



**MAYRA VANESSA HERRERA RAMOS**

**EFEITO DO CAMPO MAGNÉTICO ESTÁTICO E PRIMING  
SOBRE A QUALIDADE FISIOLÓGICA EM SEMENTES DE  
TOMATE**

**LAVRAS - MG  
2023**

**MAYRA VANESSA HERRERA RAMOS**

**EFEITO DO CAMPO MAGNÉTICO ESTÁTICO E PRIMING SOBRE A QUALIDADE  
FISIOLÓGICA EM SEMENTES DE TOMATE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Vegetal, área de concentração em Biotecnologia Vegetal para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dra. Édila Vilela de Resende Von Pinho  
Orientadora

Prof. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos  
Coorientadora

Prof. Dr. Sebastião Márcio de Azevedo  
Coorientador

Prof. Dr. Julio Cesar Ugucioni  
Coorientador

**LAVRAS - MG  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Ramos, Mayra Herrera.

Efeito do campo magnético estático e priming sobre a  
qualidade fisiológica em sementes de tomate / Mayra Herrera

Ramos. - 2023.

89 p. : il.

Orientador(a): Édila Vilela de Resende Von Pinho.

Coorientador(a): Heloisa Oliveira dos Santos, Sebastião Márcio  
de Azevedo, Julio Cesar Ugucioni.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Magnetopriming. 2. Armazenamento. 3. Sementes Híbridas.  
I. Resende Von Pinho, Édila Vilela de. II. Santos, Heloisa Oliveira  
dos. III. Azevedo, Sebastião Márcio de. IV. Ugucioni, Julio Cesar.

**MAYRA VANESSA HERRERA RAMOS**

**EFEITO DO CAMPO MAGNÉTICO ESTÁTICO E PRIMING SOBRE A QUALIDADE  
FISIOLÓGICA EM SEMENTES DE TOMATE**

**EFFECT OF THE STATIC MAGNETIC FIELD AND PRIMING ON THE  
PHYSIOLOGICAL QUALITY OF TOMATO SEEDS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Vegetal, área de concentração em Biotecnologia Vegetal para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 30 de agosto 2023.

Dr. Luciano Vilela Paiva	UFLA
Dr. Júlio César Ugucioni	UFLA
Dr. Fábio Henrique Silva Sales	IFMA

Prof. Dra. Édila Vilela de Resende Von Pinho  
Orientadora

Prof. Dra. Heloisa Oliveira dos Santos  
Coorientadora

Prof. Dr. Sebastião Márcio de Azevedo  
Coorientador

Prof. Dr. Julio Cesar Ugucioni  
Coorientador

**LAVRAS - MG  
2023**

*À minha família,  
que sempre me ensinou que a  
educação é a melhor herança.*

*Com todo o amor.*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à vida por me deixar viver uma experiência tão maravilhosa e enriquecedora, pela coragem de experimentar uma nova língua e cultura, e pela sabedoria para tomar as decisões corretas.

Ao meus pais, Maria Lígia e Alberto, e à minha irmã Adriana, pelo amor e apoio incondicional mesmo com a distância, por estarem presentes em todas as etapas da minha vida.

À família que escolhi ao longo da minha vida, à todas minhas amigas que tornaram meu caminho mais leve e feliz.

Aos amores felinos da minha vida, Caféina e Perejilo, pela companhia, por serem apoio, por encher minha vida de amor, paz e alegria.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao programa de Pós-Graduação em Biotecnologia Vegetal, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Programa de Alianças para a Educação e Capacitação (PAEC) em colaboração com a Organização dos Estados Americanos (OEA) e o grupo de Cooperação Internacional de Universidades Brasileiras (GCUB). O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico (CNPq).

À minha orientadora, Prof. Dra. Édila Vilela de Resende Von Pinho, por ter me acolhido, pela pelos conhecimentos transmitidos, por ter confiado em meu trabalho e especialmente por sua paciência e dedicação.

Aos meus coorientadores Dra. Heloisa Oliveira dos Santos, Dr. Sebastião Márcio de Azevedo e Dr. Julio Cesar Ugucioni, por serem apoio, pelos conselhos sábios.

Aos membros da banca examinadora, Dra. Édila Vilela de Resende Von Pinho, Dr. Fábio Henrique Silva Sales, Dr. Luciano Vilela Paiva, Dr. Júlio César Ugucioni, pela disponibilidade, e por terem aceitado o convite.

A todas as pessoas que conheci no Setor de Sementes, por ter me acolhido, eu os senti como parte da minha família.

A todos os professores que contribuíram no enriquecimento do meu conhecimento.

A todos que de alguma forma ajudaram na realização desse trabalho, na Colômbia sempre terei as portas abertas para vocês!

Muito obrigada!

## RESUMO

As sementes de hortaliças como o tomate, são altamente valoradas no mercado e precisam de novas estratégias e tecnologias de produção para garantir a qualidade e maior produtividade desta cultura de importância inquestionável em níveis nacional e mundial. Nas últimas décadas o magnetopriming tem sido uma inovadora e potencial técnica para acelerar a germinação e incrementar o vigor das plântulas, minimizar a deterioração, entre outras características fisiológicas que garantam a formação de mudas vigorosas, o estabelecimento das plantas no campo e alta produtividade de tomate, de forma sustentável. Vários pesquisadores têm estudado os efeitos do campo magnético em sementes, no entanto faltam informações relacionadas à influência deste sobre o crescimento de plântulas em casa de vegetação associadas ao armazenamento de sementes e a expressão de proteínas. Assim, neste estudo foram avaliados os efeitos do magnetopriming sobre a qualidade fisiológica e a expressão enzimática em sementes armazenadas por diferentes períodos. A pesquisa, foi realizada no Laboratório Central de Pesquisa de Sementes e em casa de vegetação do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), MG, Brasil. Foram avaliadas sementes híbridas de dois genótipos de tomate, IBIZA e FARO obtidas no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia da UFLA, no município de Ijaci, MG, Brasil, na mesma safra e condições edafoclimáticas. As sementes foram submetidas ao campo magnético de 100 mT com tempo de exposição magnética de 60 minutos, e ao condicionamento fisiológico durante 24 horas em água destilada. Foram realizadas análises da germinação e vigor das plântulas, e análises enzimáticas, no início do armazenamento e após três meses. Foram encontradas diferenças significativas para a interação tripla entre fatores genótipo x priming x campo magnético, para as variáveis avaliadas no início do armazenamento, índice de velocidade de germinação e emergência, massa fresca e seca, e comprimentos do hipocótilo, da raiz e total das plântulas, e após três meses de armazenamento para porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação e emergência, e massa seca das plântulas. Diferença significativa para a interação dupla priming x campo magnético, para a variável massa seca no início do armazenamento, e para a interação dupla genótipo x campo magnético, nas variáveis, comprimento total das plântulas no início do armazenamento, e após três meses de armazenamento para porcentagem de emergência, comprimentos da raiz e total das plântulas. Concluindo-se que o magnetopriming é uma técnica que tem efeitos positivos sobre a qualidade fisiológica das sementes e vigor das plântulas de tomate e sobre a expressão das enzimas catalase, esterase, malato desidrogenase e álcool desidrogenase. Também há influência do genótipo sobre a qualidade fisiológica das sementes submetidas ao campo magnético e priming.

**Palavras-chave:** Magnetopriming. Armazenamento. Sementes Híbridas. Condicionamento Fisiológico.

## ABSTRACT

Vegetable seeds such as tomato are highly valued in the market and need new strategies and production technologies to guarantee the quality and higher productivity of this crop of unquestionable importance at national and global levels. In recent decades, magnetopriming has been an innovative and potential technique to accelerate germination and increase the vigor of seedlings, minimize deterioration, among other physiological characteristics that guarantee the formation of vigorous seedlings, the establishment of plants in the field and high tomato productivity, in a sustainable way. Several researchers have studied the effects of the magnetic field on seeds, however, there is a lack of related information on its influence on the growth of seedlings in greenhouses associated with seed storage and their protein expression. Thus, in this study the effects of magnetopriming on the physiological quality and enzymatic expression in seeds stored for different periods were evaluated. The research was carried out at the Central Seed Research Laboratory and in the greenhouse of the Department of Agriculture of the Federal University of Lavras (UFLA), MG, Brazil. Hybrid seeds of two tomato genotypes, IBIZA and FARO, obtained at the Center for Development and Technological Transfer of UFLA, in the municipality of Ijaci, MG, Brazil, were evaluated in the same harvest and edaphoclimatic conditions. The seeds were subjected to a 100 mT magnetic field with a magnetic exposure time of 60 minutes, and physiological conditioning for 24 hours in distilled water. Seeding germination and vigor analyses, and enzymatic analysis, were carried out at the beginning of storage and after three months. Significant differences were found for the triple interaction between genotype x priming x magnetic field factors, for the variables evaluated at the beginning of storage, germination and emergence speed index, fresh and dry mass, and hypocotyl, root and total seedlings lengths, and after three months of storage for germination percentage, germination and emergence speed index, and dry mass of the seedlings. Significant difference for the double interaction priming x magnetic field, for the variable dry mass at the beginning of storage, and for the double interaction genotype x magnetic field, for the variables, total length of the seedlings at the beginning of storage, and after three months of storage. for percentage of emergence, root and total seedlings lengths. In conclusion, magnetopriming is a technique that has positive effects on the physiological quality of seeds and vigor of tomato seedlings and on the expression of the enzymes catalase, esterase, malate dehydrogenase and alcohol dehydrogenase. There is also an influence of the genotype on the physiological quality of seeds subjected to the magnetic field and priming.

**Keywords:** Magnetopriming. Storage. Hybrid Seeds. Physiological Conditioning.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.	Eventos associados à germinação de sementes. ....	25
Figura 2.	Imagem do ímã, campo magnético nominal de 100 mT com seus respectivos comprimentos. ....	49
Figura 3.	Representação gráfica do suporte em nylon sinalado de cor azul dentro do ímã, onde vão ser tratadas as sementes com campo magnético. ....	49
Figura 4.	Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em sementes das cultivares Faro (F) e Ibiza (I) submetidas aos diferentes tratamentos, no início (t0) e após três meses de armazenamento. Onde tratamentos sem exposição magnética é o controle (Ctl), exposição magnética por 60 min (B60) e presença de priming (P). ....	67
Figura 5.	Atividade da enzima esterase (EST) em sementes das cultivares Faro (F) e Ibiza (I) submetidas aos diferentes tratamentos, no início (t0) e após três meses de armazenamento. Onde tratamentos sem exposição magnética é o controle (Ctl), exposição magnética por 60 min (B60) e presença de priming (P). ....	68
Figura 6.	Atividade da enzima catalase (CAT) em sementes das cultivares Faro (F) e Ibiza (I) submetidas aos diferentes tratamentos, no início (t0) e após três meses de armazenamento. Onde tratamentos sem exposição magnética é o controle (Ctl), exposição magnética por 60 min (B60) e presença de priming (P). ....	69
Figura 7.	Atividade da enzima álcool deshidrogenase (ADH) em sementes das cultivares Faro (F) e Ibiza (I) submetidas aos diferentes tratamentos, no início (t0) e após três meses de armazenamento. Onde tratamentos sem exposição magnética é o controle (Ctl), exposição magnética por 60 min (B60) e presença de priming (P). ....	69
Figura 8.	Atividade da enzima malato deshidrogenase (MDH) em sementes das cultivares Faro (F) e Ibiza (I) submetidas aos diferentes tratamentos, no início (t0) e após três meses de armazenamento. Onde tratamentos sem exposição magnética é o controle (Ctl), exposição magnética por 60 min (B60) e presença de priming (P). ....	70

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Porcentagem de germinação. ....	51
Equação 2. Índice de velocidade de germinação. ....	51
Equação 3. Porcentagem de emergência. ....	52
Equação 4. Índice de velocidade de emergência. ....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Resumo de algumas pesquisas relacionadas a intensidade do campo magnético em diferentes espécies vegetais. ....	29
Tabela 2.	Resumo de pesquisas relacionadas com campo magnético em sementes de tomate.....	32
Tabela 3.	Tratamentos com campo magnético e priming para cada genótipo de sementes de tomate.....	48
Tabela 4.	Médias de porcentagens de germinação em sementes de tomate das cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming no tempo de armazenamento 0. ....	54
Tabela 5.	Médias de porcentagens de germinação em sementes de tomate das cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético, após de 3 meses de armazenamento. ....	55
Tabela 6.	Médias de índices de velocidades de germinação em sementes de tomate das cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming no tempo de armazenamento 0. ...	55
Tabela 7.	Médias de índices de velocidades de germinação em sementes de tomate das cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético, após de 3 meses de armazenamento. ....	56
Tabela 8.	Resultados médios de comprimentos radiculares das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, após de 3 meses de armazenamento. ....	57
Tabela 9.	Resultados médios de comprimentos radiculares das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao campo magnético, após de 3 meses de armazenamento. ....	57
Tabela 10.	Resultados médios de comprimentos totais das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, após de três meses de armazenamento. ....	58
Tabela 11.	Resultados médios de comprimentos totais das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao campo magnético, após de três meses de armazenamento. ....	58

Tabela 12.	Resultados médios de massas frescas das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético, no tempo de armazenamento 0. ....	59
Tabela 13.	Resultados médios de massas frescas das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, após de três meses de armazenamento.....	59
Tabela 14.	Resultados médios de massas secas das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, no tempo de armazenamento 0. ....	60
Tabela 15.	Resultados médios de massas secas das plântulas de tomate para as sementes submetidas ao priming e campo magnético, no tempo de armazenamento 0. ....	60
Tabela 16.	Resultados médios de massas secas das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, após de três meses de armazenamento.....	61
Tabela 17.	Médias de porcentagens de emergência das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, após de 3 meses de armazenamento. ....	61
Tabela 18.	Médias de porcentagens de emergência das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao campo magnético, após de 3 meses de armazenamento. ....	62
Tabela 19.	Médias de índices de velocidades de emergência das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético no tempo de armazenamento 0. ....	62
Tabela 20.	Médias de índices de velocidades de emergência das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético, após de 3 meses de armazenamento. ....	63
Tabela 21.	Resultados médios de comprimentos de hipocótilos de plântulas para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético, no tempo de armazenamento 0. ....	64
Tabela 22.	Resultados médios de comprimento de hipocótilos das plântulas para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, após de três meses de armazenamento. ....	64
Tabela 23.	Resultados médios de comprimentos radiculares de plântulas para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético, no tempo de armazenamento 0. ....	65

Tabela 24.	Resultados médios de comprimentos totais das plântulas para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético, no tempo de armazenamento 0. .....	65
Tabela 25.	Resultados médios de massas secas da parte aérea das plântulas para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, após de três meses de armazenamento. ....	66
Tabela 26.	Resumo da pesquisa. ....	75

## LISTA DE TABELAS-ANEXOS

Tabela 1A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica índice de velocidade de germinação da semente no início do armazenamento. ....	80
Tabela 2A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica índice de velocidade de germinação da semente após de três meses de armazenamento. ....	80
Tabela 3A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica porcentagem de germinação da semente no início do armazenamento. ....	80
Tabela 4A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica porcentagem de germinação da semente após de três meses de armazenamento. ....	81
Tabela 5A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento do hipocótilo da plântula no início do armazenamento. ....	81
Tabela 6A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento radicular da plântula no início do armazenamento. ....	82
Tabela 7A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento total da plântula no início do armazenamento. ....	82
Tabela 8A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento do hipocótilo da plântula após de três meses de armazenamento. ....	82
Tabela 9A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento radicular da plântula após de três meses de armazenamento. ....	83

Tabela 10A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento total da plântula após de três meses de armazenamento. ....	83
Tabela 11A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa fresca da plântula no início do armazenamento. ....	83
Tabela 12A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa seca da plântula no início do armazenamento. ....	84
Tabela 13A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa fresca da plântula após três meses de armazenamento. ....	84
Tabela 14A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa seca da plântula após três meses de armazenamento. ....	84
Tabela 15A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica índice de velocidade de emergência da semente no início do armazenamento. ....	85
Tabela 16A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica índice de velocidade de emergência da semente após de três meses de armazenamento. ....	85
Tabela 17A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica porcentagem de emergência da semente no início do armazenamento. ....	86
Tabela 18A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica porcentagem de emergência da semente após três meses de armazenamento. ....	86
Tabela 19A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento do hipocótilo da plântula no início do armazenamento. ....	86

Tabela 20A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento radicular da plântula no início do armazenamento. ....	87
Tabela 21A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento total da plântula no início do armazenamento. ....	87
Tabela 22A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento do hipocótilo da plântula após de três meses de armazenamento.....	88
Tabela 23A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento radicular da plântula após de três meses de armazenamento.....	88
Tabela 24A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento total da plântula após de três meses de armazenamento. ....	88
Tabela 25A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa fresca da parte radicular da plântula no início do armazenamento. ....	89
Tabela 26A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa fresca da parte aérea da plântula no início do armazenamento. ....	89
Tabela 27A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa seca da parte radicular da plântula no início do armazenamento. ....	89
Tabela 28A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa seca da parte aérea da plântula no início do armazenamento. ....	90
Tabela 29A.	Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa fresca da parte radicular da plântula após três meses de armazenamento.....	90



Tabela 30A. Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa fresca da parte aérea da plântula após três meses de armazenamento.....	91
Tabela 31A. Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa seca da parte radicular da plântula após três meses de armazenamento.....	91
Tabela 32A. Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa seca da parte aérea da plântula após três meses de armazenamento.....	91

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>20</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
<b>2.1. Cultura e características das sementes de tomateiro .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2. Germinação e condicionamento fisiológico de sementes.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3. Magnetobiologia e magnetopriming .....</b>	<b>27</b>
<b>2.4. Tratamento magnético sobre sistemas biológicos .....</b>	<b>28</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO II: EFEITO DO MAGNETOPRIMING SOBRE A QUALIDADE FISIOLÓGICA E EXPRESSÃO ENZIMÁTICA EM SEMENTES HÍBRIDAS DE TOMATE .....</b>	<b>45</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>46</b>
<b>2.1. Seleção da dose magnética .....</b>	<b>47</b>
<b>2.2. Tratamento das sementes em campo magnético: .....</b>	<b>48</b>
<b>2.3. Tratamento das sementes ao priming:.....</b>	<b>50</b>
<b>2.4. Secagem, embalagem e armazenamento .....</b>	<b>50</b>
<b>2.5. Teste de germinação .....</b>	<b>50</b>
<b>2.6. Teste de emergência de plântulas .....</b>	<b>51</b>
<b>2.7. Análises enzimáticas.....</b>	<b>52</b>
<b>2.8. Análises de imagem no Ground Eye ® .....</b>	<b>53</b>
<b>2.9. Análises estatísticas .....</b>	<b>53</b>
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>54</b>
<b>3.1. Teste de germinação .....</b>	<b>54</b>

<b>3.2.</b>	<b>Teste de emergência de plântulas:.....</b>	<b>61</b>
<b>3.3.</b>	<b>Análises enzimáticas: .....</b>	<b>67</b>
<b>4.</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>70</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>74</b>
<b>6.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>75</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>77</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>80</b>

## **CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO GERAL**

## 1. INTRODUÇÃO

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma das principais hortaliças em nível mundial, cuja produção é cerca de 190 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2021), na qual o Brasil e a Colômbia contribuem com mais de 4,4 milhões de toneladas anualmente. Em muitos países, como a Colômbia e Brasil, é cultivada por agricultores familiares. Possui representativa importância socioeconômica e está associada à geração de empregos e renda (MACIEL et al., 2012; MORALES-PALACIO et al., 2014).

A propagação do tomateiro ocorre por meio de sementes as quais são utilizadas para a formação de mudas. Assim, existe crescente demanda de sementes com alta qualidade considerando-se os atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários (MARCOS-FILHO, 2005). Sabe-se que a qualidade das sementes de tomate influencia no estabelecimento e vigor das mudas a serem transplantadas (SCHEEREN et al., 2010). Por esta razão, busca-se desenvolver tecnologias inovadoras e ecologicamente corretas que possam acelerar a germinação, incrementar o vigor das plântulas, minimizar a deterioração das sementes, entre outras características que garantam a formação de mudas vigorosas, o estabelecimento das plantas no campo e a alta produtividade de forma sustentável. (VASHISTH e NAGARAJAN, 2010).

Neste contexto, a técnica de “priming ou condicionamento fisiológico” tem sido recomendada para a melhora do desempenho de lotes de sementes. Durante o condicionamento procura-se estender a fase 2 ou fase LEG da germinação, quando acontece a síntese de proteínas e ativação metabólica. Entre as diferentes técnicas de priming estão: hidropriming, osmopriming, condicionamento mátrico, drum priming ou método tambor, sendo os primeiros dois os mais conhecidos na indústria sementeira.

Nas últimas décadas tem sido estudado o condicionamento associado à exposição de sementes em campo magnético, magnetopriming, visando aprimorar a qualidade fisiológica das sementes. Entre as características desta técnica podem ser citadas: ambientalmente sustentável, não é invasiva, fácil de aplicar e econômica, especialmente quando se trabalha com campos magnéticos estáticos não homogêneos (ímãs) (MADHAVAN e ANAND, 2019).

Na agricultura vários investigadores têm demonstrado que tratar magneticamente sementes pode melhorar a permeabilidade da membrana, reduzir o tempo de germinação, aumentar a

porcentagem de plântulas emergidas, o vigor, os comprimentos e massa das plântulas (ATAK et al., 2003; BARRETO-MORENO et al., 2021; GALLAND e PAZUR, 2005; MIETCHEN et al., 2005; TORRES-OSORIO et al., 2015). Todos os efeitos positivos anteriormente mencionados podem propor o magnetopriming como uma técnica inovadora que possa aprimorar a qualidade fisiológica de sementes.

Martinez et al. (2009) observaram que expor as sementes de tomate em campos magnéticos propiciaram melhoria da germinação em tratamentos de doses magnéticas de 125 e 250 mT (miliTesla) em diferentes tempos de exposição em comparação ao controle. Também em estudo de Jedlicka et al. (2015) foram observadas diferenças estatísticas na germinação de sementes de tomate com tratamentos entre 40 e 60 mT por 20 minutos ao dia, durante 48 dias consecutivos. No entanto, na literatura são escassos os trabalhos que integrem e unifiquem o magneto e hidropriming como técnicas que possam aprimorar a qualidade fisiológica das sementes. Também não há pesquisas por meio das quais foram avaliados os efeitos do magnetopriming sobre a qualidade de sementes de tomate durante o armazenamento e a expressão de enzimas nestas condições. Diante disso, nesta pesquisa, foram avaliados os efeitos de doses magnéticas sobre a germinação de sementes híbridas de tomate submetidas ao hidropriming em dois períodos diferentes. Além disso, foi avaliada a expressão de enzimas associadas ao estresse oxidativo, respiração e ruptura de ligações éster em sementes submetidas ao magnetopriming.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Cultura e características das sementes de tomateiro**

No Brasil o tomate é responsável por 21% da produção em hortaliças (CAMARGO-FILHO, 2015), contribuindo com mais de 3,5 milhões de toneladas anualmente (FAOSTAT e IBGE, 2021 e 2020 respectivamente), e está relacionada com a agricultura familiar, gerando uma quantidade significativa de empregos, especialmente ao pequeno e médio agricultor (MACIEL et al., 2012; MORALES-PALACIO et al., 2014).

