,17 vezes o obtido nas sementes não tratadas. O maior incremento foi observado no binômio 20 mg L⁻¹/60 min, com valor médio 1,28 vezes em relação às sementes não tratadas. Salieta-se que houve redução da altura quando se adotou o tempo de 120 min a 20 mg L⁻¹ de ozônio. Os resultados obtidos para a altura das plantas depois de 75 dias de emergência foram semelhantes aos de 45 dias, sendo que o maior incremento obtido quando se analisou o binômio 20 mg L⁻¹/60 min, com o valor médio equivalente a 1,36 vezes o obtido nas sementes não tratadas.

Tabela 3. Altura das plantas e da inserção da primeira espiga (cm) e massa de mil grãos de milho (g) em dois lotes de sementes de milho em diferentes tempos de pré-condicionamento na presença ou não do ozônio.

Concentrações de ozônio	Tempo (min)				
	0	30	60	90	120
Lote A (alta qualidade)					
Altura – 7 dias depois da emergência (cm)					
0 mg L ⁻¹	6,4±0,2bA	6,3±0,2bA	6,7±0,1aB	5,9±0,3cB	5,9±0,1cC
10 mg L ⁻¹	6,4±0,2bA	6,5±0,1bA	7,2±0,1aA	6,0±0,1cB	6,3±0,1bcB
20 mg L ⁻¹	6,4±0,2cA	6,4±0,1cA	6,7±0,1bcB	7,2±0,1aA	6,8±0,2bA
Altura – 45 dias depois da emergência (cm)					
0 mg L ⁻¹	89,6±1,2cA	86,9±0,2cB	97,3±0,4bB	95,6±0,6bB	104,6±3,25aA
10 mg L ⁻¹	89,6±1,2bcA	96,4±2,0aA	93,3±1,7abC	95,7±3,2aB	87,2±1,7cC
20 mg L ⁻¹	89,6±1,2cA	88,9±0,8cB	114,7±1,4aA	112,5±2,0aA	96,5±3,4bB
Altura – 75 dias depois da emergência (cm)					
0 mg L ⁻¹	256,1±13,6aA	241,8±1,9aA	259,1±3,1aB	258,5±4,8aA	265,7±2,8aA
10 mg L ⁻¹	256,1±13,6aA	256,3±1,9aA	260,3±2,6aB	267,6±1,9aA	239,5±10,1aA
20 mg L ⁻¹	256,1±13,6bA	263,5±4,9bA	348,2±20,8aA	282,9±1,9bA	247,2±7,2bA
Inserção da primeira espiga (cm)					
0 mg L ⁻¹	102,9±15,0bA	101,2±2,9bB	113,5±4,9abA	127,3±2,4aB	117,7±2,4abB
10 mg L ⁻¹	102,9±15,0dA	131,4±1,5abA	126,8±0,9bcA	143,8±1,3aA	114,0±2,3cdB
20 mg L ⁻¹	102,9±15,0cA	114,8±3,0bcB	122,2±1,3bA	137,6±2,2aB	138,1±1,5aA
Massa de mil grãos (g)					
0 mg L ⁻¹	287,6±3,2bA	286,1±8,3abA	301,1±20,4abA	317,5±9,6aA	293,6±22,9abA
10 mg L ⁻¹	287,6±3,2aA	277,3±24,2aA	254,0±10,2aB	271,6±17,0aB	288,6±1,4aA
20 mg L ⁻¹	287,6±3,2aA	249,0±1,4bB	301,7±7,0aA	302,1±4,0aAB	292,8±5,0aA
Lote B (baixa qualidade)					
Altura – 7 dias depois da emergência (cm)					
0 mg L ⁻¹	3,4±0,1cA	4,7±0,2aA	3,9±0,1bA	3,8±0,1bA	3,6±0,1cA
10 mg L ⁻¹	3,4±0,1aA	3,6±0,1aB	3,6±0,1aB	3,5±0,1aB	3,5±0,1aA
20 mg L ⁻¹	3,4±0,1bA	3,8±0,2aB	3,8±0,1aA	3,1±0,1cC	3,2±0,1cB
Altura – 45 dias depois da emergência (cm)					
0 mg L ⁻¹	75,0±1,9bcA	85,7±0,7aA	79,3±0,3bA	69,3±4,2cdC	66,7±1,0dB
10 mg L ⁻¹	75,0±1,9bA	69,3±2,9bB	72,4±1,7bB	75,2±2,5bB	91,0±2,2aA
20 mg L ⁻¹	75,0±1,9bA	80,0±2,8aA	72,7±4,6bB	82,2±2,7aA	57,7±1,8cC
Altura – 75 dias depois da emergência (cm)					
0 mg L ⁻¹	246,1±8,1aA	262,5±5,0aA	243,1±4,5abB	225,7±12,7bA	242,5±7,0abA
10 mg L ⁻¹	246,1±8,1aA	239,3±7,3aB	235,0±3,8aB	241,1±1,1aA	247,9±7,2aA
20 mg L ⁻¹	246,1±8,1bA	261,6±17,5aA	271,7±4,9aA	236,4±2,9bA	191,9±6,7cB
Inserção da primeira espiga (cm)					
0 mg L ⁻¹	101,0±10,6bA	120,4±0,6aA	115,3±4,2abA	103,3±5,1bB	122,0±0,8aA
10 mg L ⁻¹	101,0±10,6bA	112,1±0,4abA	114,8±1,3aA	120,9±0,5aA	116,5±1,2aA
20 mg L ⁻¹	101,0±10,6abcA	112,2±9,8aA	106,1±1,2abA	98,1±1,5bB	89,5±1,8cB

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto à altura da inserção da primeira espiga do lote A (Tabela 3), houve incremento na ausência e na presença do ozônio. Na ausência do ozônio (0 mg L^{-1}), destacou-se o tempo de exposição de 90 min, cujo valor médio ($127,3 \pm 2,4 \text{ cm}$) diferiu ($p < 0,05$) do obtido nas sementes não tratadas ($102,9 \pm 15,0$). Nos tratamentos com ozônio, destacaram-se os binômios $10 \text{ mg L}^{-1}/90 \text{ min}$, $20 \text{ mg L}^{-1}/90 \text{ min}$ e $20 \text{ mg L}^{-1}/120 \text{ min}$, com valores médios iguais a $143,8 \pm 1,3$, $137,6 \pm 2,2$, e $138,1 \pm 1,5 \text{ cm}$, respectivamente. Nessas condições, os valores médios foram equivalentes a 1,34 vezes ou mais o valor obtido nas sementes não tratadas (0 min). No que se refere à massa de mil grãos (Tabela 3), o binômio que mais se destacou foi $0 \text{ mg L}^{-1}/90 \text{ min}$ ($317,5 \pm 9,6 \text{ cm}$), que diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) daquele obtido nas sementes não tratadas ($287,6 \pm 3,2 \text{ cm}$).

