

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC

CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV

MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL

ÂNDERSON SCALVI SOMMER

**VIGOR EM SEMENTES DE MILHO HÍBRIDO E SUA RELAÇÃO COM A
HIDRÓLISE, MOBILIZAÇÃO DE RESERVAS E DESEMPENHO DE PLÂNTULAS
SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO**

LAGES

2022

ÂNDERSON SCALVI SOMMER

**VIGOR EM SEMENTES DE MILHO HÍBRIDO E SUA RELAÇÃO COM A
HIDRÓLISE, MOBILIZAÇÃO DE RESERVAS E DESEMPENHO DE PLÂNTULAS
SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Cileide Maria Medeiros Coelho

LAGES

2022

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Sommer, Anderson Scalvi

Vigor em sementes de milho híbrido e sua relação com a hidrólise, mobilização de reservas e desempenho de plântulas sob condições de estresse salino / Anderson Scalvi Sommer. -- 2022.
116 p.

Orientador: Cileide Maria Medeiros Coelho
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2022.

1. Zea mays L.. 2. Estresse abiótico. 3. Desempenho fisiológico. 4. Componentes de reserva. 5. Enzimas hidrolíticas. I. Medeiros Coelho, Cileide Maria . II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. III. Título.

ÂNDERSON SCALVI SOMMER

**VIGOR EM SEMENTES DE MILHO HÍBRIDO E SUA RELAÇÃO COM A
HIDRÓLISE, MOBILIZAÇÃO DE RESERVAS E DESEMPENHO DE PLÂNTULAS
SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Produção Vegetal.

BANCA EXAMINADORA



Orientador: _____

Prof^ª. Dra. Cileide Maria Medeiros Coelho
UDESC/Lages-SC



Membro _____

Dra. Daniele Nerling
Membro Interno – UDESC/Lages-SC

Membro _____

Prof^ª. Dra. Vanessa Neumann Silva
Membro externo – UFFS/Chapecó - SC

Lages, 23 de fevereiro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, mestre Jesus e toda egregora espiritual que me acompanha, em especial a minha mentora, minha equipe espiritual de evolução e de missão, que muito me intuem protege e me direciona a cada dia que passa ser um ser melhor do que fui nos dias passados.

Agradeço a minha família pelo apoio, amorosidade, palavras de incentivo e companheirismo, em especial a Salete do Prado Sommer, Raquel do Prado Sommer, Patricia do Prado Sommer; Gabriel do Prado Sommer; Marineide Dalmina Sommer, Pedro Ademir dos Santos Sommer, Maria Adila da Rocha Sommer, Cleverson Dalmina Sommer, Inajara da Rocha Sommer; João Gabriel Sommer, Albino Angelo Scalvi, Tereza dos Santos e Eliane Lavratti, gratidão por tudo.

Sou imensamente grato a três pessoas que infelizmente hoje não pertencem ao plano terrestre na forma carnal. Gratidão por partilharem momentos inesquecíveis comigo. Por mais curto que possa ter sido o período, restrito a uma gestação, senti a todo momento seu afeto emanado em minha direção, em seu ventre minha Mãe Neiva de Lourdes Scalvi Sommer saiba que as conquistas em minha trajetória evolutiva são nossas. A minha avó materna Maria Marobin Scalvi, consigo me ver pequenino correndo ao encontro de seu afetuoso abraço, sendo vigiado zelosamente por seus olhos extremamente azuis. Agradeço imensamente a mulher que me inspira a ser um ser cada dia melhor, que apesar de todas as dificuldades que enfrentava acolheu-me em seu peito em um dos momentos que mais precisei, me presenteando com uma das coisas mais valiosas dessa existência, um lar, gratidão por tudo Avó/Mãe/Pai Maria Carolina do Prado Sommer, não me gerastes em seu ventre, mas me gerastes em seu coração.

Agradeço aos amigos que fiz durante esse período aqui em Santa Catarina, em especial a Cristiane Carlesso, Alba Nise Merícia Rocha Santos, Matheus Rodrigues Magalhães Albuquerque, Jaqueline Garcia, Dahise Brilinger, Matheus Santin Padilha, Samara Campos do Nascimento, Daniele Nerling e Camile Castoldi, vocês se tornaram minha família afetiva. E também agradeço aos amigos que por mais distante fisicamente, estiveram sempre afetivamente presente Ivan Rodrigo Neuls, Juliana Nadal, Daniela da Silva, Wagner Antonio Tamagno, Thaine Bozzetti Santos e Anderson Lazzarotto.

À minha orientadora, Cileide Maria Medeiros Coelho, pela orientação, paciência, conselhos e pelos ensinamentos transmitidos.

Aos colegas de laboratório pela convivência e amizade durante esse período.

À UDESC e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de

Ciências Agroveterinárias pelo suporte e qualidade de ensino.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina, pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço a todos os professores que me auxiliaram nessa caminhada, e a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para o meu crescimento profissional e pessoal durante essa trajetória.

A todos vocês dedico a frase:

“Só não vê anjos aquele que não presta atenção nas pessoas que Deus coloca em
nossas vidas.”

-Rhozemyr Manfredine

Gratidão...

RESUMO

O milho é um cereal de verão importante para a alimentação humana. A planta apresenta baixa prolificidade e alta competição interespecífica, assim o arranjo de plântulas perante a distribuição e ao desenvolvimento são primordiais para o rendimento da cultura, fato esse que está intimamente relacionado com a qualidade fisiológica das sementes. Sob condições de campo, a planta pode passar por estresses adversos, os quais podem provocar alterações em seu metabolismo, crescimento e desenvolvimento, podendo ser biótico ou abiótico. O estresse salino é considerado um dos estresses abióticos de maior severidade. Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar se os componentes fisiológicos e bioquímicos são determinantes na formação e no desenvolvimento de plântulas sob condições de campo e de estresse salino em sementes com vigor contrastantes, além de indicar se os componentes bioquímicos são determinantes na formação de plântulas durante o processo de germinação sob condições de estresse salino. O trabalho foi dividido em três capítulos. O capítulo I foi conduzido em dois ambientes, sendo em laboratório e no campo, ambos formados por dois tratamentos, os quais referem-se a um grupo de lotes de alto vigor (AV), e um de baixo vigor (BV), cada grupo constituído por quatro lotes. O capítulo II foi conduzido sob arranjo fatorial 2X5, o primeiro fator formado por um grupo de lotes de AV, e um de BV, conforme capítulo I, e 5 concentrações de NaCl (0, 50, 100, 150 e 200 mmol. L⁻¹). O capítulo III foi conduzido sob arranjo fatorial 2x2x5, utilizando dois lotes de vigor contrastantes, duas condições (com e sem estresse salino), e cinco tempos durante o processo de germinação e formação de plântula (0, 2, 4, 6 e 8 dias após a semeadura (DAS)). Em todos os capítulos foram realizadas análises fisiológicas em relação às estruturas, como comprimento, massa das plântulas e germinação, em adicional a emergência no capítulo I. No capítulo III foram realizadas análises bioquímicas dos componentes de reserva, enzimas hidrolíticas e os respectivos hidrolisados. No capítulo I, observou-se que entre o intervalo do quinto dia após a semeadura até o vigésimo primeiro podem ser utilizados para a segregação pelo vigor das sementes, além disso, o vigor das sementes proporciona uma maior velocidade e uniformidade de emergência a campo, sendo determinante para formar plântulas vigorosas. No capítulo II, foi constatado que o estresse salino de forma progressiva interfere negativamente no desempenho fisiológico das plântulas independente do vigor das sementes, mas sementes de AV superaram as condições de estresse formando plântulas mais vigorosas. E no capítulo III, sementes de AV proporcionam desempenho de plântulas superior sob condições de estresse salino, sendo os componentes bioquímicos fitato, proteína total e fósforo inorgânico associados com a semente de AV na situação controle no segundo DAS, a fitase, açúcar solúvel total e α amilase estão associados com a semente de AV na situação de estresse, e em relação as plântulas originadas de sementes de AV sob estresse salino, os componentes bioquímicos associados são o fósforo inorgânico e o açúcar solúvel total.