Pertencente à família Solanaceae, as flores do tomateiro são axilares e estão dispostas em cachos e são de cor amarelada; os frutos são carnudos, de diferentes formas e cores dependendo da variedade (SOURCE, 2021; PERLATA e SPOONER, 2007). As sementes de tomate são ortodoxas, durante sua formação acumulam reservas formadas por amido, proteínas e lipídios, e tem a capacidade de tolerar a secagem, sendo possível ser armazenadas por longos períodos em condições de baixa umidade relativa do ar e baixas temperaturas. Geralmente são armazenadas sob baixas temperaturas e umidades relativas do ar, com baixos teores de água e acondicionadas em embalagens impermeáveis (MARCOS-FILHO, 2005).

Outra característica destas sementes é que são fotoblásticas positivas, em que os fitocromos/cromoproteínas, que são pigmentos de cor azuladas estão presentes em pequenas quantidades em células dos tecidos vegetais e tem a propriedade de responder aos estímulos da luz de baixa energia de determinado comprimento de onda, que ativam genes nucleares, permitindo que a semente possa germinar no escuro depois de ter o estímulo da luz.

A resistência mecânica da cobertura como a sarcotesta, tegumento e endosperma no tomate podem ser barreiras que proporcionam impermeabilidade a água e limita a troca gasosa, afetando o crescimento do eixo embrionário e, portanto, a germinação (BASKIN e BASKIN, 2001 e 2003; JAYASURIYA et al., 2007). As cadeias de mananas estão presentes na fração hemicelulósica da parede celular vegetal e no endospermo de sementes de tomate, conferindo uma estrutura rígida que precisa ser enfraquecida e sua biossíntese diminuída para que possa ocorrer a protrusão da radícula (TOOROP et al., 2000; SCHRÖDER et al., 2009; QUEIROZ et al., 2012). A germinação em sementes de tomate é epígea, os cotilédones emergem do solo devido ao considerável alongamento do hipocótilo (BRASIL, 2009).

Conhecer as características das sementes de tomate é fundamental para o desenvolvimento e aplicação de tecnologias que possam agregar valores às sementes visando a produção e a comercialização de sementes com alta qualidade. Para a propagação do tomateiro são formadas mudas a partir das sementes, sendo que a qualidade fisiológica destas influenciam sobremaneira o vigor e o estabelecimento das mudas em campo. Assim, é importante investir em tecnologias que possam aprimorar a qualidade fisiológica das sementes e garantir a formação de mudas vigorosas e altas produtividades, fatores de extrema importância para o agricultor e indústria. Visando melhorar a qualidade das sementes e a produtividade de tomate, uma das estratégias é o uso de

sementes híbridas. Os benefícios podem proporcionar em aumento aproximado de 20% da produção, dependendo do genótipo, maior uniformidade de maturação dos frutos, resistência a doenças, maior capacidade de adaptação e além de reduzir os custos com os controles fitossanitários em 10% (CEPEA, 2008). Entretanto, as sementes híbridas têm maior custo que as de cultivares de polinização aberta. Em razão à alta valorização destas é que os produtores de sementes de tomate investem em tecnologias de produção e de pós-colheita para garantir a comercialização de sementes com alta qualidade. Uma das técnicas utilizadas em pós-colheita é o condicionamento fisiológico das sementes, a qual tem sido utilizada para o aprimoramento da qualidade fisiológica das sementes, em nível industrial, para várias espécies.

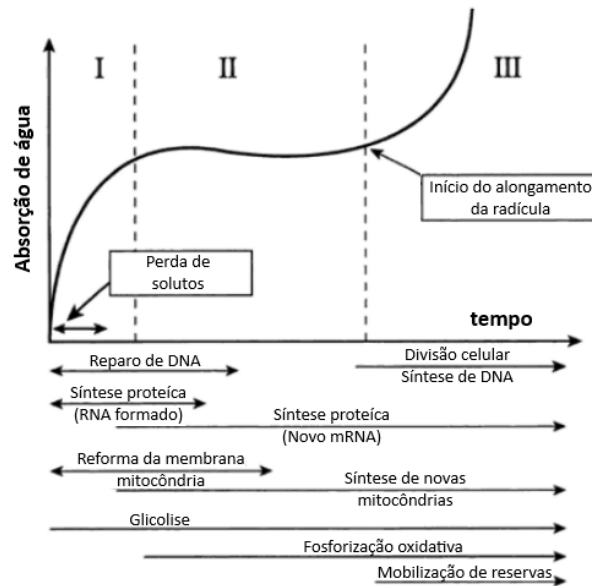
## **2.2. Germinação e condicionamento fisiológico de sementes**

A qualidade da semente é um conceito baseado na avaliação de quatro atributos: genético, fisiológico, físico e sanitário (PEREZ-MENDOZA et al., 2006). A qualidade fisiológica está principalmente associada à germinação, vigor e longevidade. Pode ser avaliada em testes de germinação e vigor em laboratório. Além disso, pode ser complementada por avaliações da capacidade de crescimento de plântulas, importante para a formação de mudas que serão transplantadas, como é o caso do tomate. Entre as vantagens de se trabalhar com sementes de alta qualidade estão o maior potencial de armazenabilidade, melhor estabelecimento de plântulas e plantas, e a maior produtividade de frutos e grãos (AYALA et al., 2014).

A germinação é o processo que se inicia com a embebição, e termina com a protrusão radicular (AZCÓN-BIETO e TALÓN, 2008). A absorção de água pela semente é diretamente influenciada pelo tegumento e sua permeabilidade (MORENO et al., 2006). Na **Figura 1** observam-se os eventos associados ao processo de germinação das sementes.



**Figura 1.** Eventos associados à germinação de sementes.



Fonte: Azcón-Bieto e Talón (2008).

A fase I, é física e se inicia com a embebição de água na semente, fazendo com que seja atingido um potencial hídrico negativo, de aproximadamente  $-100.0$  MPa, o que desencadeia um aumento na massa da semente. Nesta fase há alterações da permeabilidade da membrana da semente que permite a saída de solutos e metabólitos de baixo peso molecular, como açúcares, ácidos orgânicos, íons, aminoácidos, peptídeos e compostos inibidores de germinação, como fenóis e ácido abscísico (ABA). Essas perdas geram transformações na composição fosfolipídica da membrana celular que se torna novamente estável ao final desta etapa e estabiliza a perda de solutos.

Durante a fase II ou fase LEG, ocorre principalmente a ativação metabólica, diminui a absorção de água, e o potencial hídrico está entre  $-1.0$  e  $-1.5$  MPa. Também, a impermeabilidade do tegumento da semente gera deficiência de oxigênio com predominância da rota anaeróbica e produção de etanol. A falta de oxigênio aumenta a síntese de piruvato, mais do que pode ser utilizado pelo ciclo de Krebs e pela cadeia de transporte de elétrons, que direciona o metabolismo para o ciclo da pentose fosfato para a geração de NADPH, que é um doador de poder redutor para a síntese de ácidos nucleicos e para outros processos biossintéticos. Há aumento da síntese enzimática como resultado da síntese de novo mRNA. Alterações transcricionais também ocorrem

no alongamento e divisão celular, e são expressas proteínas que enfraquecem a parede celular por hidrólise.

Por meio da técnica de priming procura-se estender o máximo possível a fase II ou fase LEG para aumentar a probabilidade da síntese proteica e ativação metabólica. A protrusão radicular acontece na fase III, quando as enzimas como a endo-beta-mananase auxiliam na degradação das paredes do endosperma, facilitando a protrusão da radícula que atravessa a testa e o endosperma. O crescimento da radícula e a expansão das células do embrião são favorecidos por compostos hormonais (AZCÓN-BIETO e TALÓN, 2008; BEWLEY, 1997; HERRERA et al., 2006).

Inúmeras estratégias têm sido pesquisadas e implementadas na produção agrícola em favor das sementes, o priming permite a hidratação das sementes ativando os processos metabólicos pré-germinativos para facilitar a germinação das sementes e vigor das plântulas, que além de ser eficientes e de baixo custo, tornaram-se essenciais na produção agrícola a fim de solucionar as demandas do mercado, alta produtividade, maior qualidade e melhor desenvolvimento de culturas vegetais.

Entender o processo de germinação de sementes é fundamental para a aplicação da técnica de condicionamento fisiológico. Esta é utilizada para aprimorar a qualidade de sementes de lotes, por meio da extensão da fase II da germinação, sem que ocorra a protrusão radicular a qual ocorre na fase III. Assim, busca-se a uniformidade da germinação de sementes e emergência de plântulas. Outras técnicas, associadas ao condicionamento fisiológico, têm sido pesquisadas sendo uma delas o tratamento em campo magnético.

Por meio de pesquisas tem sido observado que a mobilidade da água durante o processo de germinação pode ser acelerada quando as sementes são pré-tratadas com um campo magnético (VANISTH e NAGARAJAN, 2010) e, portanto, pode estar associada à atividade metabólica enzimática envolvida na hidrólise de reservas armazenadas (ARANZAZU-OSORIO, 2019). Esta técnica tem sido denominada como magnetopriming.

### 2.3. Magnetobiologia e magnetopriming

Para entender o escopo da magnetobiologia como uma ferramenta biotecnológica, dois termos devem ser diferenciados, biomagnetismo e magnetobiologia. Biomagnetismo é o estudo dos campos magnéticos que tem um sistema biológico, enquanto a magnetobiologia é o estudo das respostas dos sistemas biológicos quando são expostos a um campo magnético externo (TORRES et al., 2018). O magnetopriming faz referência ao condicionamento por meio de campo magnético.

O conceito de campo magnético pode ser entendido como uma força causada por uma quantidade de carga que atravessa uma superfície por unidade de tempo e que afeta qualquer outra carga ou corrente em um espaço de influência, portanto a natureza fundamental do magnetismo é a interação em movimento de cargas elétricas ou até mesmo na oscilação de partículas subatômicas como os elétrons; é responsável pela atração e repulsão dos pólos magnéticos (YOUNG e FREEDMAN, 2009).

Existem dois tipos de fontes magnéticas, as passivas que possuem só o campo magnético, e as fontes ativas que possuem campos eletromagnéticos, bobinas. Este último precisa de um campo elétrico para gerar o campo magnético, a corrente fornecida pode ser direta na qual a voltagem não muda com o tempo ou a alternada em que a voltagem varia com o tempo.

O campo magnético pode ser estático ou dinâmico. O campo magnético estático refere-se ao fato de a intensidade do campo magnético não variar ao longo do tempo, como é o caso de ímãs e bobinas alimentadas com corrente contínua (DC). O campo magnético dinâmico refere-se ao fato de que a intensidade do campo magnético varia com o tempo, no caso de bobinas alimentadas com corrente alternada (CA). Dependendo da frequência da onda eletromagnética, ou seja, o número de vezes que a direção do campo muda na unidade de tempo em um determinado ponto; pode-se falar de campo eletromagnético se a frequência é baixa e da radiação eletromagnética se a frequência é alta (BELÉNDEZ, 2008).

De acordo com a frequência e a energia das ondas eletromagnéticas, a radiação é classificada como não ionizante ou ionizante. A energia da radiação não ionizante é muito fraca para quebrar ligações atômicas, e é constituída por radiação ultravioleta, luz visível, infravermelho, radiofrequências e micro-ondas, frequências extremamente baixas, campos elétricos e magnéticos

estáticos. Caso oposto à radiação ionizante contém energia suficiente para quebrar ligações atômicas, converter átomos ou moléculas em íons eletricamente carregados e pode gerar mutações no genoma, essas são frequências extremamente altas como os raios X e os raios gama (YOUNG e FREEDMAN, 2009).

#### **2.4. Tratamento magnético sobre sistemas biológicos**

Desde o final do século XIX, alguns pesquisadores observaram os efeitos de campos magnéticos sobre alguns sistemas biológicos, mas só em 1960 esses efeitos foram relatados em sistemas vegetais e suas aplicações na agricultura (GALLAND e PAZUR, 2005). A magnetobiologia tem importante potencial de aplicação, sendo que uma das vantagens é o fato de ser uma técnica não invasiva (MADHAVAN e ANAND, 2019). Por meio de pesquisas tem sido observado que o tratamento magnético tem influência sobre características e processos como: aumento da porcentagem de plantas emergidas e redução do tempo de germinação de sementes (TORRES-OSORIO et al., 2015), alterações nos órgãos e tecidos das plantas (PONOMAREV e FESENKO, 2000; PIETRUSZEWSKI et al., 2007; HERNÁNDEZ-AGUILAR et al., 2009), maior vigor, massa foliar, comprimento de parte aérea e raízes das plantas, mudanças nas características da membrana, metabolismo e reprodução celular, quantidade de mRNA, expressão gênica, biossíntese de proteínas, atividade fotoquímica, conteúdo de ácido nucleico e atividades enzimáticas (ATAK et al., 2003; MIETCHEN et al., 2005).

Também sob tratamento magnético foi observada melhor permeabilidade da membrana celular permitindo melhor transporte iônico e maior absorção da água (BARRETO-MORENO et al., 2021), melhora nos processos fotossintéticos, maior atividade metabólica e maior proporção de clorofila a e b (GALLAND e PAZUR, 2005), aumento da atividade da  $\alpha$ -amilase, aumento da produção do hormônio vegetal giberelina, hidrogenase e da atividade da enzima hidrolítica ácida fosfatase (VASHISTH e NAGARAJAN, 2010), alta eletrocondutividade específica, concentração de proteínas e fenóis (TORRES-OSORIO, 2015).

Pergunta-se com frequência como explicar essas respostas. Levando-se em consideração o princípio da conservação de energia, se a quantidade total de energia em um sistema não isolado

muda, é porque essa energia cruzou a fronteira do sistema por meio de um mecanismo de transferência (SERWAY e JEWETT, 2008). O que acontece ao tratar as sementes magneticamente é transferir energia em forma de campo magnético para aquele sistema biológico, podendo ou não desencadear uma resposta, uma mudança perceptível ou detectável em um organismo em estudo que pode ser um efeito negativo ou positivo dependendo do objetivo da pesquisa.

Socorro e García (2012) demonstraram, por meio de simulações computacionais, as três etapas às quais as sementes são tratadas em um campo magnético estacionário: a primeira, quando o ímã no suporte que contém as sementes, causa variação do fluxo magnético durante intervalos de tempo relativamente curtos, na segunda a semente é mantida no campo por um tempo de exposição magnética, e na terceira, o ímã é retirado do suporte, a semente sofre variação de magnitude igual à do primeiro estágio, mas na direção oposta. Esse gradiente magnético experimentado pela semente durante as três etapas desencadeou um efeito no fluxo iônico através da membrana plasmática, no potencial de membrana e na pressão osmótica para finalmente favorecer a entrada de água na célula. Também Barreto-Moreno et al. (2019), verificou por meio de simulações que, ao aumentar o valor do gradiente magnético, o potencial de repouso da membrana torna-se menos negativo e esta característica está associada ao potencial de membrana que permite o acionamento de algumas bombas iônicas e entrada de água na célula.

Na **Tabela 1** estão apresentadas as respostas encontradas em sementes de várias espécies expostas a campos magnéticos estáticos entre 2 e 300 mT, e na **Tabela 2** as respostas encontradas em sementes de tomate.

**Tabela 1.** Resumo de algumas pesquisas relacionadas a intensidade do campo magnético em diferentes espécies vegetais (Continua)

Planta e/ou espécie	Órgão da planta tratado	Intensidade do campo magnético	Resposta	Referência
<i>Zea mays</i> (milho)	Sementes	50 mT	Promoção da germinação.	TORRES et al., 2018
		125, 250 mT	(Pl.) Aumento do peso fresco e do comprimento.	FLOREZ et al., 2007
		100, 200 mT	(Pl.) Diminuição dos níveis de peróxido de hidrogênio e aumento da condutância estomática e do conteúdo de clorofila.	ANAND et al., 2012

**Tabela 2.** Resumo de algumas pesquisas relacionadas a intensidade do campo magnético em diferentes espécies vegetais (Continua)

Planta e/ou espécie	Órgão da planta tratado	Intensidade do campo magnético	Resposta	Referência
<i>Zea mays</i> (milho)	Sementes	100, 200 mT	Aumento da atividade da alfa amilase, desidrogenase e protease durante a germinação.	VASHISTH e NAGARAJAN, 2010
		50, 250 mT	O desempenho das sementes melhorou em termos de porcentagem e velocidade de germinação.  (Pl.) Comprimento mais longo e maior peso seco.	VASHISHT e KUMAR, 2016
		100, 200 mT	Redução de enzimas antioxidantes.	JAVED et al., 2011
		100 mT	Redução do tempo de germinação de 50% das sementes (t50), aumento da germinação máxima.  Aumento significativo de alfa amilase e proteases.	ARANZAZU-OSORIO, 2019
		50, 100, 150, 200, 250, 300 e 350 mT	Aumento em um 108,9% nos comprimentos das plântulas com 150 mT.	FERRONI et al., 2023
<i>Solanum lycopersicum</i> (tomate)	Sementes	160, 200 mT	Promoção da germinação.	DE SOUZA et al., 2010; POINAPEN et al., 2013
		160, 200 mT	(Pl.) Aumento do peso médio do fruto, rendimento por planta e por área.	DE SOUZA et al., 2006
		125, 300 mT	Diminuição do tempo médio de germinação	TORRES-OSORIO et al., 2015
<i>Glycine max</i> L. (soja)	Sementes	150, 200 mT	(Pl.) Aumento da enzima Rubisco.	SHINE et al., 2011
		150, 200 mT	Melhorou a produção de ROS mediada pela peroxidase na parede celular, enquanto o conteúdo de ácido ascórbico, superóxido dismutase e atividade ascorbato peroxidase diminuíram no hipocótilo de sementes em germinação.	SHINE et al., 2012
		150 e 200 mT	Maiores comprimentos, fixação de carbono e nitrogênio.  Diminui o estresse oxidativo das plantas.	JOSHI-PANERI et al., 2023

**Tabela 3.** Resumo de algumas pesquisas relacionadas a intensidade do campo magnético em diferentes espécies vegetais (Conclusão)

<i>Helianthus annuus</i> (girassol)	Sementes	50, 250 mT	Efeito nas características de germinação e crescimento inicial.  (Pl.) Aumento o peso seco, o comprimento da raiz e total.  Em sementes em germinação, as atividades enzimáticas de $\alpha$ -amilase, desidrogenase e protease foram significativamente maiores.	VASHISTH e NAGARAJAN, 2010
	Explantes cultura <i>in vitro</i>	2.9, 4.6 mT	Aumento de peroxidasa.	ATAK et al., 2014
<i>Cicer arietinum</i> (bico)	Sementes	50, 250 mT	O desempenho das sementes melhorou em termos de germinação em laboratório e velocidade de germinação.  (Pl.) Comprimento mais longo, maior volume de raiz e peso seco.	VASHISTH e NAGARAJAN, 2008
<i>Hordeum vulgare</i> (cevada)	Sementes	125 mT	(Pl.) Aumento de comprimento e peso. Efeito estimulante nas primeiras fases de crescimento.	MARTINEZ et al., 2000
<i>Lactuca sativa</i> (alface)	Sementes	125, 250 mT	A taxa de germinação aumentou, a atividade da peroxidase aumentou com o aumento do campo magnético.  (Pl.) Aumento no comprimento da raiz.	MOUSAVIZADEH et al. 2013
<i>Leucaena leucophala</i> (cabaça)	Sementes	30, 250 mT	(Pl.) Afetou o comprimento da raiz, massa foliar, porcentagem de nitrogênio e proteína foliar.	HINCAPIÉ-LADINO et al., 2012
<i>Pisum sativum</i> (ervilha)	Sementes	60, 250 mT	(Pl.) Maior comprimento e peso.	CARBONELL et al., 2011
<i>Abelmoschus esculentus</i> (quiabo)	Sementes	99 mT	Promoção da germinação.	NAZ et al., 2012
<i>Cucumis sativus</i> (pepino)	Sementes	100-250 mT	(Pl.) Aumento dos radicais superóxido e peróxido de hidrogênio.	BHARDWAJ et al., 2012

Fonte: MARTINEZ et al. (2000); FLOREZ et al. (2007); DE SOUZA et al. (2006); VASHISTH e NAGARAJAN (2008); DE SOUZA et al. (2010); VASHISTH e NAGARAJAN (2010); CARBONELL et al. (2011); JAVED et al. (2011); SHINE et al. (2011); ANAND et al. (2012); BHARDWAJ et al. (2012); HINCAPIÉ-LADINE et al. (2012); NAZ et al. (2012); SHINE et al. (2012); MOUSAVIZADEH et al. (2013); POINAPEN et al. (2013); ATAK et al. (2014); TORRES-OSORIO et al. (2015); VASHISHT e KUMAR (2016); ARANZAZU-OSORIO (2019); TORRES et al. (2018); FERRONI et al. (2023); JOSHI-PANERI et al. (2023).

**Tabela 4.** Resumo de pesquisas relacionadas com campo magnético em sementes de tomate.

Genótipo	Estudo	Intensidade do campo magnético	Campo magnético	Fonte magnética	Resposta	Referência
Campbell-28	Em campo	160 e 200 mT	Homogêneo	Ativo/ eletroímã	(Pl.) Aumento do peso médio do fruto, rendimento por planta e por área.	DE SOUZA et al., 2006
Não especificado	<i>In vitro</i>	125 e 250 mT	Não homogêneo	Passivo/ímã em forma de anel	Diminuição do tempo médio de germinação	MARTÍNEZ et al., 2009
Lignon	Em campo e <i>in vitro</i>	80, 120, 160 e 200 mT	Não homogêneo	Ativo CA/ eletroímã	Aumento na germinação e da emergência, matéria seca e comprimentos das plântulas.	DE SOUZA et al., 2010
Castrock	<i>In vitro</i>	150 e 200	Não homogêneo	Ativo CA/ eletroímã N100 Oxford	Diminuição no tempo de germinação.	EL-YAZIED et al., 2011
Não especificado	<i>In vitro</i>	3 – 25 mT	Homogêneo	DC/ímã	Aumentou o comprimento da raiz e comprimento da parte aérea das plântulas.	FEIZI et al., 2012
MST/32	<i>In vitro</i>	50, 130 e 370 mT	Homogêneo	Ímãs Nd-Fe-B	Aumento na germinação	POINAPEN et al., 2013
Pavlina	<i>In vitro</i> e em campo	20 - 60 mT	Não homogêneo	AC/ eletromagneto indutor (coil)	Influência na germinação, desenvolvimento da plântula e tamanho do fruto.	JEDLIČKA et al., 2015
Não especificado	<i>In vitro</i>	5 mT	Não homogêneo	Passivo/ímã	Efeitos na germinação e desenvolvimento.	MILLA et al., 2019
Super strain-B	<i>In vitro</i>	150, 200 e 250 mT	Homogêneo	Passivo/ímã de neodímio	Aumento na tasa e velocidade de germinação. Maior conteúdo da água e melhor crescimento das plântulas.	MOHAMMAD e ABDULLAH, 2023

Fonte: DE SOUZA et al. (2006); MARTINEZ et al. (2009); DE SOUZA et al. (2010); EL-YAZIED et al. (2011); FEIZI et al. (2012); POINAPEN et al. (2013); JEDLIČKA et al. (2015); MILLA et al. (2019); MOHAMMAD & ABDULLAH (2023).