Quando se analisaram a altura depois de sete dias da emergência (Tabela 3), referente ao lote B, o incremento mais expressivo foi observado no binômio $0 \text{ mg L}^{-1}/30 \text{ min}$, com valor médio igual a 4,7 cm. Para o pré-condicionamento com ozônio, destacaram-se os binômios $20 \text{ mg L}^{-1}/30 \text{ min}$ e $20 \text{ mg L}^{-1}/60 \text{ min}$, com valores médios iguais a $3,8 \pm 0,2$ e $3,8 \pm 0,1 \text{ cm}$, respectivamente. Para a altura das plantas obtida depois de 45 dias da emergência, pode-se destacar os binômios $0 \text{ mg L}^{-1}/30 \text{ min}$, $10 \text{ mg L}^{-1}/120 \text{ min}$ e $20 \text{ mg L}^{-1}/90 \text{ min}$, com valores médios iguais a $85,7 \pm 0,7$, $91,0 \pm 2,2$ e $82,2 \pm 2,7 \text{ cm}$, respectivamente. Ressalta-se a redução na altura depois de 45 dias da emergência obtida quando se adotou a concentração de 20 mg L^{-1} , por 120 min. Nessa condição, o valor médio obtido foi 0,77 vezes o obtido nas sementes não tratadas. Com relação à altura depois de 75 dias, o maior incremento foi obtido quando se adotou o binômio $20 \text{ mg L}^{-1}/60 \text{ min}$, sendo equivalente a 1,10 vezes ao relativo às sementes não tratadas. Salienta-se o decréscimo expressivo observado na altura das plantas depois de 75 dias da emergência quando se utilizou o binômio $20 \text{ mg L}^{-1}/120 \text{ min}$, semelhante ao resultado obtido quando se analisou a altura depois de 45 dias da emergência. No que tange à altura da inserção da primeira espiga, verificou-se em geral aumento nos valores médios em decorrência do pré-condicionamento. Entretanto deve-se destacar o binômio $20 \text{ mg L}^{-1}/120 \text{ min}$, que apresentou o menor valor quando comparado com os demais binômios, na presença ou não do ozônio.

No que se refere à emergência em campo (EMER) do lote A, verificou-se diferença significativa ($p < 0,05$) quando se comparou o valor médio obtido nas sementes não tratadas (0 min), com aqueles referentes aos tempos de 30, 60 e 120 min (Tabela 4). O valor médio EMER obtido depois de 30 min foi equivalente a 1,13 vezes aquele obtido nas sementes não tratadas. Quanto à massa de mil grãos obtida a partir de sementes submetidas ao envelhecimento e pré-condicionadas independentemente do ozônio, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey, apesar do resultado obtido na análise de variância.

Tabela 4. Índice de velocidade de emergência (IVE) e emergência em campo (EMER, %) referentes ao lote A de sementes de milho e massa de mil grãos (g) referente ao lote B de sementes de milho em diferentes tempos de pré-condicionamento.

Variáveis	Tempo (min)				
	0	30	60	90	120
Lote A (alta qualidade)					
EMER	84,1±6,6b	95,0±4,7a	93,9±3,6ab	88,7±5,2ab	92,2±4,2a
Lote B (baixa qualidade)					
Massa de mil grãos (g)	247,3±8,3a	268,3±36,5a	269,8±24,7a	272,9±18,3a	240,4±25,7a

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com relação à emergência em campo do lote B, observou-se efeito significativo em função dos tratamentos isoladamente, sendo os valores médios obtidos iguais a 77,3±9,8, 69,8±7,3 e 70,8±7,2, para as concentrações de 0 mg L⁻¹ (ar atmosférico), 10 mg L⁻¹ e 20 mg L⁻¹, respectivamente. No que tange à produtividade do milho obtido a partir das sementes do lote A e pré-condicionadas na presença ou não do ozônio, obtiveram-se valores médios iguais a 5.826,9±1.496,6; 8.082,6±1.261,9; 7.926,8±1.662,9 kg ha⁻¹, para as concentrações de 0 mg L⁻¹, 10 mg L⁻¹ e 20 mg L⁻¹, respectivamente. O valor médio obtido referente à concentração de 0 mg L⁻¹ diferiu estatisticamente ($p < 0,05$) daqueles obtidos na presença do ozônio. A produtividade média do lote B e pré-condicionadas na presença ou não do ozônio foi de 6.714,3 kg ha⁻¹, mas sem efeito significativo ($p > 0,05$) da interação entre tratamentos e período de exposição ou dos fatores isoladamente.

6.2. Análise da qualidade de sementes de milho por análise multivariada

Para a análise multivariada, consideraram-se apenas as variáveis em que a interação entre os tratamentos (concentração do ozônio) e tempo de exposição foi significativa quando testada pela análise de variância ($p < 0,05$). Para o lote A, consideraram-se matéria seca (MS), alturas depois de sete (A7), 45 (A45) e 75 (A75) dias da emergência e da inserção da primeira espiga (IPESP) e massa de mil grãos (MMG). No que se refere ao Lote B, foram consideradas as variáveis comprimento de raiz (CR), condutividade elétrica (CE), MS, A7, A45 e A75 e IPESP. Tendo em vista os resultados obtidos na análise de variância e no teste de Tukey referentes ao tempo de exposição de 120 min, que indicaram alterações negativas na qualidade das sementes, optou-se por não considerar esse período na análise multivariada.

6.2.1. Sementes do Lote A

No que se refere às sementes do Lote A, pré-condicionadas em água na presença ou não do ozônio (Figura 8), verificou-se que a soma das duas primeiras componentes principais da Análise dos Componentes Principais (ACP), explicaram 59,0% da variação. A direção de variação das variáveis associadas aos componentes 1 e 2 demonstrou a ordenação dos vetores das variáveis no espaço, com variáveis MS e IPESP no primeiro quadrante e as variáveis A7, A45, A75 e MMG no quarto quadrante. Na componente 1 (35,8,0%), as variáveis A45 e A75 foram as que mais contribuíram, com *loadings* ou coeficientes da equação iguais a 0,6566 e 0,5088, respectivamente (Tabela 5). Por outro lado, na componente 2 (22,2%), destacaram-se as variáveis MS e IPESP, que apresentaram coeficientes das equações iguais a 0,07526 e 0,5515, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5. Equações da primeira (PC1) e da segunda (PC2) componentes para as sementes dos Lotes A e B e pré-condicionadas na presença ou não do ozônio.

Componentes	Equações
Lote A (alta qualidade)	
PC1	$PC1 = 0,0128MS + 0,3332A7 + 0,6567A45 + 0,5088A75 + 0,3613IPESP + 0,2612MMG$
PC2	$PC2 = 0,753MS - 0,0188A7 - 0,0067A45 - 0,3513A75 + 0,5515IPESP - 0,0744MMG$
Lote B (baixa qualidade)	
PC1	$PC1 = 0,4598CR - 0,2288CE + 0,3984MS + 0,4068A7 + 0,3926A45 + 0,4851A75 + 0,1503IPESP$
PC2	$PC2 = 0,0857CR - 0,4337CE + 0,3471MS - 0,4122A7 - 0,0541A45 + 0,0399A75 - 0,7140IPESP$

MS - Massa da matéria seca; A7 – altura sete dias da emergência; A45 – altura quarenta e cinco dias depois da emergência; A75 – altura setenta e cinco dias depois da emergência; IPESP – altura da inserção da primeira espiga (IPESP); CR – comprimento da raiz; CE – condutividade elétrica.