Palavras-chave: *Zea mays* L., Estresse abiótico; Desempenho fisiológico; Componentes de reserva; Enzimas hidrolíticas.

ABSTRACT

VIGOR IN HYBRID CORN SEEDS AND ITS RELATIONSHIP WITH HYDROLYSIS, MOBILIZATION OF RESERVES, AND SEEDLINGS PERFORMANCE UNDER SALINE STRESS CONDITIONS

Corn is an important summer cereal for human consumption. The plant has low prolificacy and high interspecific competition, so the arrangement of seedlings in terms of distribution and development is essential for crop yield, a fact that is closely related to the physiological quality of the seeds. Under field conditions, the plant can undergo adverse stresses, which can cause changes in its metabolism, growth, and development, which can be biotic or abiotic. Salt stress is considered one of the most severe abiotic stresses. In this sense, the objective of this work was to evaluate whether the physiological and biochemical components are decisive in the formation and development of seedlings under field conditions and saline stress in seeds with contrasting vigor, in addition to indicating whether the biochemical components are decisive in the formation of seedlings during the germination process under saline stress conditions. The work was divided into three chapters. Chapter I was conducted in two environments, in the laboratory and in the field, both formed by two treatments, which refer to a group of high vigor (HV) and a low vigor (LV) batches, each group consisting of four lots. Chapter II was conducted under a 2X5 factorial arrangement, the first factor formed by a group of lots of AV, and one of BV, according to chapter I, and 5 concentrations of NaCl (0, 50, 100, 150, and 200 mmol. L⁻¹). Chapter III was conducted under a 2x2x5 factorial arrangement, using two contrasting vigor lots, two conditions (with and without salt stress), and five times during the germination and seedling formation process (0, 2, 4, 6, and 8 days) after sowing (DAS). In all chapters, physiological analyzes were carried out in relation to structures, such as length, seedling mass, and germination, in addition to the emergence in chapter I. In chapter III, biochemical analyzes of reserve components, hydrolytic enzymes, and their respective hydrolysates were carried out. In chapter I, it was observed that between the interval of the fifth day after sowing until the twenty-first day, they can be used for segregation by seed vigor, in addition, seed vigor provides greater speed and uniformity of emergence in the field, being decisive to form vigorous seedlings. In chapter II, it was found that saline stress progressively interferes negatively in the physiological performance of seedlings regardless of seed vigor, but HV seeds overcame the stress conditions, forming more vigorous seedlings. And in chapter III, HV seeds provide superior seedling performance under saline stress conditions, with the biochemical components phytate, total protein, and inorganic phosphorus associated with HV seed in the control situation in the second DAS, total soluble sugar phytase and α amylase are associated with the HV seed in the stress situation, and in relation to seedlings originated from HV seeds under saline stress, the associated biochemical components are inorganic phosphorus and total soluble sugar.

Keywords: *Zea mays* L., Abiotic stress; Physiological performance; Reserve components; Hydrolytic enzymes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Condições climáticas de três dias antes da semeadura e durante a emergência e estabelecimento de plântulas a campo.	35
Figura 2 - Desempenho fisiológico de plântulas originadas de sementes de alto vigor (AV) e baixo vigor (BV), após três dias de semeadura em ambiente laboratorial.....	37
Figura 3 - Performance de emergência a campo de lotes de alto e baixo vigor.	41
Figura 4 - Desempenho fisiológico de plântulas originadas de sementes de alto vigor (AV) e baixo vigor (BV), 21 dias após a semeadura em condições de campo.	42
Figura 5 - Desempenho fisiológico de plantas originadas de sementes de alto vigor (AV) e baixo vigor (BV), 21 dias após a semeadura em condições de campo.	44
Figura 6 - Desempenho fisiológico em relação ao processo de germinação.	56
Figura 7 - Resultados do desempenho fisiológico de lotes de alto vigor (AV), e baixo vigor (BV).	59
Figura 8 - Desempenho fisiológico de plântulas originadas de sementes de alto vigor (AV) e baixo vigor (BV) sob situação controle e estresse salino.	76
Figura 9 - Desempenho fisiológico de plântulas oriundas de lote de semente de alto vigor (AV) e baixo vigor (BV) sob situação controle e estresse salino.	78
Figura 10 - Teor de proteína total (PT), e solúvel (PS) em lotes de alto e baixo vigor sob situação controle e estresse salino.	82
Figura 11 - Teor de Fitato, fosforo inorgânico (Pi) e atividade de fitase em lotes de alto e baixo vigor sob situação controle e estresse salino.	85
Figura 12 - Teor de amido, açúcares solúveis totais (AST) e atividade da α amilase em lotes de sementes de milho de alto e baixo vigor sob situação controle e estresse salino.	88
Figura 13 - Diagrama de ordenação por Análise de Componentes Principais (PCA) das respostas bioquímicas observadas no endosperma e escutelo.	91
Figura 14 - Diagrama de ordenação por Análise de Componentes Principais (PCA) das respostas fisiológicas e bioquímicas da plântula.	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Identificação e caracterização dos lotes de sementes de híbridos de milho.....	33
Tabela 2 - Segregação do vigor pelo índice de vigor (IV).	36
Tabela 3 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre a emergência a campo por dia e o índice de vigor avaliado em laboratório.	40
Tabela 4 - Correlação das variáveis de emergência a campo aos 21 dias após a semeadura. ..	45
Tabela 5 - Concentrações e/ou níveis de estresse salino através de soluções de NaCl (cloreto de sódio).....	49
Tabela 6 - Caracterização e segregação dos lotes de semente de milho quanto ao vigor.	54
Tabela 7 - Segregação do nível do vigor através da primeira contagem da germinação (PCG), e teste de frio (TF).	73
Tabela 8 - Primeira contagem da germinação (PCG), e germinação (G) em ambiente controle (H ₂ O), e sob estresse salino (NaCl).	74
Tabela 9 - Resumo do quadro de análise de variância para a segregação do vigor. Resultados entre o fator lotes (F1), para as variáveis: germinação (G), e índice de vigor (IV).	106
Tabela 10 - Resumo do quadro de análise de variância para desempenho fisiológico de plântulas aos três dias após a semeadura (ambiente laboratorial). Resultados entre o fator vigor (F1), para as variáveis: comprimento da parte aérea (CPA), comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento total da plântula (CTP), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), e massa seca total da plântula (MSTP).....	106
Tabela 11 - Desempenho fisiológico de plântulas aos três dias após a semeadura (ambiente laboratorial).....	106
Tabela 12 - Resumo do quadro de análise de variância em relação a emergência a campo perante os 21 dias após a semeadura. Resultados entre o fator vigor (F1).....	107
Tabela 13 - Emergência a campo perante os 21 dias após a semeadura.	107
Tabela 14 - Resumo do quadro de análise de variância em relação ao desempenho de plantas a campo aos 21 dias após a semeadura. Resultados entre o fator vigor (F1), para as variáveis: volume do sistema radicular (VSR), e diâmetro do colmo (DC)....	108
Tabela 15 - Desempenho fisiológico de plantas a campo aos 21 dias após a semeadura (condições de campo).	108