Destaca-se também variação na expressão de algumas proteínas a exemplos de peroxidases,  $\alpha$ -amilases e desidrogenases quando as sementes de várias espécies foram pré-tratadas com campos magnéticos estáticos em comparação com seus respectivos controles.



Tem sido despertado grande interesse em explicar o efeito do tratamento magnético em nível bioquímico em sementes e plantas, por meio da quantificação das enzimas alfa-amilases, beta-amilases, desidrogenases, proteases e oxidases (AFZAL et al., 2012; BHARDWAJ et al., 2012; VASHISTH e NAGARAJAN, 2010; GEMISHEV et al., 1994). Mousavizadeh et al. (2013) observaram que a atividade da peroxidase aumentou na presença de um pré-tratamento magnético em sementes de alface e propuseram exposição em campo magnético para acelerar a germinação e o crescimento inicial de plântulas. Sabe-se que a enzima peroxidase catalisa o peróxido de hidrogênio durante as fases de germinação e crescimento das plântulas (MENEZES et al., 2014).

As  $\alpha$ -amilases e  $\beta$ -amilases são as principais enzimas que degradam o amido nas sementes. Helland et al. (2002) acreditam que a  $\alpha$ -amilase seja a enzima que predomina durante a germinação porque hidrolisa e serve para mobilizar reservas de amido no endosperma. As proteases participam da degradação de proteínas nas sementes em germinação. As desidrogenases estão associadas à oxidação de aminoácidos que fornecem energia para a realização do ciclo de Krebs e a produção de NADPH (TAVARES et al., 2014). Vashisth e Nagarajan (2010) propõem que a maior atividade de enzimas hidrolisantes pode ser responsável pela rápida germinação das sementes e melhoria de outras características em plântulas, provenientes de sementes pré-tratadas com campo magnético. Em tomate a enzima endo- $\beta$ -mananase é responsável pela hidrólise da cadeia de mananas presente no endosperma das sementes, degradação hidrolítica da parede celular e processo de enfraquecimento das estruturas do endosperma que circundam o embrião, favorecendo a protrusão radicular (SCHRÖDER et al., 2009).

Durante os processos biológicos associados ao metabolismo aeróbico, são produzidas espécies químicas conhecidas como radicais livres, que se caracterizam por apresentar um elétron desemparelhado e por serem muito reativos. De todos os radicais, as espécies reativas derivadas do oxigênio (ROS) são de grande interesse devido à estrutura birradical desta molécula e o grande número de processos que os geram e nos quais podem estar envolvidos, principalmente em danos celulares ao DNA, proteínas e lipídios. Sob condições de estresse biótico e abiótico, o organismo biológico pode produzir níveis mais elevados de ROS, a exemplos do ânion superóxido ( $O_2^-$ ), o radical hidroxila ( $OH^\cdot$ ), oxigênio singlete e peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ). Nestes organismos existe um sistema de proteção formado por enzimas antioxidantes e compostos de baixo peso molecular que participam da transformação de ROS e neutralizam os efeitos fitotóxicos causados.

Alguns antioxidantes enzimáticos são catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX). SOD representa o primeiro nível de defesa contra ROS, ela transforma superóxidos em moléculas de peróxido de hidrogênio, APXs capturam peróxidos de hidrogênio e os neutralizam por meio do ciclo do ascorbato glutaciona, CAT catalisa a conversão de peróxido de hidrogênio em água (CÉSPEDES-MIRANDA et al., 1996; DESAI et al., 1997; DE LA CRUZ-JIMÉNEZ et al., 2012; WANG et al., 2014).

A rápida germinação e o aumento do crescimento de plântulas pré-tratadas com campo magnético podem estar relacionados à produção de ROS. Sabe-se que uma das consequências do processo de deterioração é a formação de radicais livres (DESAI et al., 1997). Inicialmente acreditava-se que estes radicais em sementes estavam associados ao envelhecimento ou dessecação, a condições que podem desencadear o estresse oxidativo (BAILLY, 2004). Não obstante, nos últimos anos vários pesquisadores têm demonstrado que alguns compostos que transformam radicais livres e algumas das enzimas envolvidas na atividade respiratória podem ser importantes marcadores moleculares da qualidade das sementes. Alterações na expressão da isoenzima malato desidrogenase (MDH) e álcool desidrogenase (ADH) estão associadas à qualidade fisiológica das sementes, embora a resposta possa depender da espécie e do organismo em estudo (BALDONI et al., 2019; DE MELO-CASTRO et al., 2019; CATAO et al., 2016; NERY et al., 2018; 2016; CASTRO, 2011). Nos últimos anos, também foi demonstrado que as ROS estão associadas à sinalização de vários eventos importantes na vida da semente, como a germinação ou a superação da dormência. Shine et al. (2012) constataram que a maior produção de ROS em sementes pré-tratadas com campo magnético tem efeito promotor da germinação, pois é facilitada pela reação oxidativa da peroxidase, e sua capacidade antioxidante ajuda a reduzir o excesso de radicais livres produzidos.

Diante do observado em diferentes pesquisas alguns fatores podem influenciar na resposta de sistemas biológicos na presença de campos magnéticos, a exemplos da fonte magnética, tempo de exposição, o organismo em estudo e a dose magnética.

O campo das fontes magnéticas ou eletromagnéticas estáticas podem ser homogêneas ou não homogêneas. Homogeneidade refere-se ao fato de que a densidade de fluxo do campo magnético não varia ou varia em uma porcentagem muito pequena, enquanto se houver um gradiente apreciável da densidade de fluxo do campo magnético ela refere-se a um campo não

homogêneo. O tratamento magnético de sistemas biológicos com campos não homogêneos ganhou grande impulso nos últimos anos, as fontes passivas, além de fornecerem um manuseio de campo mais fácil para o pessoal treinado e para os próprios agricultores, também são uma alternativa mais econômica em comparação com as fontes ativas (SERWAY e JEWETT, 2008).

A exposição também pode ser feita direta ou indiretamente. O primeiro quando a fonte magnética está em interação direta com o organismo, já no segundo é necessário um intermediário, como exemplo a água que é tratada magneticamente para irrigar certas espécies vegetais (MARTÍNEZ et al., 2003). A aplicação da dose magnética pode ser constante, permanente ou única: Uma exposição constante refere-se ao fato de a dose poder ser fragmentadas e deve ser aplicada em diferentes momentos ou estágios de desenvolvimento. Durante a exposição permanente a fonte magnética, geralmente passiva, permanece sempre com o organismo em estudo até o final do experimento (GÓMEZ-LUNA et al., 2011). A exposição única e pontual é a mais usada atualmente e é fortemente aplicada em sementes (PODLEŠNY et al., 2004; DE SOUZA et al., 2005).

Também foi demonstrado que a resposta experimentada por um sistema biológico na presença dos campos magnéticos depende da espécie (GUTZEIT, 2001; PIETRUSZEWSKI et al., 2007), e em estudos mais recentes no nível do genótipo. Em alguns trabalhos há relatos de respostas diferentes em sementes expostas à mesma dose em diferentes genótipos de milho (HERNANDEZ-AGUILAR, 2009) e tomate (HERRERA-RAMOS, 2020).

A resposta é dependente também do estágio de desenvolvimento da planta. Duas formas de uso podem ser reconhecidas, a primeira é o tratamento de sementes antes da semeadura, ou seja, um pré-tratamento magnético, e a segunda é o tratamento em estágio de desenvolvimento pontual da plântula (HINCAPIÉ-LADINO et al., 2012).

A dose magnética é influenciada por variáveis abióticas como umidade, temperatura, intensidade da luz, entre outras, o que aumenta consideravelmente o conjunto de combinações que determinam a dose magnética. Por esse motivo, procura-se em um experimento na área de magnetobiologia variar a intensidade do campo magnético e o tempo de exposição, controlando as demais variáveis abióticas (TORRES et al, 2018).

Alguns pesquisadores contam com o uso de inteligência artificial para selecionar as doses que maximizam ou minimizam certas respostas em organismos biológicos. Jorge Jaramillo-Garzón

(2019) descreve um algoritmo baseado em inferência bayesiana para reduzir o número de experimentos que devem ser feitos durante a caracterização de uma dose magnética, visando a redução do tempo de germinação de sementes de tomate.

Poucos pesquisadores realizaram a caracterização de fontes magnéticas para determinar suas características intrínsecas e geométricas (PENG, 2004; PERIGO, 2007; GILART, 2007; TORRES et al., 2018; TORRES-OSORIO et al., 2020). As respostas dos sistemas biológicos em experimentos de magnetobiologia podem depender da homogeneidade, polaridade, intensidade, direção e distribuição espacial da densidade de fluxo do campo magnético (GEMISHEV, 1994; SAUNDERS, 2005; BELYAVSKAYA, 2009; PIETRUSZEWSKI et al., 2007; VAN et al., 2011; TORRES et al., 2018). Martínez et al. (2009), Feizi et al. (2012) e Milla et al. (2019) trabalharam com sementes de tomate e campo magnético, mas não especificaram a variedade, o que é um dado crucial agora que foi demonstrado que a resposta aos campos magnéticos também depende do genótipo.

O problema que surge de não detalhar metodologias experimentais corretas e detalhadas reside na baixa repetibilidade e reprodutibilidade em experimentos de tratamento magnético de sistemas biológicos. Alguns pesquisadores relatam os valores nominais de B fornecidos pelo fabricante, sendo este um valor pontual em um ponto específico da fonte, diferente do valor real de campo ao qual o sistema biológico está sendo exposto durante a dose. Um dos principais mecanismos para desenvolver um trabalho de pesquisa é orientar-se por meio de revisões bibliográficas para estabelecer a metodologia. Portanto, é necessário caracterizar as doses magnéticas, caracterizar previamente as fontes magnéticas e fornecer todas as características do organismo, entre outras, para realizar uma análise correta das respostas causa-efeito sofridas pelos sistemas biológicos (TORRES et al., 2018).

## REFERÊNCIAS

- AFZAL, I.; MUKHTAR, K.; QASIM, M.; BASRA, S.; SHAHID, M.; HAQ, Z. Magnetic stimulation of marigold seed. **Int. Agrophysics**, v. 26, n. 4, p. 335-339, 2012.
- ANAND, A.; NAGARAJAN, S.; VERMA, A.; JOSHI, D.; PATHAK, P.; BHARDWAJ, J. Pre-treatment of seeds with static magnetic field ameliorates soil water stress in seedlings of maize (*Zea mays* L.). **Indian J. Biochem. Biophys.**, v. 49, p. 63–70, 2012.
- ARANZAZU-OSORIO, J. Análisis del efecto del tratamiento magnético sobre la actividad enzimática en semillas de maíz (*Zea mays* L.). **Repositorio tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín**, 2019.
- ATAK, C.; EMIROGLU, O.; ALIKAMANOGLU, S.; RZAKOULIEVA, A. Stimulation of regeneration by magnetic field in soybean (*Glycine max* L. Merrill) tissue cultures. **J. Cell Mol. Biol.**, v. 2, p. 113–119, 2003.
- ATAK, C.; CELIK, O.; OLGUN, A.; ALIKAMANOGLU, S.; RZAKOULIEVA, A. Effect of Magnetic Field on Peroxidase Activities of Soybean Tissue Culture. **Biotechnology & Biotechnological Equipment**, v. 21, n. 2, p. 166-171, 2014.
- AYALA-VILLEGAS, M. J.; AYALA-GARAY, Ó. J.; AGUILAR-RINCÓN, V. H.; CORONA-TORRES, T. Evolución de la calidad de semilla de *Capsicum annuum* L. durante su desarrollo en el fruto. **Revista fitotecnia mexicana**, v. 37, n. 1, p. 79-87, 2014.
- AZCÓN-BIETO, J.; TALÓN, M. Fundamentos de Fisiología Vegetal. **Ed. Interamericana. MacGraw-Hill**. 2008.
- BAILLY C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed Sci Res**, v. 93, p. 107–114, 2004.
- BALDONI, A., PINHO, E. V. D. R. V., SANTOS, H. O. D., MARQUES, T. L., & PEREIRA, R. W. Gene expressions analysis of seed physiological quality in soybean cultivars. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 2, p. 408, 2019.
- BARRETO-MORENO, C.; RESTREPO-PARRA, E.; TORRES-OSORIO, J. Modeling and simulation of transmembrane ionic transport of cells exposed to magnetic field using the Monte Carlo method. **Journal of Computation Methods in Sciences and Engineering**, v. 21, n. 1, p. 243-254, 2021.
- BASKIN C.C.; BASKIN J.M. Some procedures for dormancy break and germination of difficult seeds. Native plant propagation and restoration strategies. **Oregon State University Nursery Technology Cooperative and Western Forestry and Conservation Association**. p 29–34, 2001.

BASKIN, C. C.; BASKIN, J. M. When breaking seed dormancy is a problem try a move-along experiment. **Native Plants Journal**, v. 4, n. 1, p. 17-21, 2003.

BELÉNDEZ, A. The unification of light, electricity and magnetism: Maxwell's electromagnetic synthesis. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 2, 2008.

BELYAVSKAYA, N. Biological effects due to weak magnetic field on plants. **Advance in Space Research**, v. 34, p. 1566–1574, 2009.

BEWLEY, J. D. Seed Germination and Dormancy. **Plant Cell Online**, v. 9, n. 7, p. 1055-1066, 1997.

BHARDWAJ, J.; ANAND, A.; NAGARAJAN, S. Biochemical and biophysical changes associated with magnetopriming in germinating cucumber seeds. **Plant Physiol. Biochem.** v. 57, p. 67–73, 2012.

BRASIL. Regras para análise de sementes (RAS). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Secretária de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS**, p. 399, 2009.

CAMARGO FILHO, W. P.; CAMARGO, F. P. Acomodação da produção olerícola no Brasil e em São Paulo, 1990-2010. **Análise Prospectiva e Tendências**, 2015.

CARBONELL, M. V.; FLOREZ, M.; MARTINEZ, E.; MAQUEDA, R.; AMAYA, J. Study of stationary magnetic fields on initial growth of pea (*Pisum sativum* L.) seeds. **Seed Sci. Technol.** v. 39, p. 673–679, 2011.

CASTRO, M. B. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho por meio da atividade respiratória. **Teses de mestrado em Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, Brasil**. 2011.

CATAO, H. C. R. M.; GOMES, L. A. A.; GUIMARÃES, R. M.; FONSECA, P. H. F.;

CAIXETA, F.; MARODIN, J. C. Physiological and isozyme alterations in lettuce seeds under different conditions and storage periods. **Journal of Seed Science**, v. 38, n. 4, p. 305-313, 2016.

CEPEA. Tomate gestão de custos garante a viabilidade do negócio no longo prazo. **ESALQ/USP**, junho de 2008.

CÉSPEDES-MIRANDA, E. M.; HERNÁNDEZ-LANTIGUA, I.; LLÓPIZ-JANER, N. Enzimas que participan como barreras fisiológicas para eliminar los radicales libres: II. Catalasa. **Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas**, v. 15, n. 2, 1996.

DESAI, B. B.; KOTECHA, P. M.; SALUNKHE, D. K. Seeds handbook: biology, production, processing and storage, **New York, US: Marcel Dekker**, 1997.

DE MELO-CASTRO, E., OLIVEIRA, J. A., SANTOS, H. O. D., VON PINHO, É. V. D. R., LIMA, A. E. D., PEREIRA, R. W., ALVES, M. V. P. & SILVA, F. F. D. (2019). Lignin and

activity enzymatic in susceptibility to weathering damage on soybean seeds. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 11, p. 203, 2019.

DE LA CRUZ-JIMÉNEZ, J.; MORENO, L. P.; MAGNITSKIY, S. Respuesta de las plantas a estrés por inundación. Una revisión. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 6, n. 1, p. 96-109, 2012.

DE SOUZA, A.; GARCÍA, D.; SUEIRO, L.; LICEA, L.; PORRAS, E. Pre-sowing magnetic treatment of tomato seeds: effects on the growth and yield of plants cultivated late in the season. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 3, n.1, p. 113–122, 2005.

DE SOUZA, A.; GARCIA, D.; SUEIRO, L.; GILART, F.; PORRAS, E.; LICEA, L. Pre-sowing magnetic treatments of tomato seeds increase the growth and yield of plants. **Bioelectromagnetics**, v. 27, p. 247–257, 2006.

DE SOUZA, A.; SUEIRO, L.; GARCIA, D.; PORRAS, E. Extremely low frequency non-uniform magnetic fields improve tomato seed germination and early seedling growth. **Seed Sci. Technol.** v. 38, p. 61–72, 2010.

EL-YAZIED, A. A.; SHALABY, O. A.; EL-GIZAWY, A. M.; KHALF, S. M.; EL-SATAR, A. Effect of magnetic field on seed germination and transplant growth of tomato. **The Journal of American Science**, v. 7, n. 12, p. 306-312, 2011.

FAOSTAT. Food and agricultura organization of the United Nation, statistical databases. [online, consulted in junho 2020]. <http://www.fao.org/> (2021).

FEIZI, H.; SAHABI, H.; MOGHADDAM, P. R.; SHAHTAHMASSEBI, N.; GALLEHGIR, O.; AMIRMORADI, S. Impact of intensity and exposure duration of magnetic field on seed germination of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). **Notulae Scientia Biologicae**, v. 4, n. 1, p. 116-120, 2012.

FERRONI, L. M., DOLZ, M. I., GUERRA, M. F., & MAKINISTIAN, L. Static magnetic field stimulates growth of maize seeds. arXiv preprint arXiv:2303.00512. 2023.

FLOREZ, M.; CARBONELL, M. V.; MARTINEZ, E. Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: effects on germination and early growth. **Environ. Exp. Bot.** v. 59, p. 68–75, 2007.

GALLAND, P.; PAZUR, A. Magnetoreception in plants. **J. Plant Res.** v. 118, p. 371–389, 2005.  
GEMISHEV, TZ.; TSOLOVA, K.; MARKOV, M., Static magnetic field influence on the activity of some respiratory enzymes in wheat. **Electo and Magnetibiology**, v. 13, n. 2, p. 107-115, 1994.

GILART GONZÁLEZ F. Determinación de las características de un imán permanente a partir de la medición de la inducción magnética sobre los polos en el eje. **Memorias del II Evento Internacional de Electromagnetismo Aplicado CNEA, Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado, Santiago de Cuba, Cuba**, 2007.

- GÓMEZ-LUNA, L.; ÁLVAREZ, I.; RIVERO, R. Culture of *Chlorella vulgaris* using soy waste and applying a magnetic field. Cultivo de *C. vulgaris* con soja y CM. **Rev. Colomb. Biotecnol.** v. 13, n. 2, p. 27-38, 2011.
- GUTZEIT, H. O. Biological effects of ELF-EMF enhanced stress response: New insights and new questions. **ElectroMagnetobiol.** v. 20, n. 1, p. 15–26, 2001.
- HELLAND, M.; WICKLUND, T.; NARVHUS, J. Effect of germination time on alpha-amylase production and viscosity of maize porridge. **Food Research International.** v.35, n. 2-3, p. 315-321, 2002.
- HERRERA, J.; ALIZAGA, R.; GUEVARA, E.; JIMÉNEZ, V. Germinación y crecimiento de la planta. **Elsevier Inc.** v. 4, 2006.
- HERRERA-RAMOS, M. V.; GARCÍA, D. J.; TORRES-OSORIO, J. I.; CEBALLOS, N. Efecto del campo magnético estático no homogéneo sobre la germinación y morfogénesis *in vitro* de *Solanum lycopersicum* L. **Tesis de graduación en Biología, Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia, 2020.**
- HERNANDEZ-AGUILAR, C.; DOMINGUEZ-PACHECO, A.; CARBALLO-CARBALLO, A.; CRUZ-OREA, A.; IVANOV, R.; LÓPEZ-BONILLA, J.; VALCARCEL-MONTAÑEZ, J. Alternating magnetic field irradiation effects on three genotype maize seed field performance. **Acta Agrophysica,** v. 14, n. 1, p. 7-18, 2009.
- HINCAPIÉ-LADINO, E.; TORRES-OSORIO, J.; BUENO-LOPEZ, L. Study of the Effect of Magnetic Stimulation of *Leucaena Leucocephala* (Lam.) of Wit Seeds. **Rev. Tecno Lógicas.** V.29, p. 33-47, 2012
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [online, consulted in junho 2020]. <https://www.ibge.gov.br/> (2020).
- JARAMILLO-GARZÓN, J. Algoritmo basado en inferencia bayesiana aplicado en tratamiento magnético de semillas. **ACTA del Primer Congreso Iberoamericano de Magnetobiología.** Octubre, 2019.
- JAVED, N.; ASHRAF, M.; AKRAM, N. A.; AL-QURAINY, F. Alleviation of adverse effects of drought stress on growth and some potential physiological attributes in maize (*Zea mays* L.) by seed electromagnetic treatment. **Photochem. Photobiol.** v. 87, p. 1354–1362, 2011.
- JAYASURIYA, K. M. G. G.; BASKIN, J. M.; GENEVE, R. L.; BASKIN, C. C. Morphology and anatomy of physical dormancy in *Ipomoea lacunosa*: identification of the water gap in seeds of Convolvulaceae (Solanales). **Annals of Botany,** v. 100, n. 1, p. 13-22, 2007.
- JEDLIČKA, J.; PAULEN, O.; AILER, Š. Research of effect of low frequency magnetic field on germination, growth and fruiting of field tomatoes. **Acta Horticulturae et Regiotecturae,** v. 18, n. 1, p. 1-4, 2015.