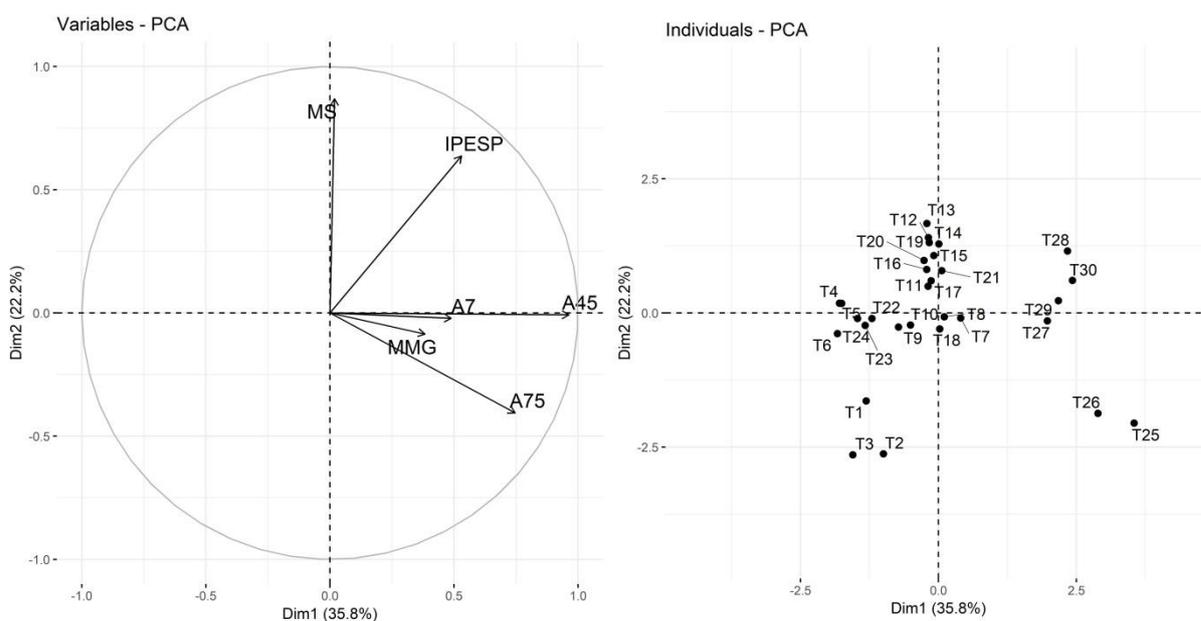


Figura 8 - Análise de Componentes Principais referentes à qualidade de sementes de milho do Lote A pré-condicionadas em água ozonizada em diferentes binômios de concentração do gás e tempo de exposição. Variáveis são: CR – Comprimento da radícula; CE – Condutividade elétrica; MS – Massa da matéria seca; A7 – Altura depois de sete dias de emergência; A45 – Altura depois de 45 dias de emergência; A75 – Altura depois de 75 dias de emergência; IESP – Altura da inserção da primeira espiga. Binômios testados: 0 mg L⁻¹/0 min (T1, T2 e T3); 0 mg L⁻¹/30 min (T4, T5 e T6); 0 mg L⁻¹/60 min (T7, T8 e T9); 0 mg L⁻¹/90 min (T10, T11 e T12); 10 mg L⁻¹/30 min (T13, T14 e T15); 10 mg L⁻¹/60 min (T16, T17 e T18); 10 mg L⁻¹/90 min (T19, T20 e T21); 20 mg L⁻¹/30 min (T22, T23 e T24); 20 mg L⁻¹/60 min (T25, T26 e T27); 20 mg L⁻¹/90 min (T28, T29 e T30).

Quando se analisou a projeção dos escores das duas principais componentes (Figura 8), foi possível verificar a ordenação dos diferentes binômios (combinações

entre tratamentos com ozônio e tempo de exposição). Houve a formação nítida de três grupos ordenados, indicando efeito do pré-condicionamento na qualidade das sementes de milho. Destacou-se o grupo formado pelas amostras referentes às sementes não tratadas (T1, T2 e T3), não submetidas ao pré-condicionamento na presença ou não do ozônio. Outro grupo que merece destaque é o formado pelas amostras ozonizadas na concentração de 20 mg L⁻¹, por 60 (T25, T26 e T27) e 90 min (T28, T29 e T30).

6.2.2. Sementes do Lote B

Quanto às sementes do Lote B pré-condicionadas em água na presença ou não do ozônio (Figura 9), a soma das duas principais componentes da ACP explicou 62,3% da variação. A ordenação dos vetores das variáveis, a partir da projeção das cargas associadas às componentes 1 e 2, ocorreu no primeiro e no quarto quadrante, exceto CE que se apresentou no terceiro quadrante. Na componente 1 (40,9%), as variáveis que mais contribuíram foram A75 e CR, com coeficientes da equação iguais a 0,4851 e 0,4598, respectivamente (Tabela 5). Ressalta-se que somente a variável CE apresentou contribuição negativa (coeficiente da equação igual a -0,2288) na componente 1. Na análise da primeira componente, o contraste estabelecido foi definido predominantemente pela diferença entre CE e as demais variáveis. No que se refere a componente 2 (Tabela 5), as variáveis que mais contribuíram foram IPESP, seguida de CE, que apresentaram loadings equivalentes a -0,7140 e -0,4337, respectivamente. Não foi possível observar a distribuição clara de grupos (Figura 9), como observado na análise das sementes do Lote A (Figura 8). Entretanto, é possível destacar o binômio 0 mg L⁻¹/30 min (T4, T5 e T6) e 20 mg L⁻¹/60 min (T25, T26 e T27). Ressalta-se que as amostras referentes ao binômio 20 mg L⁻¹/60 min se permaneceram no primeiro quadrante, semelhantes aos vetores das variáveis CR, MS e A75, e oposto ao vetor da variável CE.