Tabela 16 - Resumo do quadro de análise de variância em relação ao desempenho de plantas a campo aos 21 dias após a semeadura. Resultados entre o fator vigor (F1), para as variáveis: comprimento da parte aérea (CPA), comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento total da planta (CTP), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), e massa seca total da planta (MSTP).	108
Tabela 17 - Desempenho fisiológico de plantas a campo aos 21 dias após a semeadura (condições de campo).	108
Tabela 18 - Resumo do quadro de análise de variância para a segregação do vigor e agrupamento em lotes de AV (alto vigor), e BV (baixo vigor): Resultados entre o fator vigor (F1), para as variáveis: primeira contagem germinação (PCG), envelhecimento acelerado (EA).	109
Tabela 19 - Resumo do quadro de análise de variância: Resultados entre o fator vigor (F1) e concentrações e/ou níveis de estresse salino (F2) para as variáveis: Primeira contagem de germinação (PCG), germinação (G), plântulas anormais (PA), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento total da plântula (CTP), massa seca da parte aérea (CPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), massa seca total da plântula (MSTP), número de raízes (NR), e taxa de mobilização das reservas da semente (TMRS).	109
Tabela 20 - Primeira contagem de germinação (PCG), germinação (G), plântulas anormais (PA), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento total da plântula (CTP), massa seca da parte aérea (CPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), massa seca total da plântula (MSTP), número de raízes (NR) e taxa de mobilização das reservas da semente (TMRS), de lotes de alto e baixo vigor sob diferentes concentrações de NaCl e/ou níveis de salinidade avaliados aos sete dias após a semeadura ou início do teste.	110
Tabela 21 - Resumo do quadro de análise de variância para a segregação do vigor em lote de AV (alto vigor), e BV (baixo vigor): Resultados entre o fator vigor (F1), para as variáveis: primeira contagem germinação (PCG), teste de frio (TF).	111
Tabela 22 - Resumo do quadro de análise de variância: Resultados entre o fator vigor (F1) e estresse (F2), para as variáveis: primeira contagem germinação (PCG), e germinação (G).	111
Tabela 23 - Resumo do quadro de análise de variância: Resultados entre o fator vigor (F1), estresse (F2) e dias após a semeadura (F3), para as variáveis fisiológicas:	

Comprimento da parte aérea (CPA), comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento total da plântula (CTP), massa seca da parte aérea (CPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), e massa seca total da plântula (MSTP).....	112
Tabela 24 - Resumo do quadro de análise de variância: Resultados entre o fator vigor (F1), estresse (F2) e dias após a semeadura (F3), para as variáveis bioquímicas do endosperma e escutelo: Proteína total (PT), proteína solúvel (PS), amido, açúcar solúvel total (AST), fitato, fosforo inorgânico (Pi), α Amilase e fitase.	112
Tabela 25 - Resumo do quadro de análise de variância: Resultados entre o fator vigor (F1), estresse e/ ou plântula (F2) e dias após a semeadura (F3), para as variáveis bioquímicas do eixo embrionário: Proteína solúvel (PS), açúcar solúvel total (AST), e fosforo inorgânico (Pi).....	113
Tabela 26 - Comprimento da parte aérea (CPA), comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento total da plântula (CTP), massa seca da parte aérea (CPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), massa seca total da plântula (MSTP), de lote de alto e baixo vigor sob situação controle (H ₂ O), e estresse salino (NaCl), em relação a dias após a semeadura (DAS).....	114
Tabela 27 - Proteína total (PT), proteína solúvel (PS), amido, açúcar solúvel total (AST), fitato, fosforo inorgânico (Pi), α Amilase e fitase, de lote de alto e baixo vigor sob situação controle (H ₂ O), e estresse salino (NaCl), em relação a dias após a semeadura (DAS), no endosperma e escutelo.	115
Tabela 28 - Proteína solúvel (PS), açúcar solúvel total (AST), fosforo inorgânico (Pi), de lote de alto e baixo vigor sob situação controle (H ₂ O), e estresse salino (NaCl), em relação a dias após a semeadura (DAS), no eixo embrionário e/ ou na plântula.	116

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO	18
2.2. QUALIDADE FISIOLÓGICA DA SEMENTE	19
2.2.1 O processo de germinação	20
2.2.2 Vigor das sementes e sua relação com a germinação e estabelecimento de plântulas	20
2.3 SALINIDADE: UM ESTRESSE POTENCIALMENTE DANOSO PARA A AGRICULTURA	21
2.3.1 Processos metabólicos e fisiológicos alterados pela salinidade	22
2.3.2 Estratégias adaptativas dos vegetais em relação a salinidade.....	25
2.4 COMPOSIÇÃO E USO DOS COMPONENTES DE RESERVA DAS SEMENTES DE MILHO DURANTE O PROCESSO DE GERMINAÇÃO	26
3 ALTO VIGOR DE SEMENTES DE MILHO HÍBRIDO É DETERMINANTE PARA A EMERGÊNCIA E ESTABELECIMENTO DE PLÂNTULAS A CAMPO	30
3.1 INTRODUÇÃO.....	31
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.2.1 Redução do vigor.....	32
3.2.2 Obtenção da amostra de trabalho.....	33
3.2.3 Categorização dos lotes de semente	33
3.2.4 Desempenho de plântulas	34
3.2.5 Emergência e desempenho fisiológico de plantas a campo.....	34
3.2.6 Análise estatística	35
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
3.4 CONCLUSÃO.....	46
4 PLÂNTULAS ORIGINADAS DE SEMENTES DE ALTO VIGOR APRESENTAM MAIOR TOLERÂNCIA AO ESTRESSE SALINO	47
4.1 INTRODUÇÃO.....	48
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	49
4.2.1 Material vegetal	50
4.2.2 Redução do vigor.....	50