- JOSHI-PANERI, J., SHARMA, S., GURUPRASAD, K. N., & KATARIA, S. Enhancing the Yield Potential of Soybean after Magneto-Priming: Detailed Study on Its Relation to Underlying Physiological Processes. *Seeds*, v. 2, n. 1, p. 60-84, 2023.
- MACIEL, K. S.; LOPES, J. C.; COLA, M. P. A.; VENÂNCIO, L. P. Qualidade fisiológica de sementes de tomate. **Enciclopédia Biosfera**. v. 8, n. 44, p. 819-826, 2012.
- MADHAVAN, J.; ANAND, A. Exposure to magnetic fields reveals a positive effect on *in vitro* propagation of *Stevia rebaudiana* (Bertoni). **Sugar Tech**. v. 21, n.4, p. 691-695, 2019.
- MARCOS-FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. **Fundação de estudos agrários Luiz de Queiroz (FEALQ)**. 2005.
- MARTINEZ, E.; CARBONELL, M. V.; AMAYA, J. M. A static magnetic field of 125 mT stimulates the initial growth stages of barley (*Hordeum vulgare* L.). **Electromagn. Magnetobiol.** v. 19, p. 271–277, 2000.
- MARTÍNEZ, E.; CARBONELL, V.; FLÓREZ, M. Estimulación de la germinación y el crecimiento por exposición a campos magnéticos. **Investigación y Ciencia**. Septiembre. 2003.
- MARTÍNEZ, E.; CARBONELL, M. V.; FLÓREZ, M.; AMAYA, J. M.; MAQUEDA, R. Germination of tomato seeds (*Lycopersicon esculentum* L.) under magnetic field. **International Agrophysics**, v. 23, n.1, p. 45-49, 2009.
- MENEZES, S.; TILLMANN, M.; DODE, L.; VILLELA, F. Detecção de soja geneticamente modificada tolerante ao glifosato por métodos baseados na atividade de enzimas. **Revista Brasileira de Sementes, Pelotas**, v. 26, n.2, p. 150-155, 2004.
- MIETCHEN, D.; JAKOBI, J. W.; RICHTER, H. P. Cortex reorganization of *Xenopus laevis* eggs in strong static magnetic fields. **BioMagnetic Res. Technol.** p. 1–6, 2005.
- MILLA, J. M. C.; BALDERA, N. S.; HORNA, D. A. Efecto del campo magnético de imanes orientados según el campo terrestre en la germinación y crecimiento de la plántula de *Lycopersicon esculentum* Mill, “tomate”. **Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería**, v. 1, n. 2, p. 45-49, 2019.
- MOHAMMAD, K. A. & ABDULLAH, A. Effects of neodymium magneto-priming on seed germination and salinity tolerance in tomato. *Bioelectromagnetismo*, v. 44, n. 1-2, p. 47-56, 2023.
- MORALES-PALACIO, M. N.; ESPINOSA-LÓPEZ, G.; MORALES-ASTUDILLO, A. R.; SÁNCHEZ-MASACHE, B. R.; JIMÉNEZ-CASTILLO, A. M.; MILIÁN-GARCÍA, Y. Morphological characterization and resistance evaluation to *Fusarium oxysporum* in wild species *Solanum* genera *Lycopersicon* section. **Colombian Journal of Biotechnology**, v. 16, n. 1, p. 62-73, 2014.
- MORENO, F.; PLAZA, G. A.; MAGNITSKIY, S. V. Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). **Agronomía Colombiana**, v. 24, n. 2, p. 290-295, 2006.

- MOUSAVIZADEH, S. J.; SEDAGHATHOOR, S.; RAHIMI, A.; MOHAMMADI, H. Germination parameters and peroxidase activity of lettuce seed under stationary magnetic field. **International Journal of Biosciences**, v. 3, n. 4, p. 199-207, 2013.
- NAZ, A.; JAMIL, Y.; UL HAQ, Z.; IQBAL, M.; AHMAD, M. R.; ASHRAF, M. I.; AHMAD, R. Enhancement in the germination, growth and yield of Okra (*Abelmoschus esculentus*) using pre-sowing magnetic treatment of seeds. **Indian J. Biochem. Biophys.** v. 49, p. 211–214, 2012.
- NERY, M. C.; ROCHA, A. D. S.; PINHO, É. V. D. R. V.; SANTOS, H. O. D.; FIALHO, C. M. T.; NERY, F. C. Accelerated ageing test and behaviour investigation of isoenzymes in sesame seeds. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, 2018.
- PENG, Q. L.; MCMURRY, S. M.; COEY, J. M. D. Axial magnetic field produced by axially and radially magnetized permanent rings. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**. v. 268, p. 165-169, 2004.
- PÉREZ MENDOZA, C.; HERNÁNDEZ LIVERA, A.; GONZÁLEZ COSSIO, F. V.; GARCÍA DE LOS SANTOS, G.; CARBALLO CARBALLO, A.; VÁSQUEZ ROJAS, T. R.; TOVAR GÓMEZ, M. D. R. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. **Agricultura técnica en México**, v. 32, n. 3, p. 341-352, 2006.
- PERIGO, E. A.; FARIA, R. N.; MOTTA, C. C. General expression of the magnetic flux density produced by axially magnetized toroidal permanent magnets. **IEEE Transactions on Magnetics**. v. 43 n. 10, p. 3826-3832, 2007.
- PERLATA, I. E.; SPOONER, D. M. Historia, origen y cultivo temprano del tomate (Solanaceae). En: Rozdan MK, Matto AK (eds) Mejora genética de cultivos de solanáceas: tomate, vol 2. **Science Publishers, Enfield, NH**, p. 1–27, 2007.
- PIETRUSZEWSKI, S.; MUSZYNSKI, S.; DZIWULSKA, A., Electromagnetic field and electromagnetic radiation as non-invasive external stimulation for seeds (selected methods and responses). **International Agrophysics**, v. 21, p. 95–100, 2007.
- PODLEŚNY, J.; PIETRUSZEWSKI, S.; PODLEŚNA, A. Efficiency of the magnetic treatment of broad bean seeds cultivated under experimental plot conditions. **International Agrophysics**, v. 18, p. 65–71, 2004.
- POINAPEN, D.; BROWN, D. C. W.; BEEHARRY, G. K. Seed orientation and magnetic field strength have more influence on tomato seed performance than relative humidity and duration of exposure to non-uniform static magnetic fields. **J. Plant Physiol.** v. 170, p. 1251–1258, 2013.
- PONOMAREV, O. A.; FESENKO, E. E. The properties of liquid water in electric and magnetic fields. **Biofizika**, v. 45, p. 389–398, 2000.
- QUEIROZ, S. E. E.; DA SILVA, E. A. A.; DAVIDE, A. C., JOSÉ, A. C.; SILVA, A. T., FRAIZ, A. C. R.; FARIA, J. M. R.; HILHORST, H. W. M. Mechanism and control of *Genipa americana* seed germination. **Physiologia Plantarum**, v. 144, n. 3, p. 263–276, 2012.

SAUNDERS, R. Static magnetic fields: animal studies. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, v. 87, p. 225-239, 2005.

SCHEEREN, B. R., PESKE, S. T., SCHUCH, L. O. B., & BARROS, A. C. A. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, p. 35-41, 2010.

SCHRÖDER, R.; ATKINSON, R. G.; REDGWELL, R. J. Re-interpreting the role of endo- $\beta$ -mannanases as mannan endotransglycosylase/hydrolases in the plant cell wall. **Annals of Botany**, v.104, n.2, p.197-204, 2009.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. Física para ciencias e ingeniería: Volumen 1. **Cengage Learning**. 2008.

SHINE, M.; GURUPRASAD, K.; ANAND, A. Enhancement of germination, growth, and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field. **Bioelectromagnetics**, v. 32, p. 474–484, 2011.

SHINE, M.; GURUPRASAD, K.; ANAND, A. Effect of stationary magnetic field strengths of 150 and 200 mT on reactive oxygen species production in soybean. **Bioelectromagnetics**, v. 33, p. 428–437, 2012.

SOCORRO, A.; GARCÍA, F. Simulation of magnetic field effect on a seed embryo cell. **International Agrophysics**, v. 26, p. 167-173, 2012.

SOURCE, S. Solanaceae Source A global taxonomic resource for the nightshade Family. 2021.  
TAVARES, L., TUNES, L., LEMES, E., SALINAS, J., & BARROS, A. C. alteraciones fisiológicas y enzimáticas en semillas de trigo (*triticum aestivum* L.) recubiertas con silicio. **Brazilian Journal of Agriculture**, v. 89, n. 3, p. 199-211, 2014.

TOOROP, P. E., VAN AELST, A. C., & HILHORST, H. W. The second step of the biphasic endosperm cap weakening that mediates tomato (*Lycopersicon esculentum*) seed germination is under control of ABA. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 349, p. 1371–1379, 2000.

TORRES-OSORIO, J.; ARANZAZU-OSORIO, J.; CARBONELL-PADRINO, M. Static homogeneous magnetic field effects on germination and water absorption in soybean seeds. **Tecno Lógicas**, v. 18, n. 35, p. 11-20, 2015.

TORRES, J.; HINCAPIE, E.; GILART, F. Characterization of magnetic flux density in passive sources used in magnetic stimulation. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 449, p. 366-371, 2018.

TORRES-OSORIO, J.; SABOGAL-SUÁREZ, D.; ALZATE-CARDONA, J.; RESTREPO-PARRA, E. MFV: Application software for the visualization and characterization of the DC magnetic field distribution in circular coil systems. **Journal of Computation Methods in Sciences and Engineering**. v. 21, p. 511-519, 2020.

VAN, P. T.; TEIXEIRA DA SILVA, J. A.; HAM, L. H.; TANAK, M. Effects of permanent magnetic fields on the proliferation of *Phaenopsis* protocorn-like bodies using liquid medium. **Scientia Horticulture**, v. 128, p. 479-484, 2011.

VASHISTH, A.; NAGARAJAN, S. Exposure of seeds to static magnetic field enhances germination and early growth characteristics in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Bioelectromagnetics**, v. 29, n. 7, p. 571-578, 2008.

VASHISTH, A.; NAGARAJAN, S. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. **J. Plant Physiol.** v. 167, p. 149–156, 2010.

VASHISTH, A.; NAGARAJAN, S. Characterization of water distribution and activities of enzymes during germination in magnetically-exposed maize (*Zea mays* L) sedes. **Indian Journal of Biochemistry & Biophysics**, v. 47, p. 311-318, 2010.

VASHISTH, A.; KUMAR, D. Growth characteristics of maize seeds exposed to magnetic field. **Bioelectromagnetics**, v. 38, n. 2, p. 151-157, 2016.

WANG, Y.; HECKE, A.; HAUSTER, B. (2014). The APX4 locus regulates seed vigor and seedling growth in *Arabidopsis thaliana*. **Planta**, v. 239, n. 4, p. 909-919, 2014.

YOUNG, H.; FREEDMAN, R. Física Universitaria, vol. 2. **Editorial Prentice Hall. México.** Decimosegunda edición. 2009.

**CAPÍTULO II: EFEITO DO MAGNETOPRIMING SOBRE A QUALIDADE FISIOLÓGICA E EXPRESSÃO ENZIMÁTICA EM SEMENTES HÍBRIDAS DE TOMATE**

## 1. INTRODUÇÃO

O tomate é uma hortaliça de importância para a alimentação humana e também no aspecto socioeconômico. A cultura é propagada por meio de sementes, por meio das quais são produzidas mudas com o posterior transplântio destas em campo. Sabe-se que a qualidade fisiológica das sementes influencia no crescimento e desenvolvimento das plantas e conseqüentemente na produtividade desta cultura. Neste contexto, busca-se o desenvolvimento e aplicação de tecnologias inovadoras e ecologicamente corretas que acelerem a germinação, incrementem o vigor e minimizem a deterioração das sementes, entre outras características que promovam a sustentabilidade da indústria sementeira. (VASHISTH e NAGARAJAN, 2010).

Uma destas tecnologias é o magnetopriming, que é um condicionamento baseado no tratamento magnético de sistemas biológicos. Geralmente é feito como um pré-tratamento antes da semeadura e tem propiciado o aumento da porcentagem e velocidade de germinação, dos comprimentos e massas das plântulas, e mudanças da expressão de enzimas associadas à qualidade fisiológica de sementes. (ARANZAZU-OSORIO, 2019; CARBONELL et al., 2011; FLOREZ et al., 2007; MARTINEZ et al., 2000; VASHISHT e KUMAR, 2016; VASHISTH e NAGARAJAN, 2010). Infere-se por meio dos efeitos positivos anteriormente mencionados que esta técnica possa aprimorar a qualidade fisiológica em sementes. No entanto, são poucas as pesquisas que relacionem o magnetopriming em sementes de tomate com o genótipo, armazenamento e expressão de enzimas. Assim, no presente estudo objetivou-se avaliar o efeito do magnetopriming sobre a qualidade fisiológica e expressão de enzimas em sementes híbridas de dois genótipos de tomate, em dois períodos de armazenamento.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no Laboratório Central de Pesquisa de Sementes e em casa de vegetação do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais, Brasil.

Foram utilizadas sementes híbridas de duas cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), IBIZA e FARO, produzidas no Centro de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia da UFPA, no município de Ijaci, Minas Gerais, na mesma safra e sob as mesmas condições edafoclimáticas.

O genótipo Ibiza caracteriza-se por ser tomate de mesa, produto híbrido F1 (UQMS-685-hip.verde x TOM-695) com frutos tipo Santa Cruz e hábito de crescimento indeterminado, com resistência a *Verticillium*, *Fusarium* raça 1, *Stemphylium*, *Pseudomonas Syringae* Patovar Tomato, *Tospovirus* (vira-cabeça), Nematoides (*Meloidogyne incógnita* e *Meloidogyne javanica*), e *Begomovirus*. Já o genótipo Faro é tomate industrial, produto híbrido F1 (TOM-717 x TOM-564) com frutos multiloculares, graúdos e hábito de crescimento indeterminado, com resistência a *Verticillium*, *Fusarium* raças 1 e 2, *Stemphylium*, Nematoides (*Meloidogyne incógnita* e *Meloidogyne javanica*), e *Begomovirus*.

Parte das sementes de ambas as cultivares, foi exposta ao campo magnético de 100 mT durante o tempo de exposição selecionado (60 minutos) e posteriormente submetida ao condicionamento fisiológico. Parte das sementes não foi submetida ao campo magnético.

As sementes submetidas aos diferentes tratamentos foram avaliadas quanto à qualidade fisiológica por meio de testes de germinação, vigor, em dois períodos de armazenamento. Foi avaliada ainda a expressão de enzimas associadas à respiração e sistema antioxidante.

## 2.1. Seleção da dose magnética

Foi realizado um pré-teste em que as sementes de cada genótipo foram expostas em campo magnético de 100 mT durante três diferentes tempos de exposição: 14 minutos (B14), 60 minutos (B60), 120 minutos (B120). Para o tratamento controle não houve exposição magnética. Essas três doses magnéticas foram selecionadas em base em resultados encontrados no grupo de investigação de campos eletromagnéticos, saúde pública e meio ambiente da Universidade de Caldas da Colômbia, e as outras duas doses foram selecionadas de acordo com dados observados na literatura, por diferentes pesquisadores. Assim as sementes de tomate, de cada genótipo, foram submetidas a

oito tratamentos como ilustrado na **Tabela 3**, em que foram combinados tempos de exposição e seu respectivo controle, com a presença e ausência do acondicionamento fisiológico.

**Tabela 5.** Tratamentos com campo magnético e priming para cada genótipo de sementes de tomate.

		Sem exposicón magnética	Tempos de exposiçãõ ao campo magnético		
			14 min	60 min	120 min
Condicionamento	Sem	Tratamento 1 Ctl	Tratamento 2 B14	Tratamento 3 B60	Tratamento 4 B120
	Com	Tratamento 5 P Ctl	Tratamento 6 P B14	Tratamento 7 P B60	Tratamento 8 P B120

Onde Controle (Ctl); Campo magnético (B), com priming (P).

Fonte: Da autora (2023).

As sementes submetidas aos diferentes tratamentos foram avaliadas por meio de testes de germinação com um tamanho experimental de quatro repetições de 100 sementes, no início e após três meses de armazenamento. Encontrando-se maiores valores de germinação, massa fresca, e comprimentos da raiz e total na dose magnética submetida durante 60 minutos (B60) em comparação com as outras doses magnéticas com diferentes tempos de exposição (B14 e B120) e controle. Por essa razão foi selecionada a dose magnética com tempo de exposição de 60 minutos (B60) para realizar os testes de germinação, emergência de plântulas e análises enzimáticas encontrados neste capítulo.

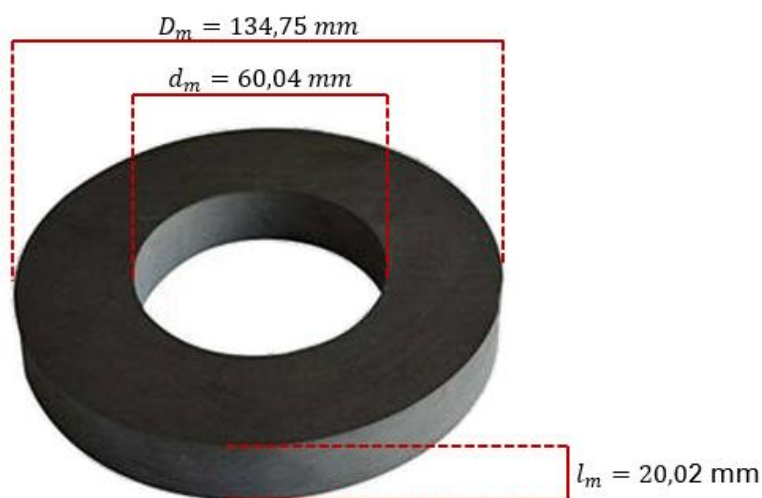
## 2.2. Tratamento das sementes em campo magnético:

Por meio das **Figuras 2 e 3** é possível visualizar a geração do campo magnético utilizado na pesquisa. Foi gerado com um ímã dipolar toroidal de cerâmica - ferrite, magnetizado através de sua espessura com as seguintes características: 134.75 mm de diâmetro externo ( $D_m$ ), 60.04 mm de diâmetro interno ( $d_m$ ) e 20.02 mm de espessura ( $l_m$ ) com indução de campo magnético ( $B$ ) nominal de 100 mT. A caracterização do campo magnético foi feita com um teslâmetro, com sonda



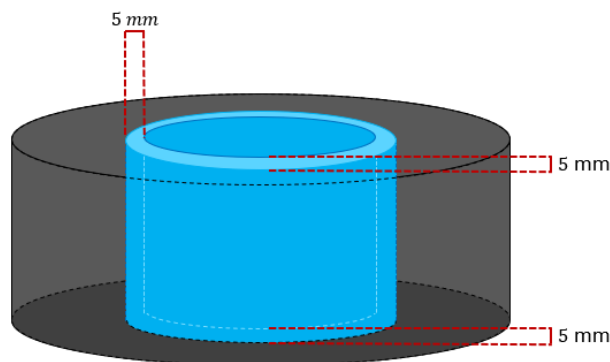
transversal e longitudinal de resolução de 0,1 mT. Durante a exposição magnética das sementes, o ímã foi posicionado com a polaridade norte na face superior do toróide, e as sementes foram acondicionadas no orifício do ímã com ajuda de um suporte de nylon para assegurar que todas as sementes de tomate fossem submetidas ao mesmo gradiente magnético, entre 118,43 e 40,10 mT. O material do suporte foi o nylon, material que não vai interromper o campo magnético estático não homogêneo gerado pelo ímã.

**Figura 2.** Imagem do ímã, campo magnético nominal de 100 mT com seus respectivos comprimentos.



Fonte: Da autora (2023).

**Figura 3.** Representação gráfica do suporte em nylon sinalado de cor azul dentro do ímã, onde vão ser tratadas as sementes com campo magnético.



Fonte: Da autora (2023).

### **2.3. Tratamento das sementes ao priming:**

Após as sementes foram submetidas aos diferentes tempos de exposição magnética, 0 e 60 minutos, parte das sementes de cada genótipo foi submetida ao condicionamento fisiológico nas seguintes condições: imersão em água destilada durante 24 horas (HARRIS et al., 2022) em uma câmara modificada de germinação BOD (Biochemical Oxygen Demand), com fluxo constante de oxigênio nas sementes, a 20 °C, e ausência de luz.

Após o condicionamento fisiológico, as sementes foram secadas superficialmente com papel toalha, e posteriormente foram submetidas a secagem.

### **2.4. Secagem, embalagem e armazenamento**

As sementes foram secadas em uma estufa de circulação forçada de ar à 35°C até atingirem teor de água de 6 % (EMBRAPA, 2006). Parte das sementes foi submetida à avaliação logo após a secagem e a outra parte foi embalada em embalagens, apropriadas para sementes de hortaliças, impermeáveis e aluminizadas. O armazenamento foi feito por período de três meses em uma câmara fria a 10 °C e umidade relativa de 50 %.

### **2.5. Teste de germinação**

Foi conduzida com três repetições de 100 sementes, distribuídas em caixas gerbox para cada tratamento, contendo duas folhas de papel mata borrão umedecidas com água destilada na proporção 2,5 vezes o peso seco do papel. As caixas foram acondicionadas em câmaras de germinação BOD (Biochemical Oxygen Demand) a 20-30 °C com fotoperíodo de 16/8 horas (escuro/luz) durante 14 dias (BRASIL, 2009). Além disso, foram semeadas quatro repetições de 10 sementes com a finalidade de ser avaliadas por meio de análise de imagem, Ground Eye ®, aos 14

dias desde a semeadura. Foi avaliada a porcentagem de germinação (%G) e índice de velocidade de germinação IVG (MAGUIRE, 1962).

O comprimento das plântulas foi avaliado por meio de um sistema de análise de imagem GroundEye®. A massa fresca foi obtida por meio de pesagem de toda a parte aérea e radícula da plântula, realizada em balança de precisão com resolução de 0.001 g, e a massa seca foi obtida após secagem realizada em estufa de circulação forçada de ar à 35 °C até as massas das plântulas não sofrerem mais variações. As sementes de tomate foram consideradas germinadas quando a radícula atingiu 1 mm de comprimento (FLOREZ et al., 2016).

$$\% G = \left( \frac{\sum n_i}{N} \times 100 \right) \quad \text{Equação 1.}$$

$$IVG = \left( \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_N}{N_N} \right) \quad \text{Equação 2.}$$

Onde  $G_1 + G_2 + \dots + G_N$  é o número de plântulas normais computadas na primeira contagem, na segunda contagem e assim por diante até a última contagem.  $N_1 + N_2 + \dots + N_N$  é o número de dias da semeadura à primeira, à segunda e assim por diante até a última contagem.