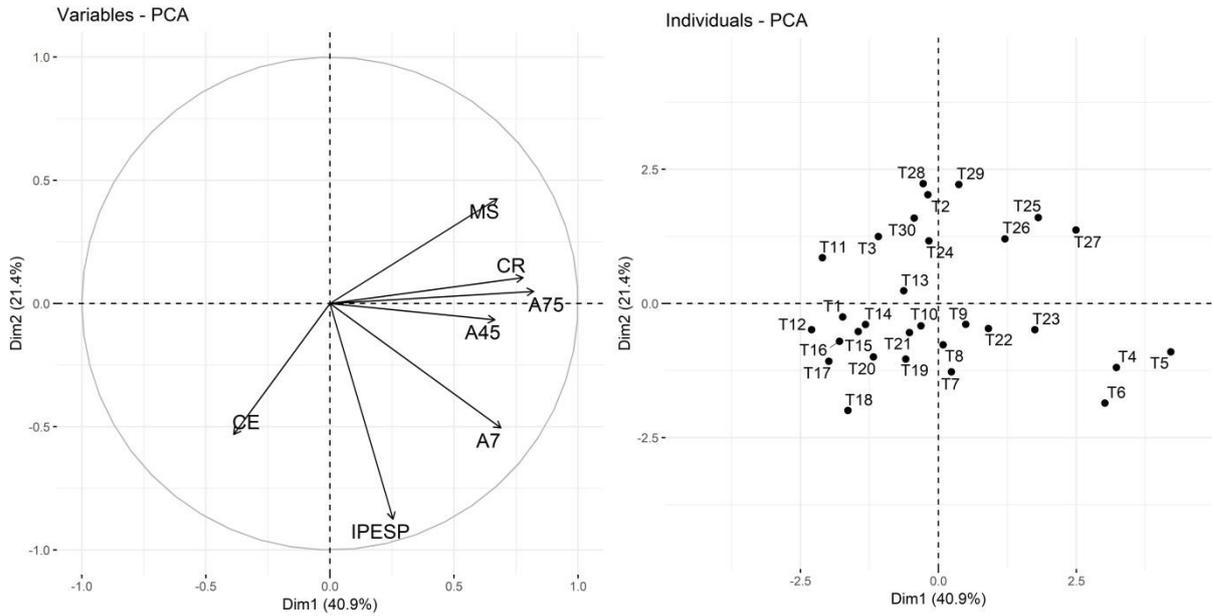


Figura 9 - Análise de Componentes Principais referentes à qualidade de sementes de milho do Lote B pré-condicionadas em água ozonizada em diferentes binômios de concentração do gás e tempo de exposição. Variáveis são: MS – Massa da matéria seca; A7 – Altura depois de sete dias de emergência; A45 – Altura depois de 45 dias de emergência; A75 – Altura depois de 75 dias de emergência; IESP – Altura da inserção da primeira espiga; MMG – Massa de mil grãos. Binômios testados: 0 mg L⁻¹/0 min (T1, T2 e T3); 0 mg L⁻¹/30 min (T4, T5 e T6); 0 mg L⁻¹/60 min (T7, T8 e T9); 0 mg L⁻¹/90 min (T10, T11 e T12); 10 mg L⁻¹/30 min (T13, T14 e T15); 10 mg L⁻¹/60 min (T16, T17 e T18); 10 mg L⁻¹/90 min (T19, T20 e T21); 20 mg L⁻¹/30 min (T22, T23 e T24); 20 mg L⁻¹/60 min (T25, T26 e T27); 20 mg L⁻¹/90 min (T28, T29 e T30).

7. DISCUSSÃO

É importante destacar as principais características relacionadas ao pré-condicionamento fisiológico, que justificam os resultados obtidos no presente estudo. O pré-condicionamento fisiológico, também conhecido como “priming”, baseia-se na embebição restrita das sementes em uma solução, para a inicialização dos seus processos metabólicos, sem que ocorra o processo germinativo completo (FERREIRA; BORGHETTI, 2004). Durante o pré-condicionamento fisiológico, têm-se três fases distintas, que ocorrem durante a embebição das sementes. De acordo com Ferreira e Borghetti (2004) e Lutts et al. (2016), as três fases apresentam as seguintes características: i) Fase I - a água é absorvida mais rapidamente, pois inicialmente a semente apresenta baixo teor de água, e conseqüentemente potencial matricial elevado; ii) Fase II – é a fase de ativação em que ocorre o restabelecimento das atividades metabólicas e processos de reparação em nível celular; e iii) Fase III – dá início ao processo de crescimento, associado com alongamento celular e protrusão da raiz primária. A permanência na fase II possibilita a ativação de diversos eventos do processo germinativo, inclusive de mecanismos de reparo das sementes. Essa técnica permite também germinação mais uniforme, pois possibilita revigoramento das sementes que germinariam mais lentamente (FERREIRA; BORGHETTI, 2004).

No presente estudo, adotou-se o hidrocondicionamento de sementes como método de pré-condicionamento fisiológico, associando-o ao borbulhamento com ozônio ou ar atmosférico (controle). Esse método pode ser considerado relativamente simples e de baixo custo, mesmo com a associação ao ozônio, cuja viabilidade econômica já foi comprovada para outras finalidades, tais como agente sanitizante na indústria de alimentos e no branqueamento de tecido de algodão, por exemplo (RICE et al., 2002; NOVAK; YUAN, 2007; HAREEM et al., 2019). No que tange às sementes, em geral, verificou-se efeito positivo do pré-condicionamento fisiológico nas sementes de milho no que se refere à qualidade fisiológica. Tais resultados são extremamente relevantes, tendo em vista a importância do incremento da taxa de germinação e conseqüentemente da produtividade, com o intuito de aumentar a produção de alimentos (RIFNA; RAMANAN; MAHENDRAN, 2019).

Conforme apresentado na Tabela 2, independentemente da utilização do ozônio, o pré-condicionamento favoreceu a qualidade fisiológica das sementes de milho, quando se analisaram as variáveis percentual de germinação (GER), comprimento de plântula (CP) e índice de velocidade de germinação (IVG) dos dois lotes avaliados e CR (comprimento de raiz) e CE (condutividade elétrica) do lote A (qualidade superior).

Esses resultados estão de acordo com Marcos Filho (2005), que afirmou que o pré-condicionamento fisiológico influencia positivamente o processo de germinação de sementes. Maximiano et al. (2018) também verificaram que o pré-condicionamento em água com borbulhamento do ar atmosférico ou ozônio favoreceram o desenvolvimento inicial das plântulas. Silva e Villela (2011) observaram que sementes de soja pré-hidratadas em substrato umedecido por seis horas apresentaram efeito positivo no percentual de germinação e redução nos valores de condutividade elétrica. Zucareli et al. (2008) verificaram aumento no percentual de germinação de sementes de milho após hidratação controlada. Esses autores atribuíram esses resultados à ativação dos mecanismos de reparo da semente, o que acarretou em maior velocidade de germinação, semelhante aos resultados obtidos neste trabalho. Ressalta-se que a velocidade de germinação é um bom indicador da qualidade fisiológica de um lote de sementes, pois a diminuição na velocidade e na uniformidade da germinação entre a primeira e última plântula de um lote é um bom indicativo de perda de vigor (HEYDECKER et al., 1973).

Quanto ao efeito do pré-condicionamento na variável CP (Tabela 2), verificou-se efeito mais pronunciado nas sementes do lote A (não submetidas ao envelhecimento), sendo que houve efeito significativo em CR somente nesse lote. Salienta-se a importância dessas variáveis no que se refere ao vigor de sementes, que segundo Dan et al. (1987), influenciam diretamente a produtividade final. Esses autores afirmaram que o sistema radicular é responsável pela absorção, assimilação de água e nutrientes, por parte do suporte mecânico da planta. Então, plântulas e raízes de maior comprimento podem apresentar mais reservas energéticas armazenadas, favorecendo o estabelecimento em campo nas condições mais adversas, em comparação com aquelas de menor comprimento.

Conforme apresentado nas Tabelas 1 e 3, houve efeito significativo da interação entre os tratamentos (concentração do ozônio e tempo de exposição) quando analisadas as variáveis do lote A: massa seca (MS), alturas depois de sete (A7), 45 (A45) e 75 (A75) de emergência, altura de inserção da primeira espiga (IESP) e massa de mil grãos (Tabelas 1 e 3). Para o lote B, a interação foi significativa para as variáveis CR, MS, CE, A7, A45, A75 e IESP.

No que tange à variável MS, o aumento foi mais expressivo nas sementes do lote A, em comparação com o lote B. Trigo et al. (1999) indicaram associação de plantas com maior acúmulo de matéria seca a processos metabólicos durante o pré-condicionamento. Esses autores afirmaram que pode ocorrer indução da capacidade de síntese proteica, com balanço metabólico favorável, e, conseqüentemente, incremento no crescimento das plântulas e no acúmulo de biomassa. Destaca-se que a redução verificada nas sementes do lote A quando se adotou a concentração de 20 mg L⁻¹, por 120 min, é um indicativo de que esse binômio não é interessante para pré-condicionamento de sementes de milho em água.