4.2.3 Obtenção da amostra de trabalho.....	51
4.2.4 Caracterização dos lotes de semente	51
4.2.5 Determinação do percentual de germinação e desempenho de plântulas sob diferentes níveis e/ou concentrações de estresse salino	52
4.2.6 Análise estatística	53
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.4 CONCLUSÃO.....	62
5 HIDRÓLISE E MOBILIZAÇÃO DAS RESERVAS DE SEMENTES DE MILHO HÍBRIDO DE ALTO VIGOR SÃO DETERMINANTES PARA UMA PERFORMANCE DE PLÂNTULA SUPERIOR SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO.....	63
5.1 INTRODUÇÃO.....	64
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	66
5.2.1 Redução do vigor.....	67
5.2.2 Obtenção da amostra de trabalho.....	67
5.2.3 Caracterização dos lotes de sementes e determinação do percentual de germinação e desempenho de plântulas sob estresse salino	67
5.2.4 Determinação dos componentes bioquímicos	68
5.2.5 Análise estatística	72
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
5.4 CONCLUSÃO.....	93
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS.....	94
7 REFERÊNCIAS	96
8 ANEXOS	106
8.1 ANEXOS CAPÍTULO I.....	106
8.2 ANEXOS CAPÍTULO II	109
8.3 ANEXOS CAPÍTULO III	111

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.), é pertencente à família das Poaceae, apresentando elevada importância socioeconômica, sendo empregado na dieta humana, animal e como insumo para outras utilidades (CESCONETTO et al., 2021). É uma matéria prima muito importante para a fabricação de biocombustível, sendo que o Brasil é o segundo maior produtor de biocombustível ficando atrás apenas dos Estados Unidos e na sequência a União Europeia (CONDON; KLEMICK; WOLVERTON, 2015).

A cultura do milho apresenta peculiaridades como a baixa prolificidade e a alta competição interespecífica, dessa forma o arranjo de plantas em relação a emergência e ao desenvolvimento são fatores importantes para garantir a produtividade da cultura (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001). O estabelecimento da cultura é uma fase crucial, sendo dependente da emergência, processos estes que estão intimamente associados ao rendimento da cultura (LAXA et al., 2019; UÇARLI, 2020). Para que o estabelecimento de plântula seja uniforme e efetuado com sucesso, a semeadura deve ser realizada com sementes de boa qualidade (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016), principalmente sob condições de estresse.

O estresse é observado quando ocorre qualquer alteração do meio em que o vegetal está inserido, que altere o desenvolvimento de forma natural, podendo ser biótico ou abiótico (LAXA et al., 2019). As plantas são organismos vivos de natureza sésil, dessa forma ficam expostas a uma série de estressores, como por exemplo excesso de água, deficiência hídrica, temperaturas elevadas ou amenas, metais pesados e também a salinidade, que limitam o rendimento, sendo que, em uma situação de campo, vários desses estressores podem estar atuando de forma conjunta (UÇARLI, 2020).

Os vegetais, independente da fase de desenvolvimento, submetidos a condições não favoráveis tendem a elevar a produção de espécies reativas de oxigênio, compostos que são potencialmente danosos em grandes quantidades para o metabolismo e estruturas das células, contudo, o estágio de plântula é considerado o mais sensível a danos oxidativos (ALI et al., 2018). Para a cultura do milho, essas fases iniciais são altamente sensíveis a fatores estressantes, principalmente ao estresse salino (SABAGH et al., 2021).

Aproximadamente 3,6 milhões de hectares de solo agricultável são afetados pela salinidade, erosão e degradação, tendo um aumento de 1-2% ao ano (SEHRAWAT et al., 2019). O cenário global das mudanças climáticas vem agravando exponencialmente o processo de

salinização dos solos, colocando em risco a segurança alimentar da população humana em todo o mundo (YAN et al., 2014; SABAGH et al., 2021).

O estresse salino interfere no desenvolvimento dos vegetais de duas formas distintas, sendo em um primeiro momento através da deficiência hídrica, resultado da redução do potencial osmótico do vegetal, e em um segundo momento, os vegetais com o intuito de superar o estresse hídrico, absorvem íons principalmente Na e Cl, o que causa a perturbação iônica (SANTOS et al., 2015; TIDKE et al., 2019; MIRANSARI; SMITH, 2019).

A salinidade é um estresse rigoroso tendo efeitos negativos nos processos fisiológicos e bioquímicos associados ao crescimento e ao desenvolvimento (POLASH; SAKIL; HOSSAIN, 2019). Nesse sentido, sob condições salinas, as plantas necessitam ativar diferentes mecanismos fisiológicos e bioquímicos para superar tal condição desfavorável, resultando em alterações nas características fisiológicas, anatômicas e bioquímicas de rotas metabólicas (KATARIA; VERMA, 2018). Os componentes fisiológicos e morfológicos destacam-se por estarem associados a tolerância ao estresse salino (KAKAR et al., 2019). Sob essa ótica, o vigor das sementes é um atributo referente à qualidade fisiológica de grande importância no que diz respeito a germinação, emergência, desempenho de plântulas e tolerância a situações de estresses abióticos (DWIVEDI et al., 2021). A rápida germinação e estabelecimento de plântulas é importante para a produção das culturas sob condições de estresse, em especial o salino (UÇARLI, 2020), fases críticas para a cultura do milho.

Um dos testes amplamente utilizados para mensurar a qualidade fisiológica da semente, com ênfase para o vigor, é a emergência a campo (MARCOS-FILHO, 2020a), contudo é um desafio para os analistas de sementes definir quantos dias após a semeadura é o melhor ponto para a mensuração do vigor. Outros desafios são compreender a expressão do vigor em relação a superação de condições ambientais de estresses abióticos, principalmente em relação ao estresse salino e quais componentes bioquímicos estão envolvidos desse processo.

A semente, durante o seu desenvolvimento, acumula em seus tecidos reservas carboidratos, lipídeos, proteínas e compostos minerais (fitato), compostos estes de significativa importância durante o processo de germinação e formação da plântula, pois serão hidrolisados em compostos de menor peso molecular e translocados para os pontos de crescimento do eixo embrionário, onde constituirão os novos tecidos da plântula, além de constituírem moléculas orgânicas funcionais do metabolismo celular (DWIVEDI et al., 2021).

A germinação e formação de plântulas é um processo biológico que necessita de compostos orgânicos para constituir tecidos e fonte de energia metabólica, para tanto, os componentes de reservas estocados durante as fases de formação de semente são hidrolisados

do escutelo e endosperma para os pontos de crescimento nas monocotiledôneas (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016). A taxa de redução e de mobilização das reservas estão intimamente associadas com a formação de plântulas com maiores dimensões de comprimento de suas estruturas e suas respectivas massas, a qual repercute o vigor que a semente tem, uma vez que sementes de alto vigor possuem maior taxa de redução e de mobilização das reservas da semente (ANDRADE; COELHO; PADILHA, 2019; PADILHA; COELHO; EHRHARDT-BROCARD, 2021). Dessa forma, entender a resposta do vigor das sementes em relação a adaptação a situações de estresse salino, e as alterações bioquímicas em processo de germinação e formação de plântula sob situações de estresse, principalmente o salino, ainda é um desafio, necessitando de estudos específicos perante a temática.