## 2.6. Teste de emergência de plântulas

Foi conduzida com três repetições de 100 sementes distribuídas em bandejas para mudas, contendo o substrato Maxfértil para plantas (misto, com composição: casca de Pinus, fosfato natural, casca de arroz carbonizada, vermiculita, e adubo químico NPK), em casa de vegetação. A irrigação foi feita quando necessária, para manter a capacidade de retenção de água de 70%.

Foram avaliados índices de velocidade de emergência conforme ao sugerido por Maguire (1962), comprimento de plântula, massa seca e fresca das plântulas. O comprimento das plântulas foi avaliado por meio de um sistema de análise de imagem Ground Eye®. A massa fresca foi obtida por meio de pesagem de toda a parte aérea e radícula da plântula, realizada em balança de precisão

com resolução de 0.001 g, e a massa seca foi obtida após secagem realizada em estufa de circulação forçada de ar à 35 °C até as massas das plântulas não sofrerem mais variações.

$$\% E = \left( \frac{\sum n_i}{N} \times 100 \right) \quad \text{Equação 3.}$$

$$IVE = \left( \frac{E_1}{N_1} + \frac{E_2}{N_2} + \dots + \frac{E_N}{N_N} \right) \quad \text{Equação 4.}$$

## 2.7. Análises enzimáticas

Para a análise das enzimas, 600 mg de sementes, por tratamento, foram maceradas em cadinho contendo nitrogênio líquido e antioxidante PVP (polivinil pirrolidona), e armazenadas no deep freezer a -80 °C.

Foram avaliadas cinco proteínas: duas proteínas associadas ao sistema antioxidante, superóxido dismutase (SOD), e catalase (CAT), duas proteínas associadas à respiração, malato desidrogenase (MDH) e álcool desidrogenase (ADH), e a enzima esterase (EST).

O tampão utilizado para extrair as enzimas foi Tris HCl 0,2 M (pH 8), com 0,1 % de mercaptoetanol adicionado na proporção de 300 µL por 100 mg de sementes. O material foi homogeneizado em vórtex e mantido em geladeira Over-Night, seguido de centrifugação a 14.000 rpm por 60 minutos a 4°C. Foram utilizados géis de poli-acrilamida para isoenzimas NATIVA PAGE, a 7,5% (gel de separação) e 4,5% (gel de concentração) para a corrida eletroforética. O sistema gel/eletrodo utilizado foi tris-glicina (pH 8,9) e a corrida eletroforética foi realizada a 150 V por 6 horas.

As revelações das enzimas foram feitas seguindo os protocolos de Alfenas et al. (1991), no caso da CAT e EST foi usado o método 2, e para a MDH foi usado β-NAD em vez de NAD<sup>+</sup>. Foi feito um registro fotográfico dos géis com ajuda de uma câmera CANON EOS Rebel T5 com um lente 18-55 mm e ISSO 100. Para a análise dos sistemas enzimáticos, foi realizada a interpretação visual dos géis de eletroforese, levando em consideração a presença/ausência, assim como

intensidade de cada uma das bandas. Também foi utilizada as análises de imagem por meio do software ImageJ ®.

## 2.8. Análises de imagem no Ground Eye ®

As configurações de análise no Ground Eye foram as seguintes:

- Equipamento: GroundEye S800 – SN 29
- Calibração da cor de fundo: Modelo HSV  
Saturação: 0,699 – 1,000  
Brilho: 0,000 – 1,000  
Matriz 174,9 – 244,9
- Parâmetros: Tipo, plântulas de hortaliças

## 2.9. Análises estatísticas

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial genótipo x priming x campo magnético. Os dados foram submetidos à teste de Shapiro Wilk para verificação de normalidade e, caso a normalidade não foi observada, foram transformados ao arco seno da raiz de  $x/100$  sendo novamente testados quanto à normalidade. Dados normais ou normalizados após transformação foram analisados por ANOVA e teste de Tukey a 5% de probabilidade quando verificada diferença entre os tratamentos. Dados não normalizados mesmo após a transformação, foram analisados por meio de Modelos Lineares Generalizados (GLM) e se verificada diferenças entre os tratamentos, as medias foram também comparadas com teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises foram feitas pelo software R for Windows (R Core Team, 2023).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Teste de germinação

Em relação às porcentagens de germinação e índice de velocidade de germinação (**Tabelas 4 e 6**) em t0, logo após serem submetidas ao campo magnético e priming, houve interação significativa para os fatores genótipo x priming, sendo que maior germinação foi observada em sementes submetidas ao priming para ambas as cultivares. Além disso, foi observada maior porcentagem de germinação das sementes da cultivar Ibiza em relação da cultivar Faro quando as sementes não foram submetidas ao priming. Já após o priming não houve diferença entre os valores observados. Isto pode ser explicado pelo fato de as sementes de médio vigor, Faro, responderem de forma positiva ao priming.

Após de três meses de armazenamento para esta mesma variável, **Tabela 5**, houve diferença significativa para a interação genótipo x priming x campo magnético. Para a cultivar Faro houve resposta positiva do priming em sementes submetidas ou não ao campo magnético. Já em sementes da cultivar Ibiza não houve efeito do priming em sementes submetidas ou não ao campo magnético. Como já mencionado, as sementes da cultivar Ibiza já se encontravam com alta qualidade fisiológica, o que justifica este resultado com exceção dos resultados observados em sementes desta cultivar Ibiza, submetidas ao priming, e expostas ao campo magnético por 60 minutos influenciou negativamente a germinação das sementes. Sementes da cultivar Ibiza, mesmo sendo produzidas nas mesmas condições edafoclimáticas apresentaram-se com qualidade fisiológica superior.

**Tabela 6.** Médias de porcentagens de germinação em sementes de tomate das cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming no tempo de armazenamento 0.

t0-%G		Priming					
		Sem			Com		
Genótipo	Faro	67,50	B	b	96,66	A	a
	Ibiza	89,50	A	b	96,50	A	a

Médias seguidas pela letra maiúscula compara na coluna e minúscula compara na linha, na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade

Onde: Porcentagem de germinação (%G), sem tempo de armazenamento (t0). Fonte: Da autora (2023)

**Tabela 7.** Médias de porcentagens de germinação em sementes de tomate das cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético, após de 3 meses de armazenamento.

t3-%G	Geno	Campo Magnético	Priming			
			Sem		Com	
Faro		Ctl	69	b A <sup>1</sup>	89	a A <sup>3</sup>
		B60	65	a B <sup>2</sup>	61	b B <sup>4</sup>
Ibiza		Ctl	99	a A <sup>1*</sup>	96	a A <sup>3*</sup>
		B60	94	a B <sup>2*</sup>	97	a A <sup>4*</sup>

Médias seguidas pela letra minúscula compara na linha, letra maiúscula compara na coluna, e mesmo número compara a exposição magnética e priming entre genótipos (\* representa diferença) na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: Porcentagem de germinação (%G), três meses de armazenamento (t3), genótipo (Geno), presença (com) e ausência (sem) de priming, sem exposição magnética (Ctl), e exposição magnética por 60 min (B60). Fonte: Da autora (2023)

Após de três meses de armazenamento, **Tabela 7**, houve diferenças significativas para a interação genótipo x priming x campo magnético. Foi observado, em ambos os genótipos, independentemente de as sementes serem submetidas ao priming ou não, menor índice de velocidade de germinação quando as sementes foram expostas ao campo magnético. Em sementes da cultivar Ibiza, submetidas ou não ao campo magnético e em sementes da cultivar Faro submetidas ao campo magnético, não houve influência positiva do priming. Esta influência positiva ocorreu apenas em sementes da cultivar Faro, não expostas ao campo magnético (**Tabela 7**). Assim, infere-se que a exposição ao campo magnético para esta variável, em sementes de tomate armazenada por três meses não favorece germinação mais rápida, em sementes de qualidade intermediária.

**Tabela 8.** Médias de índices de velocidades de germinação em sementes de tomate das cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming no tempo de armazenamento 0.

t0-IVG	Genótipo	Priming			
		Sem		Com	
	Faro	12,5633	B b	22,2850	A a
	Ibiza	22,0150	A b	23,5816	A a

Médias seguidas pela letra maiúscula compara na coluna e minúscula compara na linha, na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade

Onde: Índice de velocidade de germinação (IVG), sem tempo de armazenamento (t0), presença (Com) e ausência (Sem) de priming. Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 9.** Médias de índices de velocidades de germinação em sementes de tomate das cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético, após de 3 meses de armazenamento.

t3-IVG	Geno	Campo Magnético	Priming			
			Sem		Com	
Faro		Ctl	11,51	b A <sup>1</sup>	20,52	a A <sup>3</sup>
		B60	10,47	a B <sup>2</sup>	10,93	a B <sup>4</sup>
Ibiza		Ctl	19,98	a A <sup>1*</sup>	19,94	a A <sup>3</sup>
		B60	18,21	a B <sup>2*</sup>	18,84	a B <sup>4*</sup>

Médias seguidas pela letra minúscula compara na linha, letra maiúscula compara na coluna, e mesmo número compara a exposição magnética e priming entre genótipos (\* representa diferença) na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: Índice de velocidade de germinação (IVG), três meses de armazenamento (t3), genótipo (Geno), presença (com) e ausência (sem) de priming, sem exposição magnética (Ctl), e exposição magnética por 60 min (B60). Fonte: Da autora (2023).

Para os comprimentos de hipocótilo, raiz e total de plântulas avaliadas em t0, houve diferença significativa para o fator genótipo, observando-se um aumento de mais de 25 % desses comprimentos na cultivar Ibiza em relação a cultivar Faro. Também para comprimentos de raiz e total nesse mesmo tempo avaliado houve diferença significativa no fator priming, observando-se comprimentos maiores a 30 % quando as sementes foram submetidas ao priming. Além disso, para o comprimento do hipocótilo após de três meses de armazenamento houve diferença para o fator campo magnético, observando-se um 15 % de comprimento maior quando as sementes foram expostas ao campo magnético.

Em relação aos comprimentos radicular, avaliados aos três meses de armazenamento houve resposta significativa e positiva em sementes da cultivar Faro submetidas ao priming, em relação a cultivar Ibiza (**Tabela 8**). Para esta mesma variável houve efeito positivo do campo magnético para a cultivar Ibiza, o que não foi observado para a cultivar Faro (**Tabela 9**). Na ausência de exposição ao campo magnético foram observados os maiores valores de comprimento de radícula em plântulas da cultivar Faro. Em sementes armazenadas por três meses houve efeito positivo do priming sobre o comprimento total de plântulas da cultivar Faro (**Tabela 10**). Isto fica claro, ao analisar os dados quando, observa-se menores valores para cultivar Faro, em sementes não submetidas ao priming. Entretanto, quando as sementes foram submetidas ao priming não houve



diferenças do comprimento total de plântulas entre as duas cultivares estudadas. Também a exposição das sementes da cultivar Ibiza ao campo magnético por 60 minutos, favoreceu o crescimento total de plântulas, o que não foi observado para a cultivar Faro. Isto fica claro quando se compara os resultados observados para as cultivares, quando as sementes não foram expostas ao campo magnético; nesta condição houve maior crescimento de plântulas da cultivar Faro (**Tabela 11**).

**Tabela 10.** Resultados médios de comprimentos radiculares das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, após de 3 meses de armazenamento.

t3-Raiz		Priming			
		Sem		Com	
Genótipo	Faro	4,7187	A b	6,3700	A a
	Ibiza	5,7975	A a	4,9012	B a

Médias seguidas pela letra maiúscula compara na coluna e minúscula compara na linha, na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade

Onde: comprimento da raiz (Raiz), três meses de armazenamento (t3), presença (Com) e ausência (Sem) de priming.

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 11.** Resultados médios de comprimentos radiculares das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao campo magnético, após de 3 meses de armazenamento.

t3-Raiz		Genótipo			
		Faro		Ibiza	
Campo magnético	Ctl	6,2150	A a	3,7350	B b
	B60	4,8737	A b	6,9637	A a

Médias seguidas pela letra maiúscula compara na coluna e minúscula compara na linha, na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade

Onde: comprimento da raiz (Raiz), três meses de armazenamento (t3), sem exposição magnética (Ctl), exposição magnética por 60 min (B60).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 12.** Resultados médios de comprimentos totais das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, após de três meses de armazenamento.

t3-Total		Priming			
		Sem		Com	
Genótipo	Faro	6,7512	B b	8,9550	A a
	Ibiza	8,1012	A a	7,3537	A a

Médias seguidas pela letra maiúscula compara na coluna e minúscula compara na linha, na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: comprimento total (Total), três meses de armazenamento (t3), presença (Com) e ausência (Sem) de priming.

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 13.** Resultados médios de comprimentos totais das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao campo magnético, após de três meses de armazenamento.

t3-Total		Genótipo			
		Faro		Ibiza	
Campo magnético	Ctl	8,4650	A a	5,7737	B b
	B60	7,2412	A b	9,6812	A a

Médias seguidas pela letra maiúscula compara na coluna e minúscula compara na linha, na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

comprimento total (Total), três meses de armazenamento (t3), sem exposição magnética (Ctl), exposição magnética por 60 min (B60).

Fonte: Da autora (2023).

Para a variável massa fresca de plântulas, houve interação tripla significativa para os fatores genótipo x priming x campo magnético, quando a avaliação foi realizada após a exposição aos tratamentos (t0), o priming, favoreceu o acúmulo da massa fresca de plântulas em ambas as cultivares, quando as sementes foram submetidas ao campo magnético por 60 minutos e para a cultivar Ibiza na ausência do tratamento em campo magnético (**Tabela 12**). No entanto, para a cultivar Ibiza o efeito do campo magnético foi positivo, se associado ao priming. Com priming, na presença ou não do tratamento em campo magnético, maiores valores de massa fresca de plântulas foram observados para a cultivar Ibiza. Já na ausência do priming, a superioridade para esta variável, foi observada para a cultivar Faro. Assim a exposição das sementes de ambas as cultivares ao campo magnético, foi positiva ou não influencia no acúmulo de massa fresca das plântulas.

**Tabela 14.** Resultados médios de massas frescas das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético, no tempo de armazenamento 0.

		Priming								
		Geno	Magneto	Sem			Com			
t0-MF	Faro	Ctl	0,0263	a	A	<sup>1</sup>	0,0230	a	B	<sup>3</sup>
		B60	0,0244	b	A	<sup>2</sup>	0,0394	a	A	<sup>4</sup>
	Ibiza	Ctl	0,0187	b	B	<sup>1*</sup>	0,0305	a	A	<sup>3*</sup>
		B60	0,0243	b	A	<sup>2</sup>	0,0296	a	A	<sup>4*</sup>

Médias seguidas pela letra minúscula compara na linha, letra maiúscula compara na coluna, e mesmo número compara a exposição magnética e priming entre genótipos (\* representa diferença) na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: massa fresca (MF), sem tempo de armazenamento (t0), genótipo (Geno), presença (com) e ausência (sem) de priming, exposição magnética (Magneto), sem exposição magnética (Ctl), e exposição magnética por 60 min (B60).

Fonte: Da autora (2023).

Após três meses de armazenamento, houve interação entre os fatores genótipo x priming, para massa fresca. Também houve significância para o tratamento em campo magnético. Houve influência positiva do priming sobre a cultivar Ibiza e sendo que na ausência do priming houve maior massa fresca em plântulas da cultivar Faro (**Tabela 13**). Importante ressaltar que para esta variável, foram observados maiores valores em sementes submetidas ao campo magnético por 60 minutos em relação ao controle, 0.0378 e 0.0340, respectivamente.

**Tabela 15.** Resultados médios de massas frescas das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, após de três meses de armazenamento.

t3-MF		Priming					
		Sem			Com		
Genótipo	Faro	0,0392	A	a	0,0373	A	a
	Ibiza	0,0302	B	b	0,0370	A	a

Médias seguidas pela letra maiúscula compara na coluna e minúscula compara na linha, na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: massa fresca (MF), três meses de armazenamento (t3), presença (Com) e ausência (Sem) de priming.

Fonte: Da autora (2023).

Para a variável matéria seca de plântulas, ao comparar as cultivares, maiores valores foram observados para a cultivar Ibiza, quando submetidas ao priming em t0, **Tabela 14**, mas na ausência dele houve maiores valores para a cultivar Faro. O priming parece ter sido negativo para a cultivar Faro. Importante observar que ao avaliar os resultados da interação, priming x campo magnético,

a exposição das sementes ao campo magnético foi positiva quando as sementes foram submetidas ao priming (**Tabela 15**). Ainda para matéria seca, quando a avaliação foi feita aos três meses, houve significância para a interação tripla. Houve efeito positivo do tratamento em campo magnético, para a cultivar Faro, quando submetidas também ao priming (**Tabela 16**). Para a cultivar Ibiza não houve diferença significativa. Quando as sementes da cultivar Faro foram submetidas ao campo magnético foram observados maiores valores de massa seca de plântulas em relação aos observados para a cultivar Ibiza.

Ressalta-se que os resultados apresentados na sequência são de variáveis avaliadas em casa de vegetação, como descrito no descrito no material e métodos.

**Tabela 16.** Resultados médios de massas secas das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, no tempo de armazenamento 0.

t0-MS		Priming					
		Sem			Com		
Genótipo	Faro	0,0021	A	a	0,0017	B	b
	Ibiza	0,0019	B	a	0,0019	A	a

Médias seguidas pela letra maiúscula compara na coluna e minúscula compara na linha, na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: massa seca (MS), sem tempo de armazenamento (t0), sem tempo de armazenamento (t0), em presença (Com) e ausência (Sem) de priming.

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 17.** Resultados médios de massas secas das plântulas de tomate para as sementes submetidas ao priming e campo magnético, no tempo de armazenamento 0.

t0-MS		Priming					
		Sem			Com		
Campo magnético	Ctl	0,0021	A	a	0,0017	B	b
	B60	0,0020	A	a	0,0019	A	b

Médias seguidas pela letra maiúscula compara na coluna e minúscula compara na linha, na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: massa seca (MS), sem tempo de armazenamento (t0), em presença (Com) e ausência (Sem) de priming, sem tempo de armazenamento (t0), sem exposição magnética (Ctl), e exposição magnética por 60 min (B60).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 18.** Resultados médios de massas secas das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, após de três meses de armazenamento.

		Priming								
		Geno	Magneto	Sem			Com			
t3-MS	Faro	Ctl	0,0021	a	A	<sup>1</sup>	0,0016	b	B	<sup>3</sup>
		B60	0,0022	a	A	<sup>2</sup>	0,0023	a	A	<sup>4</sup>
	Ibiza	Ctl	0,0021	a	A	<sup>1</sup>	0,0021	a	A	<sup>3*</sup>
		B60	0,0020	a	A	<sup>2*</sup>	0,0020	a	A	<sup>4*</sup>

Médias seguidas pela letra minúscula compara na linha, letra maiúscula compara na coluna, e mesmo número compara a exposição magnética e priming entre genótipos (\* representa diferença) na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: massa seca (MS), sem tempo de armazenamento (t0), genótipo (Geno), presença (com) e ausência (sem) de priming, exposição magnética (Magneto), sem exposição magnética (Ctl), e exposição magnética por 60 min (B60).Fonte: Da autora (2023).

### 3.2. Teste de emergência de plântulas:

Em relação à porcentagem de emergência de plântulas no início do armazenamento, t0, houve significância para o fator genótipo, onde a cultivar Ibiza apresentou uma porcentagem maior a 20 % em relação a cultivar Faro. Já aos três meses de armazenamento, **Tabela 17 e 18**, houve efeito significativo para as interações genótipo x priming, e genótipo x campo magnético. Maiores porcentagens foram obtidas para o genótipo Ibiza, tanto em presença como ausência de priming. Para o genótipo Faro a maior porcentagem foi verificada em sementes submetidas ao priming. Já para Ibiza não houve diferença nestes valores quando sementes foram ou não submetidas ao priming, **Tabela 17**. A menor resposta do priming das sementes da cultivar Ibiza pode ser atribuída à melhor qualidade fisiológica.

**Tabela 19.** Médias de porcentagens de emergência das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, após de 3 meses de armazenamento.

t3-%E		Priming					
		Sem			Com		
Genótipo	Faro	59	B	b	85	B	a
	Ibiza	95	A	a	93	A	a

Médias seguidas pela letra maiúscula compara na coluna e minúscula compara na linha, na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: Porcentagem de emergência (%E), três meses de armazenamento (t3), presença (Com) e ausência (Sem) de priming. Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 20.** Médias de porcentagens de emergência das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao campo magnético, após de 3 meses de armazenamento.

t3-%E		Genótipo					
		Faro			Ibiza		
Campo magnético	Ctl	74	A	b	94	A	a
	B60	70	B	b	94	A	a

Médias seguidas pela letra maiúscula compara na coluna e minúscula compara na linha, na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: Porcentagem de emergência (%E), três meses de armazenamento (t3), sem exposição magnética (Ctl), e exposição magnética por 60 min (B60). Fonte: Da autora (2023).

Com sementes da cultivar Faro houve menor emergência de plântulas quando as sementes foram expostas ao campo magnético. Já para a cultivar Ibiza não houve diferenças entre os tratamentos controle e exposição ao campo magnético. Em relação ao índice de emergência, no início e após de três meses de armazenamento, houve diferenças significativas para a interação genótipo x priming x campo magnético. Quando as sementes foram semeadas antes do armazenamento, t0, maiores índice de velocidade de emergência de plântulas foram observadas para a cultivar Faro quando as sementes foram submetidas ao priming e expostas ao campo magnético. O que não foi observado para os demais tratamentos (**Tabela 19**). Para a maioria dos tratamentos, os valores médios de velocidade de emergência foram maiores para a cultivar Ibiza, embora não tenha tido influência do priming e exposição ao campo magnético.

**Tabela 21.** Médias de índices de velocidades de emergência das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético no tempo de armazenamento 0.

Genótipo	Campo magnético	Priming					
		Sem			Com		
Faro	Ctl	6,26	a	A <sup>1</sup>	6,85	a	B <sup>3</sup>
	B60	6,39	b	A <sup>2</sup>	9,91	a	A <sup>4</sup>
Ibiza	Ctl	10,82	a	A <sup>1*</sup>	10,66	a	A <sup>3*</sup>
	B60	11,33	a	A <sup>2*</sup>	10,6	a	A <sup>4</sup>

Médias seguidas pela letra minúscula compara na linha, letra maiúscula compara na coluna, e mesmo número compara os tratamentos magneto e condicionamento fisiológico entre genótipos (\* representa diferença) na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: Índice de velocidade de emergência (IVE), sem tempo de armazenamento (t0), presença (com) e ausência (sem) de priming, sem exposição magnética (Ctl), e exposição magnética por 60 min (B60). Fonte: Da autora (2023).