Vale mencionar o efeito da água ozonizada na condutividade elétrica (CE) quando se analisaram as sementes do lote B (submetidas ao envelhecimento). A redução mais expressiva foi observada quando se adotou o binômio 20 mg L⁻¹/60 min. O valor médio para esse binômio foi 0,80 vezes o obtido nas sementes não tratadas. Resultado semelhante foi obtido por Maximiano et al. (2018), quando analisaram CE em sementes de milho pré-condicionadas em água ozonizada. Os autores indicaram a hipótese de que o pré-condicionamento fisiológico com ozônio favorece a ativação dos mecanismos de reparo das membranas celulares das sementes. Outros autores também verificaram redução da CE de sementes, tais como soja e sorgo (BECKERT et al., 2000; OLIVEIRA; GOMES FILHO, 2010; SILVA; VILELLA, 2011). É possível classificar o vigor das sementes de milho, levando-se em consideração a CE, de acordo com Vieira e Carvalho (1994). Para esses autores, sementes de milho com valores de CE entre 6 e 15 µS cm⁻¹ g⁻¹ são consideradas de alto vigor e entre 15 a 24 µS cm⁻¹ g⁻¹ são de médio vigor. Nesse contexto, inicialmente as sementes do lote B apresentavam médio vigor (CE igual a 16,7 µS cm⁻¹ g⁻¹). Depois do pré-condicionamento em água ozonizada no binômio 20 mg L⁻¹/60 min, o valor médio de CE foi 13,3 µS cm⁻¹ g⁻¹, podendo as sementes serem classificadas como de alto vigor.

Com relação ao efeito do ozônio no desempenho em campo das sementes de milho, em geral verificou-se alteração significativa pela interação entre concentração do gás e tempo de exposição (Tabela 3), exceto para emergência em campo, índice de velocidade de emergência e produtividade. Destacou-se o efeito do ozônio na altura das plantas e da inserção da primeira espiga nos lotes de sementes de milho analisados. Deve-se destacar o incremento mais expressivo na altura das plantas depois de 75 dias de emergência (A75), quando se analisou o binômio 20 mg L⁻¹/60 min, para o lote A. Nessa condição, o resultado foi superior quando se comparou com as sementes não tratadas e com aquelas submetidas aos binômios 0 mg L⁻¹/60 min e 10 mg L⁻¹/60 min. Resultado similar foi obtido para as sementes do lote B. Quanto à altura da inserção da primeira espiga (IPESP), salientam-se os resultados obtidos quando se adotou os binômios 10 mg L⁻¹/90 min, para os lotes A e B, com incremento de 39,7 e 19,7%, respectivamente. É importante mencionar que as alturas das plantas e da inserção da primeira espiga são utilizadas como indicadores de qualidade fisiológica, sendo que quanto maior a altura, maior o vigor e, conseqüentemente, maior a produtividade (ARAÚJO et al., 2011). Essa afirmação está de acordo com Schuch et al. (2009), que verificaram que plantas de soja provenientes de sementes de alto vigor apresentaram maior altura e 25% a mais no rendimento final do que aquelas que apresentavam baixa qualidade fisiológica. Salienta-se que, no presente estudo, obteve-se maior produtividade em kg ha⁻¹, quando se utilizaram sementes de milho de alta qualidade fisiológica inicial ozonizadas, independentemente do tempo de exposição.

A partir da análise multivariada, quando se utilizou análise de componentes principais (ACP), foi possível identificar os binômios mais adequados para pré-condicionamento das sementes de milho, sobretudo do Lote A (Figuras 8 e 9). Para o Lote A, os binômios que mais se destacaram foram 20 mg L⁻¹/60 min e 20 mg L⁻¹/90 min, o que confirma os resultados obtidos quando foram adotados análise de variância e teste de Tukey. O binômio 20 mg L⁻¹/60 min se destacou pelo valor obtido quanto à altura depois de 75 dias da emergência. Por outro lado, o binômio 20 mg L⁻¹/90 min se destacou pelos valores obtidos quanto à massa da matéria seca (MS) e IPESP. Quanto ao lote B, de acordo com a ACP, os melhores binômios foram 0 mg L⁻¹/30 min e 20 mg L⁻¹/60 min. Salienta-se que o binômio 0 mg L⁻¹/30 min se destacou pelas alturas depois de sete (A7) e 45 dias (A45) de emergência e IPESP.

Por outro lado, no binômio 20 mg L⁻¹/60 min, verificou-se baixo valor de condutividade elétrica nas sementes.

O efeito do ozônio sobre as sementes de milho pode estar associado ao seu elevado potencial oxidativo, que é de 2,07 mV (GUZEL-SEYDIM et al., 2004). Resultados encontrados na literatura indicaram efeito positivo do ozônio em sementes, tais como de milho e de tomate (VIOLLEAU et al., 2008; SUDHAKAR et al., 2011; MAXIMIANO et al., 2018). Violleau et al. (2008) observaram aumento no percentual de germinação em sementes de milho tratadas com gás ozônio, início mais rápido do processo de germinação e aumento mais acentuado do comprimento das raízes. Esses resultados foram associados ao estresse oxidativo causado pelo gás ozônio nas sementes e o provável aumento na produção de ácido jasmônico, que é uma substância fundamental para a indução de resistência sistêmica adquirida, apenas na zona das raízes das plantas. O nível de ácido jasmônico em plantas varia em função do tecido, do tipo de célula, da fase de desenvolvimento e da resposta a diversos estímulos ambientais (WEILER et al., 1993). Essa substância é encontrada por toda a planta, com as maiores concentrações sendo observadas em tecidos em crescimento, como hipocótilo, plúmula, ápice radicular, flores, frutos e folhas jovens (CREELMAN; MULLET, 1995). De acordo com esses autores, uma das funções atribuídas ao ácido jasmônico e ao metil jasmonato é o estímulo à germinação uma vez que altera a sensibilidade ao ácido abscísico (ABA).

Sudhakar et al. (2011) avaliaram o efeito do ozônio na germinação de sementes de tomate e verificaram aumento da taxa de germinação nas sementes ozonizadas, associado ao decréscimo da concentração de ácido abscísico. Maximiano et al. (2018) utilizaram água ozonizada no pré-condicionamento de sementes de milho e observaram que o desenvolvimento inicial das plantas foi intensificado quando exposto ao tratamento com água ozonizada na concentração do gás de 30 mg L⁻¹ por 60 e 90 min. Esses autores também obtiveram resultados expressivos quando utilizaram somente ar atmosférico. Abeli et al. (2016) avaliaram o efeito do ozônio na germinação de sementes florestais. Esses autores observaram aumento do percentual de germinação e sugeriram que o ozônio pode estimular mecanismos antioxidantes e de reparo de DNA ou de superação de dormência.

Tendo em vista os resultados obtidos no presente estudo, pesquisas posteriores são fundamentais no intuito de elucidar o mecanismo de ação do ozônio

nas sementes. É importante, por exemplo, avaliar a atividade enzimática e a presença/concentração de outras substâncias cuja síntese pode ser induzida em condições de estresse pelo ozônio nas sementes.

8. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente estudo permitem concluir que:

- i) Em geral, o pré-condicionamento em água na presença ou não do ozônio favoreceu a qualidade fisiológicas das sementes de milho, quando se considerou variáveis de laboratório e de campo;
- ii) A combinação de uso mais adequada entre concentração de ozônio e tempo de exposição foi a do binômio 20 mg L⁻¹/60 min, tanto para sementes do lote A (alta qualidade) quanto para as sementes do lote B (baixa qualidade);
- iii) O pré-condicionamento por período igual a 120 min é inadequado para sementes de milho.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELI, T.; GUASCONI, D.B.; MONDONI, A.; DONDI, D.; BENTIVOGLIO, A.; BUTTAFAVA, A; CRISTOFANELLI, P.; BONASONI, P.; ROSSI, G.; ORSENIGO, S. Acute and Chronic Ozone Exposure Temporarily Affects Seed Germination in Alpine Plants. **Plant Biosystems - an International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology**, v.151, n. 2, p. 304-15, 2016.

ALENCAR, E. R.; FARONI, L. R.; PINTO, M. S.; COSTA, A. R.; CARVALHO, A. F. Effectiveness of ozone on postharvest conservation of pear (*Pyrus communis* L.). **Journal of Food Processing and Technology**, v. 5, n. 4, p. 317, 2014.

ALENCAR E. R.; FARONI, L. R. D. A.; PINTO, M. S.; COSTA, A. R.; SILVA, T. A. Postharvest quality of ozonized" nanicão" cv. bananas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 107-114, 2013.

ANDRADE, R.V.; BORBA, C.S. **Tecnologia para produção de sementes de milho**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, n. 6, 61p.,1993.

ARAUJO, M. M.V.; FERNANDES, D. A.; JARDINI, D. C.; CAMILI, E. C. Pré-hidratação e condicionamento fisiológico de sementes de maracujazeiro amarelo. **Revista Agroambiente On-line**, v. 11, n. 3, p. 241-247, 2017.

ARAÚJO, P. C.; TORRES, S. B.; BENEDITO, C. P.; DE PAIVA, E. P. Condicionamento fisiológico e vigor de sementes de maxixe. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 3, p. 482-489, 2011.

ARTOLA, A.; CARRILO-CASTAÑEDA, G.; DE LOS SANTOS, G. Hydropriming: A Strategy to increase *Lotus corniculatus* L. seed vigor. **Seed Science and Technology**, v. 31, n. 2, p. 455-463, 2003.

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS [AOSA]. **Seed Vigor Testing Handbook**. Contribution to the Handbook on Seed Testing, p.32, 1983.

BARROS, J.F.C.; CALADO, J.G. A cultura do milho. Texto de apoio para as Unidades Curriculares de Sistemas e Tecnologias Agropecuários. **Tecnologia do Solo e das Culturas, Noções Básicas de Agricultura e Fundamentos de Agricultura Geral**, Universidade de Évora, Évora-Portugal, 2014.

BECKERT, O.P. et al. Absorção de água e potencial fisiológico em sementes de soja de diferentes tamanhos. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 671-675, 2000.

BISOGNIN, M.B.; KULCZYNSKI, S.M.; FERRARI, M.; GAVIRAGHI, R.; PELEGRIN, A.J.; SOUZA, V.Q. Desempenho fisiológico de sementes olerícolas em diferentes tempos de hidrocondicionamento. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 3, p. 349-359, 2016.

BITTENCOURT, S.R.M. et al. Metodologia alternativa para condução do teste de envelhecimento acelerado em sementes de milho. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8, p. 1360-1365, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Legislação brasileira sobre sementes e mudas**: Lei 10.711, de 05 de agosto de 2003, Decreto número 5.153, de 23 de julho de 2004 e outros / Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação de sementes e mudas. - Brasília: MAPA/DAS/CSM, 318p., 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 399p., 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa N° 45, de 17 de setembro de 2013**. Diário Oficial da União, DF, 20 set., Seção 1, p. 25, 2013.

BRITO JÚNIOR, J.G. **Ozônio como agente fungicida e seu efeito na qualidade dos grãos de milho**. Tese de Doutorado. UFV, 56p. Viçosa, MG, 2013.

BRUGGINK, H.; KRAAK, H.L.; DIJEMA, M.H.G.E.; BEKENDAM, J. Some factors influencing electrolyte leakage from maize (*Zea mays* L.) kernels. **Seed Science and Research**, v. 1, n. 1, p. 15-20, 1991.

CALIARI, M. F.; MARCOS FILHO, J. Comparação entre métodos para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de ervilha (*Pisum sativum* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 12, n. 3, p. 52–75, 1990.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: Funep, 588p., 2000.

CHIATTONE, P. V.; TORRES, L. M.; ZAMBIAZI, R. C. Application of ozone in industry of food/Aplicacao do ozonio na industria de alimentos. **Alimentos e Nutricao**, v. 19, n. 3, p. 341-350, 2008.

CICCARESE, F.; SASANELLI, N.; CICCARESE, A.; ZIADI, T.; AMBRICO, A.; MANCINI, L. Seed disinfestation by ozone treatments. **IOA Conference and Exhibition**, Valencia, Spain, p.4.6 (1-8), 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Perspectivas para a Agropecuária**. Volume 6 – Safra 2018/2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/perspectivas-para-a-agropecuaria>>. Acesso em: 17 de fevereiro de 2019.

Corn Production by Country in 1000 MT. **Index Mundi**, 2019. Disponível em: <<https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=corn>>. Acesso em: 25, janeiro de 2020.

Corn Trade Year Exports by Country in 1000 MT. **Index Mundi**, 2019. Disponível em: <<https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=corn&graph=ty-exports>>. Acesso em: 25, janeiro de 2020.

Corn Trade Year Imports by Country in 1000 MT. **Index Mundi**, 2019. Disponível em: <<https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=corn&graph=ty-imports>>. Acesso em: 25, janeiro de 2020.

CREELMAN, R.A.; MULLET, J.E. Jasmonic acid distribution and action in plants: Regulation during development and response to biotic and abiotic stress. **Proceedings of the National Academy of Science**, vol. 92, n. 10, p. 4114-4119, 1995.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; ALVARENGA, R.C.; GONTIJO NETO, M.M.; VIANA, J.H.M.; OLIVEIRA, M.F.; MATRANGOLO, W.J.R.; ALBUQUERQUE FILHO,

M.R. **Cultivo do Milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Sistemas de produção, 2. Versão eletrônica - 6ª edição, set. 2010.

DAN, E. L.; MELLO, V. D. C.; WETZEL, C. T.; POPINIGIS, F.; ZONTA, E. P. Transferência de matéria seca como método de avaliação do vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 9, n. 3, p. 45-55, 1987.

DE PAULA QUEIROGA, V.; DURÁN, J.M.; BRUNO, R. D.L.A.; QUEIROGA, D.A.N.; JERÔNIMO, J.F. Efeito do condicionamento hídrico e mátrico sobre a qualidade de sementes de algodão deslintadas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p.107-115, 2009.

DIAS, D.C.F.S.; MARCOS FILHO, J. Testes de condutividade elétrica para avaliação do vigor de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Scientia Agricola**, v. 53, n. 1, p. 31-42, 1996.