Com base nisso, a dissertação foi dividida em três capítulos, onde o Capítulo I tem por objetivo determinar quantos dias após a semeadura pode-se avaliar o vigor de sementes de milho híbrido e determinar se sementes com níveis de vigor contrastantes são determinantes para a formação de plântulas vigorosas de milho sob condições de campo. O capítulo II tem por objetivo determinar se os parâmetros fisiológicos de lotes de semente de milho híbrido com vigor contrastante são determinantes para a formação de plântulas mais vigorosas sob diferentes níveis de estresse salino durante o processo de germinação e formação de plântula. E o Capítulo III verificar se o vigor das sementes é determinante para o processo de germinação e formação de plântulas sob condições de estresse salino, e indicar os componentes bioquímicos relacionados com a expressão do alto vigor.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. IMPORTÂNCIA DA CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.), é um cereal de verão pertencente à família das Poaceae, tribo Maydeae, gênero *Zea* e espécie *mays*. Sua perpetuação perante os anos está intimamente relacionada com a civilização humana, uma vez que atingiu o auge da domesticação, perdendo dessa forma características evolutivas de adaptação, tornando-se extremamente dependente do homem (PATERNIANI; CAMPOS, 2005).

É uma cultura que apresenta significativa importância, ocupa a terceira colocação em importância mundial entre os cereais, estando abaixo da cultura do arroz e trigo, além disso, pode ser cultivada em vários tipos de solo, clima e sob diferentes tipos de manejo, configuração está proporcionada pela sua alta adaptação para cultivo (HOQUE; JUN; GUOYING, 2014; PANUCCIO et al., 2018).

O milho possui grande importância para a alimentação humana, seja na forma direta ou indireta. É empregado em diversas atividades agropecuárias como base alimentar (YIN et al., 2020; CESCO NETTO et al., 2021). Em nível nacional, de acordo com Lima, Paes e Queiroz (2011), essa matéria-prima é empregada como fonte de energia na elaboração de rações de aves e suínos compondo 80% da dieta, estabelecendo do ponto de vista econômico, um custo de produção de aproximadamente 70%. No sul do Brasil, essas duas atividades são relativamente expressivas, sendo dessa forma um insumo de produção que desempenha um papel socioeconômico primordial perante os produtores rurais que trabalham com essas atividades e toda a cadeia de produção e beneficiamento (NETO et al., 2008). Além disso, representa uma cultura modelo para estudos de fisiologia e bioquímica em relação ao vigor, tendo em vista sua estabilidade genética.

No decorrer da elevação do potencial de produção dessa cultura tão importante, grande parte desse aumento significativo decorre do processo de melhoramento genético vegetal e da melhoria das práticas de manejo, bem como da elucidação científica de vários processos que circundam a cultura. Contudo, para que esse processo de incremento perdure durante os anos, novas variedades e técnicas de manejo devem ser desenvolvidas, pesquisadas e incrementadas nos sistemas de produções, juntamente com o suporte científico (NETO et al., 2008; BORÉM; MIRANDA, 2013). Para Sangoi et al. (2002), a integração entre fisiologia, ecologia e melhoramento genético vegetal são importantes para a constituição de ideotipos de plantas de

milho promissoras e eficientes no uso dos recursos ambientais disponíveis, bem com superação de condições desfavoráveis.

Em relação ao manejo e desenvolvimento da cultura, de forma geral, observa-se que o perfilhamento é indesejado, pois normalmente não produzem espigas. Além disso, para desenvolver a maquinaria física dessas estruturas são requeridos uma série de fotoassimilados, os quais poderiam ser direcionados para os grãos do colmo principal (MAGALHÃES, 2011). Nesse sentido, o milho possui uma baixa prolificidade e baixa capacidade de compensar através do perfilhamento, assim o arranjo de plantas perante a distribuição e ao desenvolvimento das plântulas são fatores determinantes para o rendimento de grãos da cultura (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001). De acordo com Argenta, Silva e Sangoi (2001), o aumento do rendimento da cultura do milho em relação ao manejo será possível através da tolerância ao estresse e emergência de plântulas uniformes, fato esse que está intimamente relacionado à qualidade fisiológica das sementes utilizadas.

2.2 QUALIDADE FISIOLÓGICA DA SEMENTE

O potencial fisiológico da semente é representado pelo poder germinativo e pelo vigor, estando associados a produção de uma plântula normal, sendo a semente a responsável pelo início da produção agrícola, onde sua qualidade interfere significativamente em todo o desenvolvimento vegetal, iniciando com a germinação, emergência e possibilitando elevada produção final (DIAS; MONDO; CICERO; 2010; MONDO et al., 2012). Para a cultura do milho, em relação ao estabelecimento de estande de plântula é importante a utilização de sementes com alta qualidade fisiológica para a semeadura (KHALID et al., 2018).

A qualidade fisiológica da semente está intimamente relacionada com o estado de deterioração que a mesma se encontra, deste modo, sementes deterioradas possuem menor qualidade fisiológica, o que repercute em um primeiro momento na redução do vigor e em um segundo momento, na redução do número de plântulas normais, até a morte da semente (MARCOS-FILHO, 2020a). Essa série de alterações que resulta na morte da semente consistem em alteração na síntese e atividade das mitocôndrias, redução das reservas da semente, desnaturação das proteínas, aumento de ácidos graxos livres, redução da atividade enzimática, redução dos níveis de açúcares, diminuição da síntese proteica, redução da síntese de RNA, dentre outros (MARCOS-FILHO, 2015b).

Outro fator preponderante para a qualidade fisiológica está associado as condições ambientais que essa semente foi produzida juntamente com o manejo e também a base genética (NERLING; COELHO; BRÜMMER, 2018). De acordo com Martínez-Ballesta et al. (2020), durante a fase de formação das sementes, condições desfavoráveis de solo como salinidade e presença de metais pesados, podem prejudicar significativamente o metabolismo de estocagem e mobilização de amido e proteínas de armazenamento dos tecidos da planta mãe para o endosperma filial.

2.2.1 O processo de germinação

A germinação e formação de plântula é um processo dinâmico controlado por uma série de genes de forma coordenada (FU; AHMED; DIEDERICHSEN, 2015), sendo de muita valia para a ecologia das espécies vegetais, uma vez que determina o desenvolvimento e a perpetuação das espécies, e do ponto de vista agrônomo, determina também a produtividade das culturas (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016; DWIVEDI et al., 2021).

O processo de germinação possui três fases as quais são embasadas na curva de absorção de água. A fase I é marcada pela rápida absorção de água a qual hidrata as células da semente, essa fase também é marcada pela elevação da respiração celular (ALI et al., 2019). Na sequência vem a fase II, a qual consiste em um platô em relação a absorção de água, inicia-se o processo de hidrólise e mobilização das reservas, processo esse que ocorrerá de forma mais intensa na fase III, a qual retoma o acréscimo de absorção de água e seu início é marcado pela protrusão da radícula (HAN et al., 2013). É valido salientar que a fase de germinação e formação de plântula é sensível a estresses, bióticos e abióticos (TAIZ et al., 2017).