Quando as sementes submetidas aos diferentes tratamentos, foram avaliadas para índice de velocidade de emergência, em sementes armazenadas por três meses houve efeito negativo do tratamento em campo magnético, em sementes da cultivar Faro não submetidas ao priming. Para a cultivar Ibiza não houve resposta à exposição ao campo magnético, independentemente da aplicação da técnica de priming, da aplicação da técnica de priming (**Tabela 20**). Sementes de ambas as cultivares, com tratamento em campo magnético ou não, responderam positivamente ao priming, a exceção das sementes da cultivar Ibiza expostas a campo magnético, submetidas ou não priming. Entre estes tratamentos não houve diferença significativa.

**Tabela 22.** Médias de índices de velocidades de emergência das plântulas de tomate para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético, após de 3 meses de armazenamento.

	Genótipo	Campo magnético	Priming			
			Sem		Com	
t3-IVE	Faro	Ctl	7,04	b A <sup>1</sup>	13,63	a A <sup>3</sup>
		B60	5,62	b B <sup>2</sup>	13,35	a A <sup>4</sup>
	Ibiza	Ctl	12,21	b A <sup>1*</sup>	12,85	a A <sup>3*</sup>
		B60	12,63	a A <sup>2*</sup>	12,49	a A <sup>4*</sup>

Médias seguidas pela letra minúscula compara na linha, letra maiúscula compara na coluna, e mesmo número compara os tratamentos magneto e condicionamento fisiológico entre genótipos (\* representa diferença) na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: Índice de velocidade de emergência (IVE), três meses de armazenamento (t3), genótipo, presença (com) e ausência (sem) de priming, sem exposição magnética (Ctl), e exposição magnética por 60 min (B60).

Fonte: Da autora (2023).

Sementes da cultivar Faro responderam positivamente ao priming, superando a cultivar Ibiza nestas condições, o que não ocorreu em sementes que não foram submetidas ao priming, expostas ou não ao campo magnético.

**Tabela 23.** Resultados médios de comprimentos de hipocótilos de plântulas para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético, no tempo de armazenamento 0.

	Geno	Magneto	Priming			
			Sem		Com	
t0-Hip	Faro	Ctl	4,59	a A <sup>1</sup>	4,47	a B <sup>3</sup>
		B60	4,49	b A <sup>2</sup>	5,68	a A <sup>4</sup>
	Ibiza	Ctl	4,31	b B <sup>1</sup>	5,61	a A <sup>3*</sup>
		B60	6,60	a A <sup>2*</sup>	5,39	b A <sup>4</sup>

Médias seguidas pela letra minúscula compara na linha, letra maiúscula compara na coluna, e mesmo número compara a exposição magnética e priming entre genótipos (\* representa diferença) na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: comprimento do hipocótilo (Hip), sem tempo de armazenamento (t0), genótipo (Geno), presença (com) e ausência (sem) de priming, campo magnético (Magneto), sem exposição magnética (Ctl), e exposição magnética por 60 min (B60).

Fonte: Da autora (2023).

Para o comprimento do hipocótilo, avaliado no início do armazenamento das sementes, t0, **Tabela 21**, houve resposta positiva, para a cultivar Faro, quando as sementes foram submetidas ao priming e também para a cultivar Ibiza em sementes não submetidas ao priming. Como observado para a variável, índice de velocidade de emergência, houve efeito positivo do campo magnético em sementes submetidas ao priming. Já para a Ibiza, nesta condição, houve efeito negativo do campo magnético. Sem ou priming, mas com exposição ao campo magnético, foram observados os maiores valores de comprimento do hipocótilo em plântulas da cultivar Ibiza (**Tabela 21**). Após três meses de armazenamento maiores valores de comprimento de hipocótilo foram observados para a cultivar Ibiza submetidas ao priming. No entanto, para a cultivar Faro, houve efeito negativo do priming sobre esta variável (**Tabela 22**).

**Tabela 24.** Resultados médios de comprimento de hipocótilos das plântulas para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, após de três meses de armazenamento.

t3-Hip	Genótipo	Priming			
		Sem		Com	
	Faro	3,7362	A a	3,5787	B b
	Ibiza	3,7925	A a	3,8537	A a

Médias seguidas pela letra maiúscula compara na coluna e minúscula compara na linha, na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: comprimento do hipocótilo (Hip), três meses de armazenamento (t3), presença (Com) e ausência (Sem) de priming.

Fonte: Da autora (2023).



Para os comprimentos da raiz e total de plântulas avaliadas no início do armazenamento das sementes, **Tabelas 23 e 24**, foi significativa a interação genótipo x priming x campo magnético. Como observado para as variáveis IVE e comprimento do hipocótilo, também para comprimento radicular e total de plântulas houve efeito positivo do campo magnético em sementes da cultivar Faro submetidas ao priming. Isto não foi observado em sementes não submetidas ao priming, sem diferença significativa (**Tabela 23 e 24**). Já para a cultivar Ibiza, o efeito positivo do campo magnético, sobre o comprimento total de plântulas ocorreu em sementes não submetidas ao priming. Contudo, nas sementes com priming não houve diferença significativa.

O efeito positivo do campo magnético d cultivar Faro submetidas ao priming, fez com que os valores das variáveis apresentadas acima fossem superiores ou estatisticamente iguais aos da cultivar Ibiza, quando comparados para estes tratamentos (**Tabela 23 e 24**).

**Tabela 25.** Resultados médios de comprimentos radiculares de plântulas para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético, no tempo de armazenamento 0.

		Priming					
		Geno	Magneto	Sem		Com	
t0-Raiz	Faro	Ctl	9,43	a	A <sup>1</sup>	9,24	a B <sup>3</sup>
		B60	9,46	b	A <sup>2</sup>	10,74	a A <sup>4</sup>
	Ibiza	Ctl	10,97	a	B <sup>1*</sup>	11,68	a A <sup>3*</sup>
		B60	11,53	a	A <sup>2*</sup>	10,47	a B <sup>4</sup>

Médias seguidas pela letra minúscula compara na linha, letra maiúscula compara na coluna, e mesmo número compara a exposição magnética e priming entre genótipos (\* representa diferença) na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: comprimento da raiz (Raiz), sem tempo de armazenamento (t0), genótipo (Geno), presença (com) e ausência (sem) de priming, campo magnético (Magneto), sem exposição magnética (Ctl), e exposição magnética por 60 min (B60).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 26.** Resultados médios de comprimentos totais das plântulas para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming e campo magnético, no tempo de armazenamento 0.

		Priming					
		Geno	Magneto	Sem		Com	
t0-Total	Faro	Ctl	14,02	a	A <sup>1</sup>	13,72	a B <sup>3</sup>
		B60	13,96	b	A <sup>2</sup>	16,42	a A <sup>4</sup>
	Ibiza	Ctl	15,29	a	B <sup>1</sup>	17,28	a A <sup>3*</sup>
		B60	18,13	a	A <sup>2*</sup>	15,86	a A <sup>4</sup>

Médias seguidas pela letra minúscula compara na linha, letra maiúscula compara na coluna, e mesmo número compara a exposição magnética e priming entre genótipos (\* representa diferença) na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Onde: comprimento total (Total), sem tempo de armazenamento (t0), genótipo (Geno), presença (com) e ausência (sem) de priming, campo magnético (Magneto), sem exposição magnética (Ctl), e exposição magnética por 60 min (B60).

Fonte: Da autora (2023).

Em relação às massas frescas da raiz de plântulas, houve diferenças significativas para o fator genótipo nos dois períodos de armazenamento avaliados. Foram observadas maiores massas na cultivar Ibiza em relação a cultivar Faro. Para a variável massa fresca da parte aérea, após de três meses de armazenamento, **Tabela 25**, houve diferenças significativas para a interação genótipo x priming. As maiores massas foram observadas para a cultivar Ibiza a partir de sementes submetidas ao priming. Já para a cultivar Faro não houve diferença significativa nos valores, a partir de sementes submetidas ou não ao priming. Já quando se compara dentro de cultivar maiores valores foram observados em plântulas da cultura Faro, a partir de sementes não submetidas ao priming (**Tabela 25**). As demais variáveis de massas não tiveram diferenças significativas.

**Tabela 27.** Resultados médios de massas secas da parte aérea das plântulas para as cultivares Faro e Ibiza submetidas ao priming, após de três meses de armazenamento.

t3-MF-PA		Priming					
		Sem			Com		
Genótipo	Faro	0,0573	A	a	0,0575	A	a
	Ibiza	0,0409	B	b	0,0516	A	a

Médias seguidas pela letra maiúscula compara na coluna e minúscula compara na linha, na análise de comparação de médias a 5% de probabilidade.

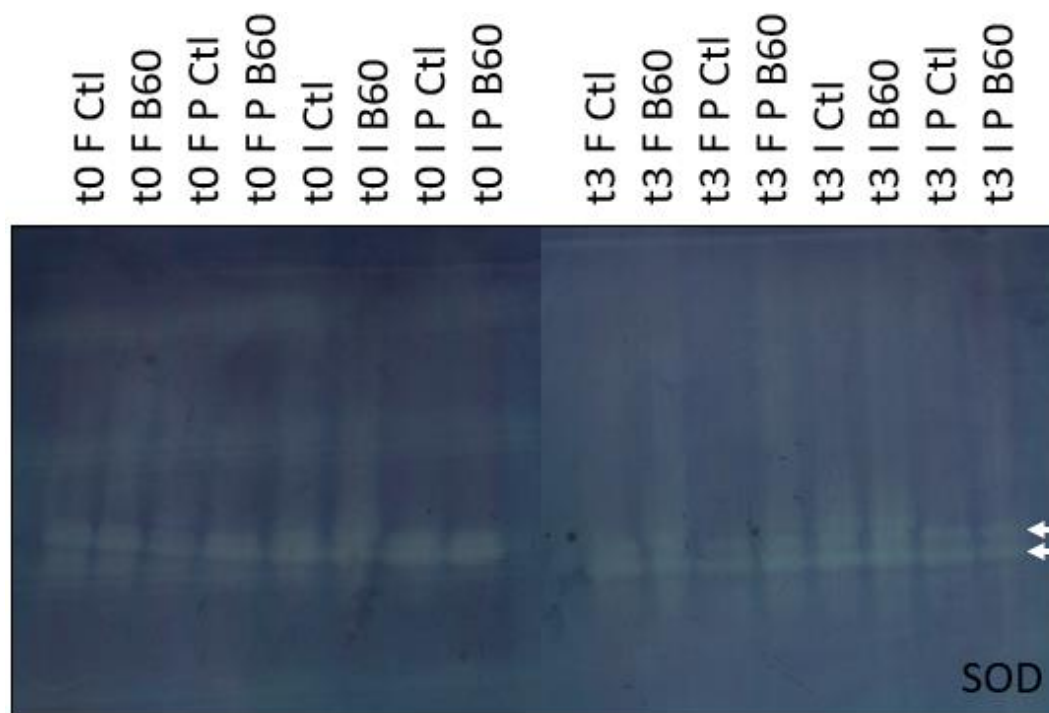
Onde: massa fresca da parte aérea (MF-PA), três meses de armazenamento (t3), presença (Com) e ausência (Sem) de priming.

Fonte: Da autora (2023).

### 3.3. Análises enzimáticas:

Para a enzima superóxido dismutase – SOD (**Figura 4**), não foram observadas diferenças entre os genótipos, tratamentos ou períodos de armazenamento.

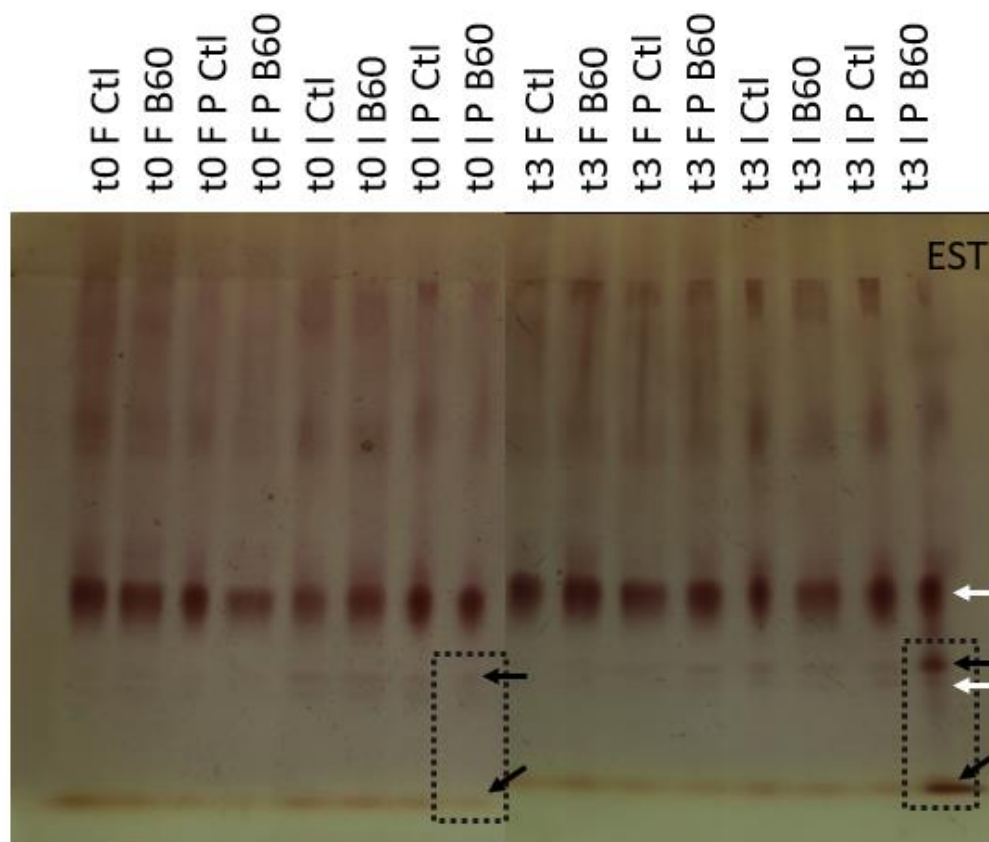
**Figura 4.** Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD) em sementes das cultivares Faro (F) e Ibiza (I) submetidas aos diferentes tratamentos, no início (t0) e após três meses de armazenamento. Onde tratamentos sem exposição magnética é o controle (Ctl), exposição magnética por 60 min (B60) e presença de priming (P).



Fonte: Da autora (2023).

Para a enzima esterase – EST, **Figura 5**, se podem diferenciar claramente quatro bandas. Observa-se no retângulo com linha pontilhada, diferença na expressão desta enzima nos diferentes períodos de armazenamento para o genótipo Ibiza, quando as sementes foram submetidas em campo magnético e priming. Ressalta-se a expressão, duas bandas identificadas por meio de setas, em que após o armazenamento por três meses, foi aumentada em 5,38 vezes em comparação à observada no início do armazenamento, t0. Esse aumento foi obtido comparando os pixels das fotos usando ImageJ.

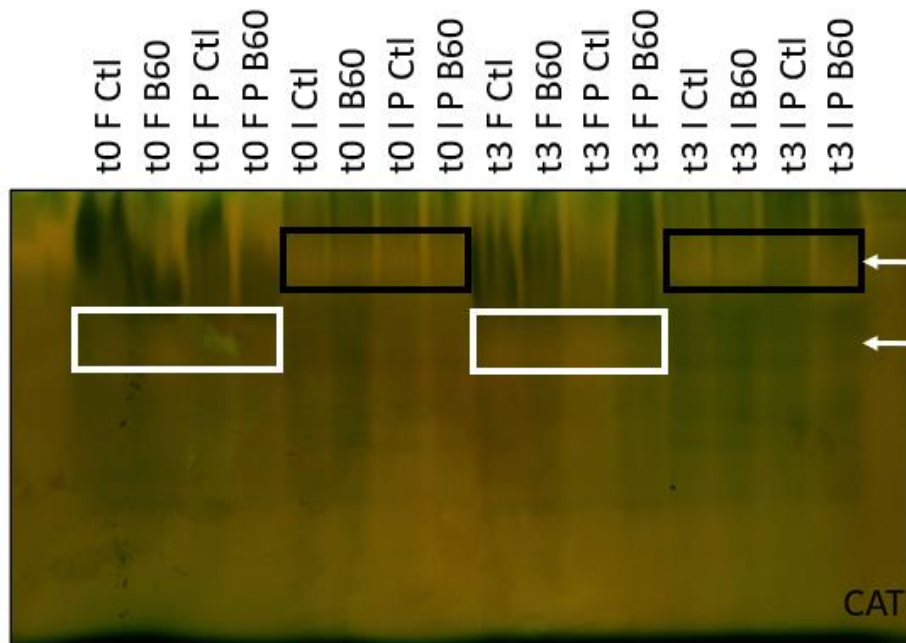
**Figura 5.** Atividade da enzima esterase (EST) em sementes das cultivares Faro (F) e Ibiza (I) submetidas aos diferentes tratamentos, no início (t0) e após três meses de armazenamento. Onde tratamentos sem exposição magnética é o controle (Ctl), exposição magnética por 60 min (B60) e presença de priming (P).



Fonte: Da autora (2023).

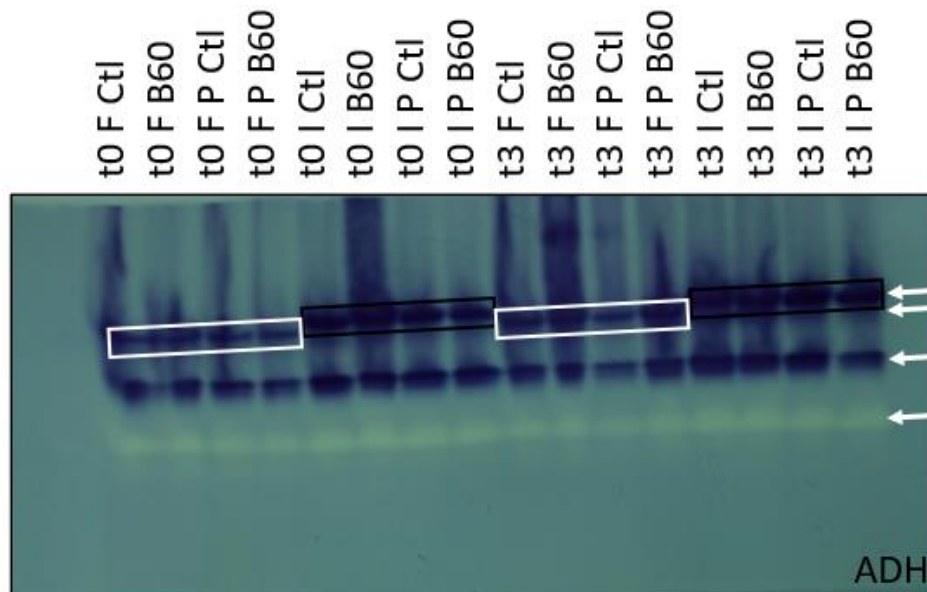
Houve diferença associada ao genótipo nos zimogramas para as enzimas catalase – CAT (**Figura 6**), álcool desidrogenase – ADH (**Figura 7**) e malato desidrogenase – MDH (**Figura 8**), independentemente da presença de priming ou campo magnético. Observa-se na parte superior dos zimogramas, a presença de uma banda, identificada pelo retângulo de cor preta, para a cultivar Ibiza com maior peso molecular em relação a banda da cultivar Faro, identificado pelo retângulo de cor branca.

**Figura 6.** Atividade da enzima catalase (CAT) em sementes das cultivares Faro (F) e Ibiza (I) submetidas aos diferentes tratamentos, no início (t0) e após três meses de armazenamento. Onde tratamentos sem exposição magnética é o controle (Ctl), exposição magnética por 60 min (B60) e presença de priming (P).



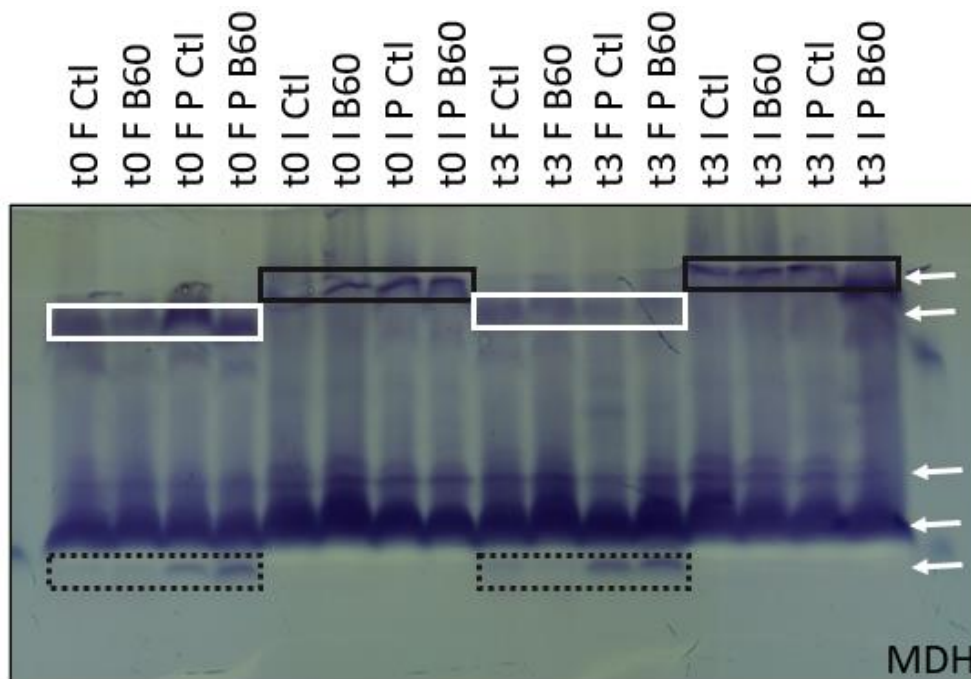
Fonte: Da autora (2023).

**Figura 7.** Atividade da enzima álcool desidrogenase (ADH) em sementes das cultivares Faro (F) e Ibiza (I) submetidas aos diferentes tratamentos, no início (t0) e após três meses de armazenamento. Onde tratamentos sem exposição magnética é o controle (Ctl), exposição magnética por 60 min (B60) e presença de priming (P).



Fonte: Da autora (2023).

**Figura 8.** Atividade da enzima malato desidrogenase (MDH) em sementes das cultivares Faro (F) e Ibiza (I) submetidas aos diferentes tratamentos, no início (t0) e após três meses de armazenamento. Onde tratamentos sem exposição magnética é o controle (Ctl), exposição magnética por 60 min (B60) e presença de priming (P).



Fonte: Da autora (2023).

Também para a enzima, MDH, foi encontrada diferença no zimograma entre os tratamentos na presença e ausência do priming para a cultivar Faro. Observa-se dentro do retângulo pontilhado de cor preta a presença da banda quando as sementes foram submetidas ao priming, a qual está ausente em sementes sem o priming.