FANCELLI, A.L., DOURADO-NETO, D. População e distribuição espacial de plantas de milho. In: **Milho: Estratégias de manejo para alta produtividade**. ESALQ. Piracicaba, 2003.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Food and Agricultural commodities production**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat> > Acesso: 27 de março, 2019.

FDA (Food and Drug Administration). Revised, 2013. **Direct Food Substances Affirmed as Generally Recognized as Safe**. Disponível em: <<http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=184.1563> >. Acesso em: janeiro, 2020.

FERREIRA, A.G.; BORGHETTI, F. **Germinação: do básico ao aplicado**. São Paulo, Artmed, 323p., 2004.

GIURIZZATO, M.I.K.; ROBAINA, A.D.; GONÇALVES, M.C.; MARCHETTI, M.E. Qualidade fisiológica de sementes de soja submetidas ao hidrocondicionamento. Maringá, **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, n.5, p.711-717, 2008.

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

GURGEL JÚNIOR, F. E.; TORRES, S. B.; OLIVEIRA, F. N.; NUNES, T. A. Condicionamento fisiológico de sementes de pepino. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 4, p. 163-168, 2009.

GUZEL-SEYDIM, Z.; GREENE, A.K.; SEYDIM, A.C. Use of ozone in the food industry. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, v.37, n. 4, p.453-460, 2004.

HAREEM, T.; AROOI, F.; KASHIF, S. R.; FAROOG, Z. Economic Viability of Pilot-Scale Application of Ozone in Cotton Bleaching with Multiple Reuse of Water. **Ozone: Science & Engineering**, v. 41, n. 2, p. 197-203, 2019.

HEPBURN, H. A.; POWELL, A. A.; MATTHEWS, S. Problems associated with the routine application of electrical conductivity measurements of individual seeds in the germination testing of peas and soybeans. **Seed Science and Technology**, v. 12, n. 3, p. 403-13, 1984.

HERNÁNDEZ-LOPEZ, A.; BELTRÁN-PEÑA, E. G.; OLIVEIRA, A. E. A.; AVILA-ALEJANDRE, A. X. Water preconditioning on germination and emergence of *Capsicum chinense* Jacq. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 9, n. 8, p.1703-1714, 2018.

HEYDECKER, W.; COOLBEAR, P. Seed treatments for improved performance-survey and attempted prognosis. **Seed Science and Technology**, v.5, n.2, p.353-425, 1977.

HEYDECKER, W.; HIGGINS, J.; GULLIVER, R.L. Accelerated germination by osmotic seed treatment. **Nature**, v. 246, n. 5427, p. 42-44, 1973.

HÖLBIG, L.S.; BAUDET, L.; VILLELA, F.A. Hidrocondicionamento de sementes de cebola. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 1, p. 171-176, 2011.

JOHNSON, R. R.; WAX, L. M. Stand Establishment and Yield of Corn as Affected by Herbicides and Seed Vigor 1. **Agronomy Journal**, v. 73, n. 5, p. 859-863, 1981.

KELLS, S.A.; MASON, L.J.; MAIER, D.E.; WOLOSHUK, C.P. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize. **Journal of Stored Products Research**, v. 37, p. 371-383, 2001.

KHADRE M. A, YOUSEF A. E. Sporicidal action of ozone and hydrogen peroxide: a comparative study. **International Journal Food Microbiology**, v. 71, n. 2-3, p. 131-138, 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**, v. 62, n.9, p. 1071-1087, 1999.

KRZYZANOWSKI, F.C. Vigor de sementes. Cartilha Embrapa Soja. 11p., 1999.

ISTA – International Seed Testing Association. Handbook of vigour test methods. Zürich: **ISTA**, 117p., 1995.

LAPOLLI, F. R.; SANTOS, L. F.; HÁSSEMER, M. E. N.; AISSE, M. M.; PIVELI, R. P. Desinfecção de efluentes sanitários por meio da ozonização. In. GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patógenos e substâncias nocivas: aplicação para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidropônica**. Vitória: PROSAB, p. 169-208, 2003.

LUTTS, S.; BENINCASA, P.; WOJTYLA, L.; KUBALA, S. S.; PACE, R.; LECHOWSKA, K.; QUINET, M.; GARNCZARSKA, M. **New Challenges in Seed Biology - Basic and Translational Research Driving Seed Technology**. Seed Priming: New Comprehensive Approaches for an Old Empirical Technique (Chapter 1), 210p., London, 2016.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. Circular técnica, n. 20, p. 27, 1995.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M.; CARNEIRO, N.P.; PAIVA, E. **Fisiologia da planta de milho**. Embrapa, circular técnica, n. 22, p. 970, 2002.

MAGUIRE, J.D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F.C. et al. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. p.1.1-1.21. Londrina: ABRATES, 1999.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 495p., 2005.

MATTHEWS, S.; BRADNOCK, W.T. The detection of seed samples of wrinkleseed peas (*Pisum sativum* L.) of potentially low planting value. **Proceedings of the International Seed Testing Association**, v.32, p.553-563, 1967.

MAXIMIANO, C. V.; CARMONA, R.; SOUZA, N. O.; ALENCAR, E. R. D.; BLUM, L. E. Qualidade fisiológica e sanitária de sementes de milho pré-condicionadas em água ozonizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 360-365, 2018.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R.D. & CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, p.49- 85, 1994.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, p.49- 85, 1999.

NOCE, M. A. Milho variedade BR 106, técnicas de plantio. **Comunicado técnico**. Embrapa, 2004.

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

OLIVEIRA, A. B.; GOMES-FILHO, E. Efeito do condicionamento osmótico na germinação e vigor de sementes de sorgo com diferentes qualidades fisiológicas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n.3, p. 25-34, 2010.

OLIVEIRA, S.R.S.; NOVENBRE, A.D.L.C. Teste de condutividade elétrica para as sementes de pimentão. **Revista brasileira de sementes**, v. 27, n. 1, p. 31-36, 2005.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília, DF: AGIPLAN, 1977.

POWELL, A. A. Cell membranes and seed leakage conductivity in relation to the quality of seed for sowing. **Journal Seed Technology**, Springfield, v. 10, n. 2, p. 81-100, 1986.

R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, URL:<<https://www.R-project.org/>>. Vienna, Austria. R Core Team, 2019.

REETZ, H.; Here's how to estimate yields for corn and soybeans before harvest. **Better Crops With Plant Food**, v. 71, p. 18-19, 1987.

REPKE, R. A.; CRUZ, S. J. S.; MARTINS, M. B.; SENNA, M. S.; FELIPE, J. S.; DUARTE, A. P.; BICUDO, S. J. **Altura de planta, altura de inserção de espiga e número de plantas acamadas de cinco híbridos de milho**. XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO - Águas de Lindóia - 26 a 30 de agosto, 2012.

RICE, R.G.; GRAHAM, D.M., LOWE, M.T. Recent ozone applications in food processing and sanitation. **Food Safety Magazine**, v. 8, n. 5, p. 10-17, 2002.

RIFNA, E.J.; RAMANAN, K.R.; MAHENDRAN, R. Emerging Technology Applications for Improving Seed Germination. **Trends in Food Science & Technology**, v.86, p.95-108, 2019.

RODRIGUES, V.N.; PINHO, R.G.V.; PAGLIS, C.M.; BUENO FILHO, S.S.; BRITO, A.H. Comparação entre métodos para estimar a produtividade de grãos de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 1, p. 34-42, 2005.