2.2.2 Vigor das sementes e sua relação com a germinação e estabelecimento de plântulas

O vigor, em especial, está correlacionado com a plasticidade vegetal no início do estabelecimento do estande de plantas de uma lavoura, conferindo potencialidades para as sementes germinarem, emergirem e formarem plântulas de forma rápida e uniforme sob condições ambientais diversas (DIAS; MONDO; CICERO, 2010). De acordo com Mondo et al. (2013), lotes de sementes com alto vigor proporcionam melhor crescimento inicial da cultura do milho. O vigor é um dos principais determinantes em relação ao rendimento vegetal, principalmente em relação as culturas que possuem baixa prolificidade e alta competição entre

os indivíduos da população, especialmente sob condições ambientais adversas que possam acometer o estabelecimento de plântulas (WATERWORTH; BRAY; WEST, 2015).

As plântulas originadas de sementes com menor vigor possuem menor desenvolvimento e capacidade de competir com plântulas originadas de sementes de maior vigor, sendo dessa forma dominada (MONDO et al., 2012; MONDO et al., 2013). As sementes de menor nível de vigor encontram-se com a estrutura, fisiologia e metabolismo mais debilitada, necessitando de um período maior se comparado com sementes de vigor superior para reestruturação durante o processo de germinação, além disso, essa debilidade está intimamente relacionada a peroxidação de lipídeos, perda da capacidade de proteção das sementes, dano no material genético e consumo de material de reserva para o reparo ou durante a respiração (ANDRADE; COELHO; PADILHA, 2019; EBONE; CAVERZAN; CHAVARRIA. 2019).

O vigor das sementes, por sua vez, é um dos fatores que possibilitou a perpetuação das espécies vegetais perante os mais abruptos ambientes. Logo, entender esse mecanismo na atualidade ainda é um desafio, principalmente em nível fisiológico e bioquímico. Nesse sentido a ciência vem buscando elucidar processos através das pesquisas fisiológicas, bioquímicas atreladas aos sistemas de defesa do organismo, como o sistema antioxidante.

2.3 SALINIDADE: UM ESTRESSE POTENCIALMENTE DANOSO PARA A AGRICULTURA

O estresse biológico é conceitualmente tratado como qualquer alteração e/ou mudança nas condições ambientais onde o organismo biológico está inserido, tendo como consequência alterações em seu metabolismo, crescimento e desenvolvimento natural (LOPES; LIMA, 2015). Os vegetais são organismo sésseis, ficando sujeitos a uma série de agentes estressores no ambiente onde estão inseridos, sendo estes bióticos e abióticos (XIE et al., 2019), principalmente em uma realidade de campo. Com o intuito de minimizar os impactos negativos dos estressores bióticos, uma série de defensivos agrícolas foram desenvolvidos, por outro lado, os fatores abióticos são de difícil controle, ficando a cargo de estudos adaptativos, seleção de genótipos tolerantes dentro das populações de indivíduos, mecanismos fisiológicos de adaptação e uso de microorganismos (GOND et al., 2015).

A salinidade dos solos agricultáveis é um problema que afeta a agricultura de forma global (KEISHAM; MUKHERJEE; BHATLA, 2018). A alta concentração de sais perante o perfil do solo (principalmente NaCl), pode ocasionar danos significativos no estabelecimento e desenvolvimento das culturas (LIMA JUNIOR; SILVA, 2010; PAUL; LADE, 2014). O

processo de salinização do solo ocorre de forma natural no ecossistema, no entanto, atividades desenvolvidas pela civilização de forma mal conduzida e/ou manejada pode agravar e acelerar esse processo, como por exemplo, a utilização de irrigação mal manejada e/ou com águas relativamente ricas em sais, excesso de adubação química, fertirrigação, que se associam com fatores relativos ao ambiente como por exemplo a alta evapotranspiração e a deficiência de drenagem, causando sérios prejuízos à agricultura, bem como ao ecossistema de uma forma geral (LOPES; MACEDO, 2008; DIAS et al., 2016; SILVA; GRZYBOWSKI; PANOBIANCO, 2016).

Para o estado de Santa Catarina, não há constatação de problemas de relevância econômica em termos de salinidade, sendo observado esse fenômeno negativo associado há manejos nutricionais inadequados e irrigação mal dimensionada com baixa qualidade das águas utilizadas em pontos isolados.

Nos ambientes salinos, de acordo com Tonel et al. (2013), o sal predominante é o Cloreto de Sódio (NaCl), com potencial de ocasionar danos em relação a germinação e desenvolvimento de plântulas. A tolerância ao estresse salino é dependente principalmente dos fatores que envolvem a morfologia e a fisiologia (KAKAR et al., 2019). Nessa lógica, o vigor das sementes é um atributo fisiológico que confere um diferencial no processo de germinação, formação de plântula, estabelecimento do estande da cultura e tolerância a fatores ambientais (DWIVEDI et al., 2021). Dessa forma, entender a interação do vigor com fatores de campo e com a salinidade, bem como as alterações bioquímicas e morfológicas ainda é um desafio.

2.3.1 Processos metabólicos e fisiológicos alterados pela salinidade

Anualmente as áreas salinas vem aumentando em nível mundial, despertando preocupações do setor primário e da população envolvida, pois a respectiva salinidade ocasiona danos significativo as plantas não adaptadas (PAUL; LADE, 2014). De forma geral, os vegetais podem ser segregados em dois grandes grupos em relação a sobrevivência em solos salinos, sendo as halófitas que são extremamente adaptadas a salinidade, desenvolvendo seu ciclo biológico de uma forma natural sem danos, e as glicófitas que não possuem resistência e adaptabilidade semelhante as halófitas em relação ao sal (WILLADINO; CAMARA, 2010; LOPES; LIMA, 2015; DIAS et al., 2016; KATARIA; VERMA, 2018). O milho, por sua vez, é considerado uma planta glicófita, com um grau de suscetibilidade moderada (LOPES; LIMA, 2015; KATARIA; VERMA, 2018).

Altas concentrações de sais podem interferir drasticamente em todas as fases de desenvolvimento dos vegetais, muitas vezes podendo ocasionar a morte do mesmo, dependendo da resistência genética e concentração do sal no meio onde o vegetal está inserido (HOQUE; JUN; GUOYING, 2014). Em sistemas de produção, a elevação da concentração de eletrólitos do solo, principalmente nas regiões fertilizadas pode influenciar negativamente na germinação e desenvolvimento inicial do sistema radicular, repercutindo negativamente na população e desenvolvimento das plantas de milho (SANGOI et al., 2009).

A salinidade é um estresse abiótico que pode acometer vários processos dos vegetais, podendo alterar processos bioquímicos e fisiológicos, resultando em alterações morfológicas e de desenvolvimento (LOPES; LIMA, 2015). No processo inicial de desenvolvimento vegetal, a salinidade causa um estresse osmótico, devido ao decréscimo no potencial hídrico da rizosfera, ocasionando a diminuição significativa da absorção de água por parte da plântula (WILLADINO; CAMARA, 2010; TOPPA; BRAMBILLA, 2011; DIAS et al., 2016; PANUCCIO et al., 2018), além de ocasionar estresse iônico (LOPES; LIMA, 2015; DIAS et al., 2016; PANUCCIO et al., 2018).