#### 4. DISCUSSÃO

As análises fisiológicas e enzimáticas avaliadas no laboratório e na casa de vegetação, de sementes híbridas pré-tratadas com campo magnético e priming não havia sido estudada anteriormente e, portanto, abriu um novo caminho para o estudo de tecnologias inovadoras que possam aprimorar a qualidade das sementes.

Para a porcentagem de germinação e emergência de plântulas após três meses de armazenamento foram verificados menores valores quando as sementes da cultivar Faro foram expostas ao campo magnético, quando submetidas ao campo magnético em presença (FPB60) ou ausência (FB60) de priming, e para a cultivar Ibiza em sementes submetidas a campo magnético e não ao priming (IB60), em substrato de papel sob condições de laboratório, e no tratamento FB60 em experimento conduzido em casa de vegetação. Também foram observados menores índices de velocidade de germinação e emergência nos tratamentos associados à exposição ao campo magnético, principalmente para o genótipo Faro. De acordo com Maguire (1962), os maiores valores nesse índice estão relacionados com uma maior energia de germinação ou emergência de plântulas, por consequente, houve uma baixa energia quando as sementes foram expostas ao campo magnético nominal de 100 mT durante 60 minutos. De acordo com a revisão de literatura, geralmente a resposta do sistema biológico frente ao campo magnético em diferentes culturas induz a germinação das sementes (EL TOBGY et al., 2009; NADEEM et al., 2011; KATARIA et al., 2017; MOHAMMAD & ABDULLAH, 2023), mas existem muitos fatores que influenciam estas respostas, como o tipo da fonte magnética, a homogeneidade, polaridade, intensidade do campo magnético, tempo de exposição, dose magnética, direção e distribuição espacial, entre outros. Assim como certas doses magnéticas podem aprimorar certas variáveis, outras doses podem prejudicar as características fisiológicas, o que reforça a necessidade de continuar estudando doses magnéticas e tempos de exposição para encontrar aquelas que possam potencializar a qualidade fisiológica.

Por meio de pesquisas tem sido observado que sementes com médio vigor respondem mais ao priming quando comparadas às sementes com baixo e alto vigor. De uma maneira geral, isso foi observado nesta pesquisa para muitas das variáveis estudadas. Ressalta-se que em sementes da cultivar Faro foram observados menores valores de germinação e vigor, mesmo sendo as sementes produzidas nas mesmas condições edafoclimáticas, podendo ser atribuído este resultado ao genótipo. Nestas sementes o priming foi importante para o revigoramento destas sementes.

O efeito do genótipo sobre a qualidade fisiológica das sementes submetidas ao priming e/ou campo magnético pode ser observado nesta pesquisa por meio de várias variáveis tanto em laboratório como em casa de vegetação. Gutzeit (2001) e Pietruszewski et al. (2007) demonstraram que as respostas dos sistemas biológicos frente aos campos magnéticos dependem da espécie, e em

estudos mais recentes, também de genótipos da mesma espécie como foi demonstrado por Hernandez-Aguilar (2009) em milho, e por Herrera-Ramos (2020) em tomate, quando avaliaram genótipo Santa Clara e Carguero. Na presente investigação se faz evidente que as respostas foram diferentes entre os genótipos de tomate híbrido Faro e Ibiza.

A resposta ao campo magnético varia com genótipo, em função das variáveis avaliadas. Nesta pesquisa considerando-se a maioria das variáveis analisadas, houve resposta positiva do campo magnético para o crescimento de plântulas da cultivar Faro em substrato de papel. Para as variáveis germinação, índice de germinação, a exposição das sementes ao campo magnético por 60 minutos foi positiva para a qualidade fisiológica ou não prejudica. Em casa de vegetação, considerando as variáveis índice de velocidade de emergência de plântulas, crescimento do hipocótilo, da raiz e das plântulas inteiras, o efeito do campo magnético, associado ao priming em sementes da cultivar Faro ficou muito evidente. Ressalta-se que estas variáveis são importantes em sementes de tomate visando a formação de mudas vigorosas as quais serão transplantadas para o campo. Sabe-se o vigor destas plantas influencia no crescimento e desenvolvimento das plantas e conseqüentemente na produtividade da cultura. Assim, melhorar a qualidade fisiológica de sementes com qualidade intermediária por meio do magnetopriming parece ser valioso para a indústria sementeira. Isto trará benefícios para toda a cadeia positiva da cultura, na qual estão envolvidas várias pessoas, desde o melhorista até o consumidor final. Também foram observados maiores comprimentos do hipocótilo, raiz e total das plântulas desenvolvidas em papel sob condições de laboratório, após de três meses de armazenamento, e desenvolvidas em casa de vegetação,  $t_0$ , para os genótipos Faro quando as sementes foram pré-tratadas em campo magnético em combinação com o priming, e Ibiza sem submeter as sementes ao priming. Além disso, essas respostas também foram obtidas para a variável massa fresca de plântulas crescidas em laboratório. Investigadores como Florez et al. (2007), Shine et al. (2011), Vashisth e Joshi (2017), e Joshi (2023) reportaram que os comprimentos das plântulas e massas aumentaram quando as sementes foram tratadas em campo magnético, sugerindo que o campo magnético favorece o aumento de biomassa e fixação de carbono nas plântulas, o que pode associar-se com o encontrado neste trabalho, para algumas variáveis analisadas. O que acontece quando um organismo vivo é exposto a um campo magnético, é que está adicionando-se energia em forma de campo magnético. Esse organismo vivo, precisa de energia para poder se desenvolver, energia lumínica, energia química (nutrientes),



energia em forma de calor... entre outras, e quando as sementes são pré-tratadas em campo magnético essa energia adicional está influenciando nos comprimentos das plântulas.

Também foi encontrada maior massa fresca em plântulas, em  $t_0$ , quando as sementes foram expostas ao campo magnético para o genótipo Ibiza em ausência de priming e para Faro em combinação com o priming. Esse aumento da massa também pode ser explicado pelo aporte energético adicional do campo magnético. As sementes pré-tratadas em campo magnético estacionário experimentam três etapas: a primeira, quando é posicionado o ímã sobre o suporte de nylon que contém as sementes, onde elas experimentam uma variação no fluxo magnético durante intervalos de tempo relativamente curtos, na segunda etapa as sementes são mantidas no campo magnético durante o tempo de exposição magnética selecionada, e na terceira, quando é retirado o ímã do suporte, a semente experimenta novamente a variação com a mesma magnitude, só que em sentido contrário. A partir desses acontecimentos o campo magnético pode estar-se superpondo ao campo elétrico, afetando o fluxo iônico ao través da membrana plasmática, e este a sua vez influencia na diferença do potencial de membrana que produz o aumento da pressão osmótica que, finalmente vai favorecer o ingresso da água na célula (SOCORRO e GARCIA, 2012). Essa maior permeabilidade e mobilidade iônica e da água ao interior das células (VANISTH e NAGARAJAN, 2010; BARRETO-MORENO et al., 2019), em combinação com a extensão da fase LEG proporcionada pelo priming, podem ser a resposta dos maiores comprimentos e massa fresca encontradas quando as sementes de tomate, genótipo Faro foram pré-tratadas com campo magnético em combinação com priming tanto para as análises feitas em laboratório, como em casa de vegetação. No caso da massa fresca, essa melhoria foi perdida após do tempo de armazenamento. Desde 1995 (VASQUEZ) tem reportado reversões dos efeitos dos tratamentos em sementes armazenadas, quando estas foram submetidas a secagem após o priming, mas nessas pesquisas, as sementes não foram associadas à exposição magnética.

Em relação à atividade das enzimas avaliadas em sementes foi observada maior expressão, em duas bandas da enzima esterase no genótipo Ibiza submetido a priming e campo magnético após de três meses de armazenamento. A atividade da enzima esterase incrementa durante o armazenamento em câmara fria (REIS et al., 2014) independentemente da qualidade fisiológica (ROMERO et al., 2005). Esta enzima atua no crescimento do eixo embrionário e encontra-se envolvida em reações de hidrólise de ésteres. Ela está associada ao metabolismo dos fosfolípidios

totais de membrana propiciando uma fraqueza na testa e por conseqüente pode estar associada a emergência de plântulas. No entanto, autores como Santos et al. (2004) e Diniz et al. (2010) sugeriram que esta enzima como marcador molecular na avaliação da qualidade das sementes pelo processo degenerativo de membranas. Para a enzima MDH foram encontradas diferenças na expressão em sementes do genótipo Faro, quando as sementes foram submetidas ao priming em comparação com aquelas não submetidas, com a presença adicional de uma banda de peso molecular menor. Alterações na expressão desta enzima está associada à respiração, e Carvalho et al. (2014) sugeriram como marcadores moleculares da qualidade das sementes, devida à relação direta da respiração e deterioração.

Outras enzimas que foram propostas como marcadores moleculares da qualidade das sementes são aquelas que compensam a atividade de oxidação que está associada aos processos de deterioração pela formação de radicais livres, como a catalase (CAT). Esta enzima controla o peróxido de hidrogênio, uma espécie reativa derivada do oxigênio (ROS), e o converte em água para assim diminuir os possíveis danos celulares ao DNA, proteínas e lipídios (CÉSPEDES-MIRANDA et al., 1996; DESAI et al., 1997). Shine et al. (2012) observaram que as sementes pré-tratadas em campo magnético tiveram efeitos positivos, isto é, com menores tempos e maior porcentagem de germinação e apresentavam maiores quantidades de ROS. Eles apoiaram a hipótese que espécies reativas derivadas de oxigênio podem ser promotores da protrusão radicular. Neste trabalho não foram encontradas diferenças nos zimogramas das enzimas que pudessem se associar ao campo magnético, mas foram encontradas três isoenzimas que tiveram diferenças entre os genótipos estudados, CAT, ADH e MDH. As isoenzimas são enzimas que diferem na sequência de aminoácidos, mas catalisam a mesma reação química e é por essa mesma característica que foi encontrada mobilidade eletroforética diferente entre os genótipos.

## 5. CONCLUSÕES

Há influência do genótipo sobre a qualidade fisiológica das sementes de tomate submetidas ao priming e campo magnético.

A exposição das sementes ao campo magnético por 60 minutos, e ao priming pode potencializar a qualidade fisiológica de sementes de tomate.

A exposição das sementes ao campo magnético por 60 minutos, e ao priming pode potencializar o vigor de plântulas de tomate.

As enzimas catalase, malato deshidrogenase, álcool deshidrogenase e esterase podem ser potenciais marcadores enzimáticos para avaliação da qualidade de sementes de tomate.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para resumir os feitos do campo magnético estático não homogêneo e priming sobre a qualidade fisiológica nas sementes de tomate que foram obtidas no presente trabalho foi ilustrada a **Tabela 26**. A partir dessa informação é possível elucidar a importância que pode obter o agricultor e a indústria sementeira ao utilizar o campo magnético como condicionamento para aprimorar a qualidade fisiológica das sementes em tomate.

**Tabela 28.** Resumo da pesquisa.

Espécie e órgão tratado	Genótipo	Tratamento	Tempo de armazenamento	Resposta do tratamento em comparação ao controle
<i>Solanum lycopersicum</i> (Tomate)  Sementes	Faro	Campo magnético	sem	Maior índice de velocidade de emergência, comprimento de raiz, e massa seca.
			Após três meses	Maior porcentagem de emergência e massa seca.
		Combinação priming e campo magnético	sem	Maior índice de velocidade de emergência, comprimento do hipocótilo, de raiz e total, massa fresca.
			Após três meses	Maior massa seca.
	Ibiza	Campo magnético	sem	Maior comprimento do hipocótilo, de raiz e total, massa fresca e seca.
			Após três meses	Maior comprimento de raiz e total.
		Combinação priming e campo magnético	sem	/
			Após três meses	Aumento da expressão na enzima Esterase

Fonte: Da autora (2023).

O condicionamento mais económico para ser implementado na indústria sementeira é o hidrocondicionamento. O tratamento em campo magnético pode ser considerado também como uma técnica acessível economicamente. Uma fonte magnética passiva, como a descrita neste trabalho, de valor nominal do campo magnético de 100 mT pode ser obtida em diferentes cidades a nível mundial com um custo entre 30 e 40 reais, ao redor de 400 sementes de tomate podem ser alojadas dentro do orifício. Além disso, não é invasiva, é ambientalmente sustentável e fácil de aplicar. Recomenda-se realizar o tratamento magnético sem ou em combinação com o priming antes da sementeira com a finalidade de aprimorar a qualidade fisiológica das sementes de tomate.

Mesmo sem obter proeminentes resultados nas análises de germinação quando as sementes são pré-tratadas com campo magnético, destaca-se as respostas encontradas na casa de vegetação. O tomateiro é uma hortaliça cujas mudas são desenvolvidas em estufas e por consequente esses resultados são mais interessantes para o agricultor em comparação aos encontrados no laboratório.

## REFERÊNCIAS

- ALADJADJIYAN, A. Study of the influence of magnetic field on some biological characteristics of *Zea mais*. **Journal Central European Agriculture**, p. 89-94, 2002.
- ALFENAS, A. C.; PETERS, I.; BRUNE, W. & PASSADOR, G. C. Eletroforese de proteínas e isoenzimas de fungos e essências florestais. **Universidade Federal Viçosa, Viçosa, MG**, 242p. 1991.
- ARANZAZU-OSORIO, J. Análisis del efecto del tratamiento magnético sobre la actividad enzimática en semillas de maíz (*Zea mays* L.). **Repositorio tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín**, 2019.
- BARRETO-MORENO, C.; RESTREPO-PARRA, E.; TORRES-OSORIO, J. Modeling and simulation of transmembrane ionic transport of cells exposed to magnetic field using the Monte Carlo method. **Journal of Computation Methods in Sciences and Engineering**, v. 21, n. 1, p. 243-254, 2021.
- BRASIL. Regras para análise de sementes (RAS). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Secretária de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS**, p. 399, 2009.
- CARVALHO, E. R., MAVAIEIE, D. P. D. R., OLIVEIRA, J. A., CARVALHO, M. V. D. & VIEIRA, A. R. Alterações isoenzimáticas em sementes de cultivares de soja em diferentes condições de armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 967-976, 2014.
- CARBONELL, M. V.; FLOREZ, M.; MARTINEZ, E.; MAQUEDA, R.; AMAYA, J. Study of stationary magnetic fields on initial growth of pea (*Pisum sativum* L.) seeds. **Seed Sci. Technol.** v. 39, p. 673–679, 2011.
- CÉSPEDES-MIRANDA, E. M.; HERNÁNDEZ-LANTIGUA, I.; LLÓPIZ-JANER, N. Enzimas que participan como barreras fisiológicas para eliminar los radicales libres: II. Catalasa. **Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas**, v. 15, n. 2, 1996.
- DESAI, B. B.; KOTECHA, P. M.; SALUNKHE, D. K. Seeds handbook: biology, production, processing and storage, **New York, US: Marcel Dekker**, 1997.
- DINIZ, K. A., ALMIR, J., DELLY, A., OLIVEIRA, B. & DE OLIVEIRA, P. Storage and quality of tomato seeds enriched with micronutrients and growth regulators. **Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, 2010.
- EL TOBGY, K. M., OSMAN, Y. A. & EL SHERBINI, E. Efeito da radiação laser no crescimento, rendimento e componentes químicos de plantas de anis e cominho. **Journal of Applied Sciences Research**, v. 5, n. 5, p. 522–528, 2009.
- EMBRAPA. Cultivo de Tomate para Industrialização. **Embrapa Hortaliças, sistema de produção 1, 2da edição, versão eletrônica**, dezembro 2006.

- FLOREZ, M.; CARBONELL, M. V.; MARTINEZ, E. Exposure of maize seeds to stationary magnetic fields: effects on germination and early growth. **Environ. Exp. Bot.** v. 59, p. 68–75, 2007.
- FLOREZ, M.; CARBONELL, M. V.; MARTINEZ, E.; ALVAREZ, J. Stimulatory Effect of the Magnetic Treatment Prior to Sowing on the Germination and Initial Growth of Triticale Seeds. **International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology**, v. 1(July-August), p. 125–131, 2016.
- GUTZEIT, H. O. Biological effects of ELF-EMF enhanced stress response: New insights and new questions. **ElectroMagnetobiol.** v. 20, n. 1, p. 15–26, 2001.
- HARRIS, P.; ESHKAB, I.; SALEM, S. A. The Impact of Hydropriming and Halopriming on Seed Vigor and Germination of Tomato (*Solanum lycopersicum*) Seeds at High Temperature. **Life Science Journal of Pakistan**, v. 4, n. 1, p. 16-24, 2022.
- HERNANDEZ-AGUILAR, C.; DOMINGUEZ-PACHECO, A.; CARBALLO-CARBALLO, A.; CRUZ-OREA, A.; IVANOV, R.; LÓPEZ-BONILLA, J.; VALCARCEL-MONTAÑEZ, J. Alternating magnetic field irradiation effects on three genotype maize seed field performance. **Acta Agrophysica**, v. 14, n. 1, p. 7-18, 2009.
- HERRERA-RAMOS, M. V.; GARCÍA, D. J.; TORRES-OSORIO, J. I.; CEBALLOS, N. Efecto del campo magnético estático no homogéneo sobre la germinación y morfogénesis *in vitro* de *Solanum lycopersicum* L. **Tesis de graduación en Biología, Universidad de Caldas, Manizales, Caldas, Colombia**, 2020.
- JOSHI-PANERI, J., SHARMA, S., GURUPRASAD, K. N., & KATARIA, S. Enhancing the Yield Potential of Soybean after Magneto-Priming: Detailed Study on Its Relation to Underlying. **Physiological Processes. Seeds**, v. 2, n. 1, p. 60-84, 2023.
- KATARIA, S., BAGHEL L. & GURUPRASAD, K. N. Pre-treatment of seeds with static magnetic field improves germination and early growth characteristics under salt stress in maize and soybean. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 10, p. 83-90, 2017.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergences and vigor. **Crop Sci.** v. 2, p. 176-177, 1962.
- MARTINEZ, E.; CARBONELL, M. V.; AMAYA, J. M. A static magnetic field of 125 mT stimulates the initial growth stages of barley (*Hordeum vulgare* L.). **Electromagn. Magnetobiol.** v. 19, p. 271–277, 2000.
- MOHAMMAD, K. A. & ABDULLAH, A. Effects of neodymium magneto-priming on seed germination and salinity tolerance in tomato. **Bioelectromagnetismo**, v. 44, n. 1-2, p. 47-56, 2023.
- NADEEM, M., ANJUM, F. M., HUSSAIN, S., KHAN, M. R. & SHABBIR, E. Avaliação da atividade antioxidante e teores fenólicos totais de híbridos de girassol. **Pakistan Journal of Food Sciences**, v. 21, n. 1-4, p. 7-12, 2011.

PIETRUSZEWSKI, S.; MUSZYNSKI, S.; DZIWULSKA, A., Electromagnetic field and electromagnetic radiation as non-invasive external stimulation for seeds (selected methods and responses). **International Agrophysics**, v. 21, p. 95–100, 2007.

REIS, H. F., M MELO, C., MELO, E. P., SILVA, R. A. & SCALON, S. P. Conservação pós-colheita de alface crespa, de cultivo orgânico e convencional, sob atmosfera modificada. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 303-309, 2014.

ROMERO, C. M., LEMOS, N. & AMARAL, F. Physiologic and biochemical modifications during storage of bean seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, 2005.

SANTOS, C.M.R.; MENEZES, N.L.; VILLELA, F.V. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão envelhecidas artificialmente. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 110-119, 2004.

SHINE, M.; GURUPRASAD, K.; ANAND, A. Enhancement of germination, growth, and photosynthesis in soybean by pre-treatment of seeds with magnetic field. **Bioelectromagnetics**, v. 32, p. 474–484, 2011.

SHINE, M.; GURUPRASAD, K.; ANAND, A. Effect of stationary magnetic field strengths of 150 and 200 mT on reactive oxygen species production in soybean. **Bioelectromagnetics**, v. 33, p. 428–437, 2012.

SOCORRO, A.; GARCÍA, F. Simulation of magnetic field effect on a seed embryo cell. **International Agrophysics**, v. 26, p. 167-173, 2012.

TORRES-OSORIO, J.; ARANZAZU-OSORIO, J.; CARBONELL-PADRINO, M. Static homogeneous magnetic field effects on germination and water absorption in soybean sedes. **Tecno Lógicas**, v. 18, n. 35, p. 11-20, 2015.

VASHISTH, A. & JOSHI, D. K. Growth characteristics of maize seeds exposed to magnetic field: Effect of Magnetic Field on Maize Crop. **Bioelectromagnetics**, v. 38, p. 151-157, 2017.

VASHISTH, A.; KUMAR, D. Growth characteristics of maize seeds exposed to magnetic field. **Bioelectromagnetics**, v. 38, n. 2, p. 151-157, 2016.

VASHISTH, A.; NAGARAJAN, S. Effect on germination and early growth characteristics in sunflower (*Helianthus annuus*) seeds exposed to static magnetic field. **J. Plant Physiol.** v. 167, p. 149–156, 2010.

VAZQUEZ, G. H. Condicionamento fisiológico de sementes de soja: efeitos sobre a germinação, vigor e potencial de armazenamento. **Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo**, 1995.