ROSSI, R. F.; CAVARIANI, C.; FRANCA NETO, J. B. **Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agrônômico de soja**. Revista Ciências Agrárias, v. 60, n. 3, p. 215-222, 2017.

ROZADO, A.F., FARONI, L.R.A., URRUCHI, W.M.I., RAUL GUEDES, R.N., PAES, J.L. Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 282-285, 2008.

SANTOS, C.M. **Influência do controle do crescimento, do uso de fungicidas e da frequência de colheita, nos caracteres agrônômicos e na qualidade da fibra e da semente do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.)**. Tese de Doutorado. UFV, Viçosa, 184p. 1993.

SANTOS, P.E.C.; SOUZA, P.I.M.; CARMONA, R.; FAGIOLI, M.; SPEHAR, C.R.; VILLAS BÔAS, H.D.C. Especial ABRASEM. Matéria Técnica - Semente é tecnologia. **Revista Agroanalysis**, p. 31-37, 2014.

SBRUSSI, C.A.G.; ZUCARELI, C. Germinação de sementes de milho com diferentes níveis de vigor em resposta à diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 215-226, 2014.

SCHEEREN, B.R. **Vigor das sementes de soja e produtividade**. Tese de Doutorado. UFP, Pelotas, 45p., 2002.

SCHUCH, L. O. B.; KOLCHINSKI, E. M.; FINATTO, J. A. Qualidade fisiológica a semente e desempenho de plantas isoladas de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 144-149, 2009.

SILVA da, S.B.; LUVIELMO, M.M.; GEYER, M.C.; PRÁ, I. Potencialidades do uso do ozônio no processamento de alimentos. **Semana: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p. 659-682, 2011.

SILVA, K. R. G.; VILLELA, F. A. Pré-hidratação e avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 2, p. 331-345, 2011.

SUDHAKAR, N.; NAGENDRA-PRASAD, D.; MOHAN, N.; HILL, B.; GUNASEKARAN, M.; MURUGESAN, K. Assessing Influence of Ozone in Tomato Seed Dormancy Alleviation. **American Journal of Plant Sciences**, v. 2, p. 443-48, 2011.

TIWARI, B. K.; BRENNAN, C. S.; CURRAN, T.; GALLAGHER, E.; CULLEN, P. J.; O'DONNELL, C. P. Application of ozone in grain processing. **Journal of Cereal Science**, v. 51, p. 248-255, 2010.

TORRES, S.B.; PEREIRA, R.A. Condutividade elétrica em sementes de rúcula. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 4, p. 58-70, 2010.

TRIGO M.F.O.O.; TRIGO, L.F.N. Efeito do condicionamento osmótico na germinação e no vigor de sementes de berinjela. **Revista Brasileira de Sementes**, v.21, n.1, p.107-113, 1999.

VANZOLINI, S.; NAKAGAWA, J. Teste de condutividade elétrica em sementes de amendoim. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 2, p. 151-158, 2005.

VASQUEZ, G.H. Condicionamento fisiológico de sementes de soja; efeitos sobre a germinação, vigor e potencial de armazenamento. 1995. **Dissertação de mestrado**. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1995.

VAZQUEZ, G.H.; SARGI, B.A.; PESSOA, A.C.O. Influência do tamanho e da forma da semente de milho sobre o desenvolvimento da planta e a produtividade de grãos. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, p. 16-24, 2012.

VENCOVSKY, R.; CRUZ, C. D. Comparação de métodos de correção de rendimento de parcelas experimentais com estandes variados: I. Dados simulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 5, p. 647-657, 1991.

VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: 40 FUNEP, 164p., 1994.

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Teste de condutividade elétrica**. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). Vigor de sementes: conceitos e testes. cap. 4, p. 1-26. Londrina: ABRATES, 1999.

VILLIERS, T.A. Ageing and longevity of seeds infield conditions. In: HEYDECKER, W. (Ed.). **Seed ecology**, p.265-288, 1973.

VIOLLEAU, F.; HADJEBA, K.; ALBET, J.; CAZALIS, R.; SUREL, O. Effect of oxidative treatment on corn seed germination kinetics. **Ozone: Science and Engineering**, v. 30, p.418-422, 2008.

WEILER, E.W.; KUTCHAN, T.M.; GORGA, T.; BRODSCHELM, W.; NIESEL, U.; BUBLITZ, F. Evidence for the involvement of jasmonates and their octadecanoid precursors in the tendril coiling response of *Bryonia doica*. **Phytochemistry**, vol. 32, n. 3, p. 591-600, 1993.

WELBAUM, G.E.; SHEN, Z.; OLUOCH, M.O.; JETT, L.W. The evolution and effects of priming vegetable seeds. **Seed Technology**, v. 20, n. 2, p. 209-235, 1998.

YANG P.P.W.; CHEN, T.C. Stability of ozone and its germicidal properties on poultry meat microorganisms in liquid phase. **Journal Food Science**, v. 44, n. 2, p. 501-504, 1979.

ZUCARELI, C., CAVARIANI, C., PORTUGAL, G., & NAKAGAWA, J. Potencial fisiológico de sementes de milho hidratadas pelo método do substrato de papel toalha. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 122-129, 2008.

10. APÊNDICE



Figura 1A - Área experimental na Fazenda Água Limpa, UnB. Fonte: autor.



Figura 2A - Desenvolvimento da cultura na área experimental na Fazenda Água Limpa, UnB. Fonte: autor.

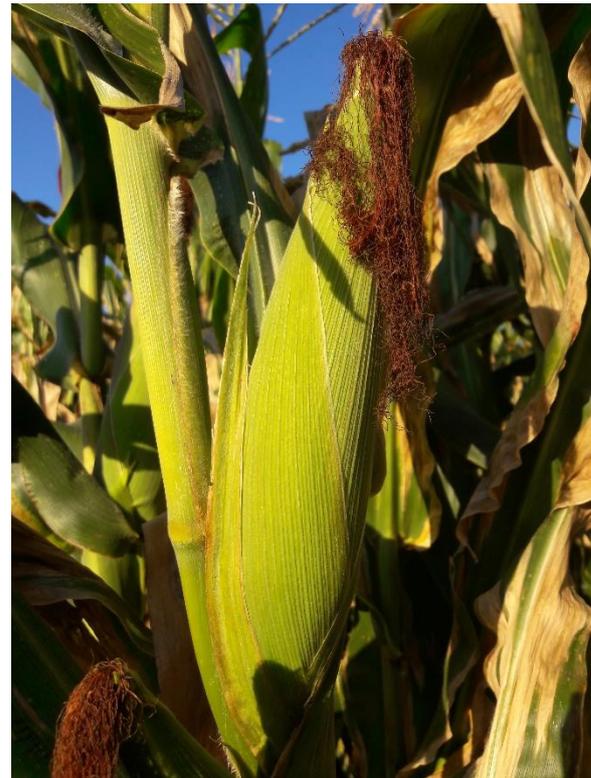


Figura 3A - Estádios de desenvolvimento do milho. Fonte: autor.



Figura 4A - Estádio final da cultura em campo. Fonte: autor.



Figura 5A - Área experimental na Fazenda Água Limpa, UnB. Estádio final da cultura, imagem aérea e por satélite. Fonte: autor e Google Maps (acesso: 10/02/2020).