De acordo com Willadino e Camara (2010), as características inerentes a planta, órgão ou tecido, genótipo e estágio de desenvolvimento respondem de diferentes formas quando o material vegetal está exposto ao estresse salino, podendo reduzir ou aumentar a atividade metabólica das células. A primeira e primordial fase do processo germinativo é a hidratação, processo esse que em condições salinas pode sofrer alterações devido a diminuição do gradiente hídrico entre o solo e a superfície da semente ocasionando a redução do potencial de captação de água, modificando uma configurada sequência de reações do processo germinativo (LOPES; MACEDO, 2008; NUNES et al., 2020). Segundo Uçarlı (2020), o estresse salino retarda o processo de germinação, sendo relevante a rápida germinação e formação de estandes de plântulas para garantir rendimentos satisfatórios sob condições de estresse salino.

As fases iniciais do desenvolvimento da cultura do milho são as mais sensíveis, repercutindo de forma negativa em relação ao crescimento e desenvolvimento das plântulas em formação (SABAGH et al. 2021). A salinidade também afeta drasticamente o desempenho fisiológico dos vegetais, reduzindo o comprimento do sistema radicular, parte aérea total da plântula, bem como suas respectivas massas (SHANKO et al., 2016).

O sistema radicular é a variável mais afetada pela salinidade, isso porque o sistema radicular fica em contato direto com a solução salina (SHANKO et al., 2016). Desse modo, a salinidade limita o crescimento e conseqüentemente a exploração de um maior volume de solo. Segundo Maia et al. (2015), a salinidade ocasiona a morte do meristema, impedindo dessa

forma que as raízes cresçam e se desenvolvam. A redução do desempenho fisiológico das plântulas em um primeiro momento é ocasionada pela restrição hídrica ocasionada pelo acréscimo de íons em volta da rizosfera, limitando os processos fisiológicos e metabólicos de multiplicação e desenvolvimento celular (GOMES FILHO et al., 2019).

Em um segundo momento a salinidade acomete o metabolismo através da perturbação iônica, devido ao acréscimo de Na e Cl nas células (SILVA et al., 2018). Essa alteração na fração de K^+/Na^+ resulta em perturbações de natureza bioquímica, metabólica com consequências fisiológicas (ANNUNZIATA et al., 2017). A salinidade, principalmente sódica, pode acarretar danos metabólicos irreparáveis na atividade enzimática, uma vez que o K^+ é ativador de mais de 50 enzimas, as plantas sob estresse salino tendem a absorver o Na^+ para regular o meio osmótico e entrar em homeostase, contudo, a alta concentração de Na^+ ou relação Na^+/K^+ pode fazer com que o Na^+ se ligue ao sítio ativo de enzimas específicas, fazendo com que percam suas funções interrompendo processos metabólicos importantes para o sistema de desenvolvimento vegetal (WILLADINO; CAMARA, 2010).

O organismo vegetal quando exposto ao estresse salino, sofrerá em um primeiro momento o estresse osmótico, tornando-se necessário um ajuste por parte da planta para manter o turgor celular e atividades metabólicas essenciais, para isso, o metabolismo investe no aumento da concentração de osmólitos no citosol, sejam eles inorgânicos ou orgânicos como o aminoácido prolina e açúcares solúveis como a sacarose (WILLADINO; CAMARA, 2010). De acordo com Silveira et al. (2016), a prolina também está envolvida nos mecanismos de defesa antioxidantes, atuando contra espécie reativas de oxigênio e como sinalizador celular, desempenhando papel bioquímico de aclimação a situação de desequilíbrio salino essencial para a perpetuação de algumas espécies.

O estresse salino no metabolismo da plântula induz a formação de espécies reativas de oxigênio, como por exemplo peróxido de hidrogênio, superóxido, radical hidroxila, moléculas estas danosas as células (SHARIF et al., 2019). Estas moléculas podem ocasionar danos aos componentes estruturais das células e do metabolismo, como por exemplo peroxidação de lipídeos de membrana celular e de organelas, oxidação de proteínas e ácidos nucleicos dentre outros (KATARIA; VERMA, 2018; BUTCHER et al., 2016). As espécies reativas de oxigênio são produzidas naturalmente no metabolismo vegetal em cloroplastos, mitocôndrias e peroxissomos (MARINI et al., 2013; NOUNJAN; KUMON-AS; THEERAKULPISUT, 2021). Contudo, a exposição dos organismos biológicos vegetais a estresses desencadeia a produção de espécies reativas de oxigênio de uma forma demasiada e que aumenta as chances de danos celulares (SILVEIRA et al., 2016; TAIZ et al., 2017).

A salinidade é potencialmente um estresse que causa uma série de perturbações. Sob a ótica da hidrólise e mobilização das reservas da semente não seria diferente. A salinidade afeta o catabolismo das reservas de amido, isso é ocasionado pela diminuição significativa da expressão de α amilase, tendo como consequência a redução da germinação das sementes devido a carência de energia no metabolismo (MORAIS et al., 2018).

2.3.2 Estratégias adaptativas dos vegetais em relação a salinidade

O organismo vegetal quando exposto ao estresse salino, sofre em um primeiro momento o estresse osmótico, tornando-se necessário um ajuste por parte da planta para manter o turgor celular e atividades metabólicas essenciais, para isso, o metabolismo investe no aumento da concentração de osmólitos no citosol, sejam eles inorgânicos ou orgânicos como o aminoácido prolina e açúcares solúveis como a sacarose (SAMI et al., 2016). De acordo com Silveira et al. (2016), a prolina também está envolvida nos mecanismos de defesa antioxidantes, atuando contra espécie reativas de oxigênio e como sinalizador celular, desempenhando papel bioquímico de aclimação a situação de desequilíbrio salino essencial para a perpetuação de algumas espécies. Outra estratégia é a compartimentalização do sódio no vacúolo celular, reduzindo a concentração deste no citosol (KEISHAM; MUKHERJEE; BHATLA, 2018).

Uma estratégia fisiológica nas fases iniciais do desenvolvimento da plântula e formação de estande é investir em parte aérea, pois é a estrutura responsável pela realização da fotossíntese e suprimento energético nas fases consecutivas ao consumo das reservas estocadas na semente (SILVA et al., 2016). Outra estratégia está associada ao sistema radicular, pois quanto maior o sistema radicular do vegetal na situação salina, maior será sua adaptabilidade, isso porque o mesmo consegue explorar um maior volume de solo e consequentemente compostos minerais e moléculas de água, mas também é importante para diluir o conteúdo de Na^+ nas células e tecido, reduzindo dessa forma a concentração desse componente danoso e perturbação iônica (KAKAR et al., 2019).

Para minimizar os danos oxidativos, os vegetais possuem sistemas de defesa sendo um deles enzimático, composto por glutathione peroxidase, superóxido desmutase, catalase, peroxidase, ascorbato (SHARIF et al., 2019). O sistema antioxidante vegetal é de excepcional importância para proteger as células da ação danosa dos radicais livres (TAIZ et al., 2017).

Nesse sentido, de forma geral os vegetais desenvolvem uma série de mecanismos bioquímicos, fisiológicos e morfológicos que tem a finalidade de superar o estresse ocasionado

pela salinidade, conseguindo dessa forma germinar, crescer, se desenvolver e originar descendentes, perpetuando a espécie perante os anos.