## ANEXOS

**Tabela 1A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica índice de velocidade de germinação da semente no início do armazenamento.

t0-IVG	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			23	490.60		
Geno	1	173.290	22	317.31	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Prim	1	191.140	21	126.17	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Magneto	1	0.131	20	126.04	0.7361	
Geno:Prim	1	99.756	19	26.28	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Geno:Magneto	1	3.032	18	23.25	0.1043	
Prim:Magneto	1	2.451	17	20.80	0.1441	
Geno:Prim:Magneto	1	2.413	16	18.38	0.1473	

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), índice de velocidade de germinação (IVG).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 2A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica índice de velocidade de germinação da semente após de três meses de armazenamento.

t3-IVG	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			23	425.52	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Geno	1	207.858	22	217.66	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Prim	1	37.926	21	179.73	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Magneto	1	68.310	20	111.42	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Geno:Prim	1	29.548	19	81.88	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Geno:Magneto	1	22.640	18	59.24	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Prim:Magneto	1	23.266	17	35.97	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Geno:Prim:Magneto	1	31.855	16	4.12	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), índice de velocidade de germinação (IVG).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 3A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica porcentagem de germinação da semente no início do armazenamento.

t0-%G	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			23	3702.0		
Geno	1	1962.04	22	1739.9	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Prim	1	715.04	21	1024.9	$1.556 \times 10^{-10}$	***



Magneto	1	2.04	20	1022.8	0.7324	
Geno:Prim	1	737.04	19	285.8	8.168 x 10 <sup>-11</sup>	***
Geno:Magneto	1	1.04	18	284.8	0.8070	
Prim:Magneto	1	3.38	17	281.4	0.6602	
Geno:Prim:Magneto	1	2.04	16	279.3	0.7324	

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), porcentagem de germinação (%G)

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 4A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica porcentagem de germinação da semente após de três meses de armazenamento.

t3-%G	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			23	5285.3		
Geno	1	3850.7	22	1434.7	< 2.2 x 10 <sup>-16</sup>	***
Prim	1	96.0	21	1338.7	1.177 x 10 <sup>-16</sup>	***
Magneto	1	468.2	20	870.5	< 2.2 x 10 <sup>-16</sup>	***
Geno:Prim	1	80.7	19	789.7	5.904 x 10 <sup>-5</sup>	***
Geno:Magneto	1	280.2	18	509.7	7.125 x 10 <sup>-14</sup>	***
Prim:Magneto	1	121.5	17	388.2	8.244 x 10 <sup>-7</sup>	***
Geno:Prim:Magneto	1	308.2	16	80.0	4.13 x 10 <sup>-15</sup>	***

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), porcentagem de germinação (%G)

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 5A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento do hipocótilo da plântula no início do armazenamento.

t0-HIP	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	4.628	4.628	19.651	0.000176	***
Prim	1	0.015	0.015	0.063	0.803697	
Magneto	1	0.139	0.139	0.591	0.449649	
Geno:Prim	1	0.426	0.426	1.807	0.191492	
Geno:Magneto	1	0.167	0.167	0.708	0.408422	
Prim:Magneto	1	0.250	0.250	1.063	0.312901	
Geno:Prim:Magneto	1	0.001	0.001	0.002	0.962624	
Residuals	24	5.653	0.236			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), tamanho do hipocótilo (Hip).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 6A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento radicular da plântula no início do armazenamento.

t0-RAIZ	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	0.0649	0.0649	5.494	0.0277	*
Prim	1	0.2722	0.2722	23.027	6.93 x 10 <sup>-5</sup>	***
Magneto	1	0.0026	0.0026	0.226	0.6390	
Geno:Prim	1	0.0198	0.0198	1.680	0.2072	
Geno:Magneto	1	0.0244	0.0244	2.070	0.1631	
Prim:Magneto	1	0.0275	0.0275	2.329	0.1401	
Geno:Prim:Magneto	1	0.0012	0.0012	0.105	0.7483	
Residuals	24	0.2837	0.0118			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), tamanho da raiz primária (Raiz).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 7A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento total da plântula no início do armazenamento.

t0-TOTAL	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			31	0.7877		
Geno	1	0.1728	30	0.6148	0.0004133	***
Prim	1	0.1962	29	0.4185	0.0001681	***
Magneto	1	0.0006	28	0.4179	0.8264833	
Geno:Prim	1	0.0190	27	0.3989	0.2415409	
Geno:Magneto	1	0.0290	26	0.3698	0.1477811	
Prim:Magneto	1	0.0344	25	0.3354	0.1149014	
Geno:Prim:Magneto	1	0.0027	24	0.3326	0.6567288	

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), tamanho total (Total).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 8A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento do hipocótilo da plântula após de três meses de armazenamento.

t3-HIP	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	0.039	0.0392	0.143	0.7088	
Prim	1	0.987	0.9870	3.597	0.0700	.
Magneto	1	1.272	1.2720	4.635	0.0416	*
Geno:Prim	1	0.316	0.3160	1.152	0.2939	
Geno:Magneto	1	0.633	0.6328	2.306	0.1419	
Prim:Magneto	1	0.000	0.0002	0.001	0.9787	
Geno:Prim:Magneto	1	0.000	0.0002	0.001	0.9787	
Residuals	24	6.586	0.2744			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), tamanho do hipocótilo (Hip).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 9A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento radicular da plântula após de três meses de armazenamento.

t3-RAIZ	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	0.30	0.30	0.179	0.6757	
Prim	1	1.14	1.14	0.672	0.4204	
Magneto	1	7.13	7.13	4.200	0.0515	.
Geno:Prim	1	12.98	12.98	7.650	0.0107	*
Geno:Magneto	1	41.77	41.77	24.620	4.58 x 10 <sup>-5</sup>	***
Prim:Magneto	1	0.09	0.09	0.054	0.8174	
Geno:Prim:Magneto	1	0.28	0.28	0.164	0.6895	
Residuals	24	40.72	1.70			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), tamanho da raiz primária (Raiz).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 10A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento total da plântula após de três meses de armazenamento.

t3-TOTAL	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	0.13	0.13	0.060	0.80875	
Prim	1	4.24	4.24	2.012	0.16893	
Magneto	1	14.41	14.41	6.833	0.01521	*
Geno:Prim	1	17.42	17.42	8.263	0.00834	**
Geno:Magneto	1	52.66	52.66	24.979	4.18 x 10 <sup>-5</sup>	***
Prim:Magneto	1	0.08	0.08	0.038	0.84625	
Geno:Prim:Magneto	1	0.29	0.29	0.138	0.71364	
Residuals	24	50.60	2.11			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), tamanho total (Total).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 11A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa fresca da plântula no início do armazenamento.

t0-MF	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	1.63 x 10 <sup>-6</sup>	1.63 x 10 <sup>-6</sup>	0.112	0.739557	
Prim	1	3.07 x 10 <sup>-4</sup>	3.07 x 10 <sup>-4</sup>	21.104	4.28 x 10 <sup>-5</sup>	***

Magneto	1	$8.30 \times 10^{-5}$	$8.30 \times 10^{-5}$	5.702	0.021755	*
Geno:Prim	1	$1.45 \times 10^{-4}$	$1.45 \times 10^{-4}$	9.969	0.003025	**
Geno:Magneto	1	$1.53 \times 10^{-6}$	$1.53 \times 10^{-6}$	0.105	0.747501	
Prim:Magneto	1	$8.54 \times 10^{-6}$	$8.54 \times 10^{-6}$	0.587	0.448190	
Geno:Prim:Magneto	1	$2.00 \times 10^{-4}$	$2.00 \times 10^{-4}$	13.755	0.000632	***
Residuals	40	$5.8 \times 10^{-4}$	$1.45 \times 10^{-5}$			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), massa fresca (MF).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 12A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa seca da plântula no início do armazenamento.

t0-MS	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	$4.00 \times 10^{-10}$	$4.00 \times 10^{-10}$	0.017	0.8974	
Prim	1	$7.17 \times 10^{-7}$	$7.17 \times 10^{-7}$	34.364	$7.39 \times 10^{-7}$	***
Magneto	1	$1.88 \times 10^{-8}$	$1.88 \times 10^{-8}$	0.900	0.3485	
Geno:Prim	1	$5.56 \times 10^{-7}$	$5.56 \times 10^{-7}$	26.657	$7.03 \times 10^{-6}$	***
Geno:Magneto	1	$3.26 \times 10^{-8}$	$3.26 \times 10^{-8}$	1.558	0.2192	
Prim:Magneto	1	$1.07 \times 10^{-7}$	$1.07 \times 10^{-7}$	5.139	0.0289	*
Geno:Prim:Magneto	1	$1.30 \times 10^{-9}$	$1.30 \times 10^{-9}$	0.062	0.8041	
Residuals	40	$8.35 \times 10^{-7}$	$2.09 \times 10^{-8}$			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), massa seca (MS).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 13A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa fresca da plântula após três meses de armazenamento.

t3-MF	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	$2.59 \times 10^{-4}$	$2.59 \times 10^{-4}$	13.850	0.000609	***
Prim	1	$7.40 \times 10^{-5}$	$7.40 \times 10^{-5}$	3.952	0.053686	.
Magneto	1	$1.75 \times 10^{-4}$	$1.75 \times 10^{-4}$	9.387	0.003900	**
Geno:Prim	1	$2.24 \times 10^{-4}$	$2.24 \times 10^{-4}$	11.995	0.001285	**
Geno:Magneto	1	$5.00 \times 10^{-8}$	$5.00 \times 10^{-8}$	0.002	0.961144	
Prim:Magneto	1	$1.78 \times 10^{-5}$	$1.78 \times 10^{-5}$	0.953	0.334854	
Geno:Prim:Magneto	1	$4.95 \times 10^{-5}$	$4.95 \times 10^{-5}$	2.645	0.111700	
Residuals	40	$7.49 \times 10^{-4}$	$1.87 \times 10^{-5}$			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), massa fresca (MF).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 14A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa seca da plântula após três meses de armazenamento.

t3-MS	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	1.58 x 10 <sup>-8</sup>	1.58 x 10 <sup>-8</sup>	0.594	0.44533	
Prim	1	9.63 x 10 <sup>-8</sup>	9.63 x 10 <sup>-8</sup>	3.629	0.06399	.
Magneto	1	3.08 x 10 <sup>-7</sup>	3.08 x 10 <sup>-7</sup>	11.636	0.00149	**
Geno:Prim	1	1.69 x 10 <sup>-7</sup>	1.69 x 10 <sup>-7</sup>	6.376	0.01563	*
Geno:Magneto	1	7.77 x 10 <sup>-7</sup>	7.77 x 10 <sup>-7</sup>	29.307	3.14 x 10 <sup>-6</sup>	***
Prim:Magneto	1	2.14 x 10 <sup>-7</sup>	2.14 x 10 <sup>-7</sup>	8.089	0.00698	**
Geno:Prim:Magneto	1	2.99 x 10 <sup>-7</sup>	2.99 x 10 <sup>-7</sup>	11.276	0.00173	**
Residuals	40	1.06 x 10 <sup>-6</sup>	2.65 x 10 <sup>-8</sup>			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), massa seca (MS).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 15A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica índice de velocidade de emergência da semente no início do armazenamento.

t0-IVE	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			23	105.005		
Geno	1	73.500	22	31.505	< 2.2 x 10 <sup>-16</sup>	***
Prim	1	3.872	21	27.633	6.481 x 10 <sup>-5</sup>	***
Magneto	1	4.950	20	22.682	6.282 x 10 <sup>-6</sup>	***
Geno:Prim	1	9.325	19	13.357	5.681 x 10 <sup>-10</sup>	***
Geno:Magneto	1	2.815	18	10.542	0.0006588	***
Prim:Magneto	1	2.100	17	8.441	0.0032604	**
Geno:Prim:Magneto	1	4.559	16	3.883	1.462 x 10 <sup>-5</sup>	***

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), índice de velocidade de emergência (IVE).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 16A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica índice de velocidade de emergência da semente após de três meses de armazenamento.

t3-IVE	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			23	201.018		
Geno	1	41.633	22	159.385	< 2.2 x 10 <sup>-16</sup>	***
Prim	1	82.399	21	76.986	< 2.2 x 10 <sup>-16</sup>	***
Magneto	1	1.021	20	75.965	0.0024114	**
Geno:Prim	1	71.588	19	4.377	< 2.2 x 10 <sup>-16</sup>	***
Geno:Magneto	1	1.184	18	3.194	0.0010863	**
Prim:Magneto	1	0.051	17	3.142	0.4762477	
Geno:Prim:Magneto	1	1.368	16	1.774	0.0004441	***

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), índice de velocidade de emergência (IVE).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 17A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica porcentagem de emergência da semente no início do armazenamento.

t0-%E	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			23	4297.6		
Geno	1	3337.0	22	960.6	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Prim	1	84.4	21	976.2	0.1121	
Magneto	1	70.0	20	806.2	0.1477	
Geno:Prim	1	84.4	19	721.8	0.1121	
Geno:Magneto	1	84.4	18	637.4	0.1121	
Prim:Magneto	1	18.4	17	619.0	0.4584	
Geno:Prim:Magneto	1	84.4	16	534.7	0.1121	

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), porcentagem de emergência (%E)

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 18A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica porcentagem de emergência da semente após três meses de armazenamento.

t3-%E	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			23	5266.6		
Geno	1	2970.38	22	2296.2	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Prim	1	852.04	21	1444.2	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Magneto	1	26.04	20	1418.2	0.03788	*
Geno:Prim	1	1276.04	19	142.1	$< 2.2 \times 10^{-16}$	***
Geno:Magneto	1	35.04	18	107.1	0.01603	*
Prim:Magneto	1	3.37	17	103.7	0.45482	
Geno:Prim:Magneto	1	7.04	16	96.7	0.28032	

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), porcentagem de emergência (%E)

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 19A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento do hipocótilo da plântula no início do armazenamento.

t0-HIP	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	3.605	3.605	7.126	0.013412	*
Prim	1	0.656	0.656	1.296	0.266203	

Magneto	1	5.056	5.056	9.996	0.004214	**
Geno:Prim	1	0.485	0.485	0.959	0.337203	
Geno:Magneto	1	0.451	0.451	0.892	0.354327	
Prim:Magneto	1	0.732	0.732	1.447	0.240713	
Geno:Prim:Magneto	1	7.258	7.258	13.348	0.000899	***
Residuals	24	12.140	0.506			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), tamanho do hipocótilo (Hip).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 20A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento radicular da plântula no início do armazenamento.

t0-RAIZ	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	16.675	16.675	15.528	0.000612	***
Prim	1	0.259	0.259	0.241	0.627688	
Magneto	1	0.383	0.383	0.356	0.556067	
Geno:Prim	1	1.037	1.037	0.965	0.335622	
Geno:Magneto	1	2.365	2.365	2.203	0.150801	
Prim:Magneto	1	0.045	0.045	0.042	0.839531	
Geno:Prim:Magneto	1	5.216	5.216	4.857	0.037364	*
Residuals	24	25.774	1.074			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), tamanho da raiz primária (Raiz).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 21A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento total da plântula no início do armazenamento.

t0-TOTAL	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	35.74	35.74	14.655	0.000812	***
Prim	1	1.76	1.76	0.721	0.404301	
Magneto	1	8.24	8.24	3.379	0.078435	.
Geno:Prim	1	2.95	2.95	1.211	0.282145	
Geno:Magneto	1	0.74	0.74	0.303	0.587324	
Prim:Magneto	1	1.13	1.13	0.464	0.502129	
Geno:Prim:Magneto	1	24.71	24.71	10.131	0.004002	**
Residuals	24	58.54	2.44			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), tamanho total (Total).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 22A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento do hipocótilo da plântula após de três meses de armazenamento.

<b>t3-HIP</b>	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	0.2195	0.21945	12.252	0.00184	**
Prim	1	0.0185	0.01853	1.034	0.31926	
Magneto	1	0.0102	0.01015	0.567	0.45884	
Geno:Prim	1	0.0957	0.09570	5.343	0.02970	*
Geno:Magneto	1	0.0675	0.06753	3.770	0.06400	.
Prim:Magneto	1	0.0732	0.07315	4.084	0.05458	.
Geno:Prim:Magneto	1	0.0195	0.01950	1.089	0.30712	
Residuals	24	0.4299	0.01791			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), tamanho do hipocótilo (Hip).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 23A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento radicular da plântula após de três meses de armazenamento.

<b>t3-RAIZ</b>	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	0.118	0.1176	0.263	0.613	
Prim	1	0.183	0.1830	0.409	0.529	
Magneto	1	0.019	0.0190	0.042	0.838	
Geno:Prim	1	0.041	0.0406	0.091	0.766	
Geno:Magneto	1	0.006	0.0055	0.012	0.913	
Prim:Magneto	1	0.133	0.1326	0.296	0.591	
Geno:Prim:Magneto	1	0.775	0.7750	1.730	0.201	
Residuals	24	10.749	0.4479			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), tamanho da raiz primária (Raiz).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 24A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica comprimento total da plântula após de três meses de armazenamento.

<b>t3-TOTAL</b>	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	0.656	0.655	1.234	0.278	
Prim	1	0.086	0.0861	0.162	0.691	
Magneto	1	0.001	0.0012	0.002	0.962	
Geno:Prim	1	0.259	0.2592	0.488	0.492	
Geno:Magneto	1	0.108	0.1081	0.203	0.656	
Prim:Magneto	1	0.009	0.0091	0.017	0.897	



Geno:Prim:Magneto	1	1.037	1.0368	1.951	0.175	
Residuals	24	12.753	0.5314			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), tamanho total (Total).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 25A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa fresca da parte radicular da plântula no início do armazenamento.

t0-MF-R	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			47	0.21634		
Geno	1	0.02378	46	0.19256	0.01814	*
Prim	1	0.00435	45	0.18820	0.31195	
Magneto	1	0.00192	44	0.18628	0.50139	
Geno:Prim	1	0.00373	43	0.18254	0.34921	
Geno:Magneto	1	0.00082	42	0.18172	0.66024	
Prim:Magneto	1	0.00069	41	0.18103	0.68652	
Geno:Prim:Magneto	1	0.01061	40	0.17041	0.11440	

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), massa fresca da raiz (MF-R).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 26A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa fresca da parte aérea da plântula no início do armazenamento.

t0-MF-PA	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			47	0.40042		
Geno	1	0.00135	46	0.39906	0.6997	
Prim	1	0.00114	45	0.39792	0.7234	
Magneto	1	0.08422	44	0.38949	0.3369	
Geno:Prim	1	0.000004	43	0.38949	0.9818	
Geno:Magneto	1	0.00216	42	0.38733	0.6267	
Prim:Magneto	1	0.00160	41	0.38572	0.6748	
Geno:Prim:Magneto	1	0.02038	40	0.36534	0.1352	

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), massa fresca da parte aérea (MF-PA).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 27A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa seca da parte radicular da plântula no início do armazenamento.

t0-MS-R	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
---------	----	--------	---------	---------	---------	--

Geno	1	0.00035	0.00035	0.929	0.341	
Prim	1	0.00015	0.00015	0.400	0.531	
Magneto	1	0.00034	0.00034	0.895	0.350	
Geno:Prim	1	0.00003	0.00003	0.088	0.768	
Geno:Magneto	1	0.00006	0.00006	0.173	0.679	
Prim:Magneto	1	0.00011	0.00011	0.290	0.593	
Geno:Prim:Magneto	1	0.00063	0.00063	1.648	0.207	
Residuals	40	0.01538	0.00038			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), massa seca da raiz (MS-R).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 28A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa seca da parte aérea da plântula no início do armazenamento.

t0-MS-PA	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			47	0.11888		
Geno	1	0.00006	46	0.01181	0.61282	
Prim	1	0.00011	45	0.01170	0.51181	
Magneto	1	0.00043	44	0.01127	0.19486	
Geno:Prim	1	0.00001	43	0.01125	0.80445	
Geno:Magneto	1	0.00005	42	0.01119	0.63429	
Prim:Magneto	1	9 x 10 <sup>-8</sup>	41	0.01119	0.98546	
Geno:Prim:Magneto	1	0.00086	40	0.01033	0.06712	.

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), no início do armazenamento (t0), massa seca da raiz (MS-PA).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 29A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa fresca da parte radicular da plântula após três meses de armazenamento.

t3-MF-R	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)	
Geno	1	0.00023	2.34 x 10 <sup>-4</sup>	5.026	0.0306	*
Prim	1	0.00009	9.59 x 10 <sup>-5</sup>	2.060	0.1590	
Magneto	1	0.00004	4.49 x 10 <sup>-5</sup>	0.965	0.3319	
Geno:Prim	1	1 x 10 <sup>-7</sup>	1.40 x 10 <sup>-7</sup>	0.003	0.9561	
Geno:Magneto	1	0.00004	4.35 x 10 <sup>-5</sup>	0.934	0.3395	
Prim:Magneto	1	0.00006	6.13 x 10 <sup>-5</sup>	1.317	0.2579	
Geno:Prim:Magneto	1	0.00001	1.24 x 10 <sup>-5</sup>	0.267	0.6085	
Residuals	40	0.00186	4.66 x 10 <sup>-5</sup>			

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), massa fresca da raiz (MF-R).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 30A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa fresca da parte aérea da plântula após três meses de armazenamento.

t3-MF-PA	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			47	0.00326	0.002301	**
Geno	1	0.00053	46	0.00272	0.660563	
Prim	1	0.00001	45	0.00272	0.247544	
Magneto	1	0.00007	44	0.00264	0.728480	
Geno:Prim	1	0.000006	43	0.00264	0.025669	*
Geno:Magneto	1	0.00028	42	0.00235	0.336598	
Prim:Magneto	1	0.00005	41	0.00230	0.611565	
Geno:Prim:Magneto	1	0.00001	40	0.00228		

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), massa fresca da parte aérea (MF-PA).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 31A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa seca da parte radicular da plântula após três meses de armazenamento.

t3-MS-R	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			47	$1.12 \times 10^{-5}$		
Geno	1	$2.13 \times 10^{-9}$	46	$1.12 \times 10^{-5}$	0.9299	
Prim	1	$6.53 \times 10^{-9}$	45	$1.12 \times 10^{-5}$	0.8776	
Magneto	1	$7.36 \times 10^{-8}$	44	$1.11 \times 10^{-5}$	0.6052	
Geno:Prim	1	$1.68 \times 10^{-8}$	43	$1.11 \times 10^{-5}$	0.8045	
Geno:Magneto	1	$1.02 \times 10^{-8}$	42	$1.11 \times 10^{-5}$	0.8474	
Prim:Magneto	1	$1.43 \times 10^{-7}$	41	$1.10 \times 10^{-5}$	0.4712	
Geno:Prim:Magneto	1	$8.53 \times 10^{-9}$	40	$1.10 \times 10^{-5}$	0.8603	

Signif. Codes: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), massa seca da raiz (MS-R).

Fonte: Da autora (2023).

**Tabela 32A.** Análise de variância das interações dos fatores genótipo, campo magnético e priming para a característica massa seca da parte aérea da plântula após três meses de armazenamento.

t3-MS-PA	Df	Deviance Resid.	Df	Resid. Dev	Pr (>Chi)	
Null			47	$5.11 \times 10^{-5}$		
Geno	1	$3.57 \times 10^{-8}$	46	$5.10 \times 10^{-5}$	0.8653	
Prim	1	$1.93 \times 10^{-7}$	45	$5.08 \times 10^{-5}$	0.6928	
Magneto	1	$4.78 \times 10^{-7}$	44	$5.04 \times 10^{-5}$	0.5350	
Geno:Prim	1	$1.96 \times 10^{-7}$	43	$5.02 \times 10^{-5}$	0.6909	

Geno:Magneto	1	$3.83 \times 10^{-7}$	42	$4.98 \times 10^{-5}$	0.5785	
Prim:Magneto	1	$1.10 \times 10^{-9}$	41	$4.98 \times 10^{-5}$	0.9762	
Geno:Prim:Magneto	1	$1.46 \times 10^{-7}$	40	$4.96 \times 10^{-5}$	0.7314	

Signif. Codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Onde, genótipo (Geno), priming (Prim), campo magnético (Magneto), após de três meses de armazenamento (t3), massa seca da raiz (MS-PA).

Fonte: Da autora (2023).