2.4 COMPOSIÇÃO E USO DOS COMPONENTES DE RESERVA DAS SEMENTES DE MILHO DURANTE O PROCESSO DE GERMINAÇÃO

O milho é uma espécie monocotiledônea, dessa forma as reservas da semente são estocadas em dois compartimentos: o endosperma, tecido morto que possui uma camada de células circundantes vivas responsáveis pela síntese de enzimas hidrolíticas denominada de camada de aleurona; e o escutelo, cotilédone da semente que tem a função de estocar algumas moléculas orgânicas para o desenvolvimento do eixo embrionário, também é responsável pela proteção e direcionamento dos compostos hidrolisados advindos do endosperma para os pontos de crescimento do eixo embrionário (YAN et al., 2014).

As sementes são constituídas de proteína em um teor médio de 8%, lipídios 0,8%, carboidratos 79,2% e 14,4% de fibra digestível, além disso, são ricas em vitaminas e minerais (MA et al., 2020). Sendo que o endosperma é responsável por estocar principalmente o amido e a proteína, e o escutelo lipídeos (FEENSTRA et al., 2017; DWIVEDI, 2021), e fitato (HÍDVÉGI; LÁSZTITYA, 2002; NADEEM et al., 2011). Durante o processo de germinação e formação de plântula estes componentes devem ser hidrolisados e translocados para os pontos de crescimento, constituindo dessa forma a plântula como um todo (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016).

A hidrólise e mobilização das reservas é um processo dinâmico e de fundamental importância para o desenvolvimento do eixo embrionário até a formação e estabelecimento de plântula, em genótipos de milho que apresentam uma maior mobilização de reservas independente do peso das sementes, possuem sementes de maior vigor, originando plântulas com maior conteúdo de matéria seca, comprimento total, comprimento da parte aérea e comprimento radicular (ANDRADE; COELHO; PADILHA, 2019). Padilha, Coelho e Andrade (2020), também constataram que a formação de plântulas vigorosas com maiores dimensões e de massa estão associadas com a mobilização das reservas da semente na cultura do feijoeiro.

O vigor das sementes em termos fisiológicos pode estar atrelado a diferentes rotas metabólicas que envolvem a hidrólise e mobilização de compostos orgânicos de reservas como lipídio, amido e proteína, além de vias de aminoácidos sulfurados e síntese de proteína (NERLING; COELHO; BRÜMMER, 2018). Alterações em compostos bioquímicos das

sementes podem influenciar nos aspectos de vigor, normalidade de plântulas, crescimento e estabelecimento de plântulas (HEBERLE et al., 2019; MARCOS-FILHO, 2015b).

Sementes que possuem maior vigor, normalmente possuem uma maior estocagem de compostos orgânicos energéticos como proteínas, carboidratos e lipídios (NERLING; COELHO; BRÜMMER, 2018). De acordo com Mandizvo e Odindo (2019), as moléculas orgânicas de reserva como carboidratos, proteínas e lipídios, adjunta com a fração mineral, devem garantir o processo germinativo e a formação de plântula, suprimindo a demanda energética e estrutural de toda a fase heterotrófica, até que o estande de plântula estiver estabelecido.

As proteínas são moléculas orgânicas, de compostos nitrogenados, constituída de aminoácidos interligados por ligações polipeptídicas. Possuem funções estrutural, nutritiva ou enzimática, podendo constituir estrutura de tecidos, além de fornecer aminoácidos para suprir a demanda energética do embrião ou participar da modulação de reações químicas dentro das células vegetais (MARCOS-FILHO, 2015a; FEENSTRA et al., 2017). De acordo com Zucareli et al. (2018), teores elevados de proteínas na semente podem representar um equilíbrio benéfico de aminoácidos, que possibilitem um maior e melhor desenvolvimento.

Dentre os compostos fosforilados mais importantes está a fitina, a qual é mobilizada para o embrião durante o processo de germinação (MARCOS-FILHO, 2015a). No milho, aproximadamente 86% do fósforo está localizado no escutelo e no endosperma da semente (NADEEM et al., 2011). Martínez-Ballesta et al. (2020), salienta que no processo de estocagem do fósforo na semente, na forma de ácido fítico, para se estabilizar o mesmo se quelatiza com micronutrientes como zinco e ferro, elementos importantes no processo germinativo e de formação de plântulas, durante a hidrólise do ácido fítico, além do fósforo inorgânico, esses microelementos são mobilizados e disponíveis para o crescimento e desenvolvimento do embrião. Sendo a fitase a enzima responsável pela hidrólise do fitato e disponibilização de fósforo inorgânico e outros elementos minerais (NADEEM et al., 2011).

No estudo conduzido por Nerling, Coelho e Brümmer (2018), o conteúdo de alguns compostos orgânicos e sua dinâmica no processo germinativo e de formação de planta influenciaram positivamente a qualidade fisiológica, sendo estes os açúcares solúveis e fósforo inorgânico.

O amido é o principal carboidrato estocado nas sementes dos cereais, sendo que sua principal função é o fornecimento de energia para a retomada do desenvolvimento do embrião, até o mesmo se tornar autotrófico após o estabelecimento da plântula, além de ser fonte de esqueleto carbônico para a constituir a plântula em formação (MARCOS-FILHO, 2015a; UÇARLI, 2020).

As enzimas são de extrema importância dentro do metabolismo vegetal, principalmente em relação à germinação e desenvolvimento de plântulas, porque são responsáveis pela quebra de compostos armazenados em moléculas menores e solúveis, para a disponibilização desses compostos de menor peso molecular e de fácil transporte para os pontos de crescimento. A α amilase é uma das principais enzimas responsável pela hidrólise do amido (YAN et al., 2014; FEENSTRA et al., 2017), sendo sintetizadas na camada de aleurona (HEBERLE et al., 2019), através de sinais fitorregulatórios advindos do embrião, o qual sintetiza ácido giberélico, que ativará determinados locos gênicos responsáveis pela codificação e síntese desta enzima (MARCOS-FILHO, 2015a).

Sob condições de estresse, as plantas mobilizam reservas para a ativação de enzimas do sistema antioxidante, em uma forma de minimizar danos as células e assim do tecido vegetal (MARINI et al., 2013). De acordo com Naguib e Abdalla (2019), para uma melhor manutenção da qualidade fisiológica das sementes, busca-se um equilíbrio entre a produção das espécies reativas de oxigênio e a atividade das enzimas antioxidantes, evitando dessa forma que a peroxidação lipídica ocorra nas células de sementes em germinação e de formação de plântulas submetidas a condições estressantes.

Um dos desafios que rondam pesquisadores e estudiosos da área da fisiologia de sementes é compreender com clareza como os processos vitais intrínsecos nas sementes estão intimamente relacionadas com um bom estabelecimento de estande de plantas sob amplas condições de ambiente, favoráveis ou não (estresse) (MARCOS-FILHO, 2015a).

A cultura do milho apresenta peculiaridades em termos fenotípicos, a baixa prolificidade e a alta competição interespecífica, sendo importante o estabelecimento de estande de plântulas uniforme, tanto em nível de distribuição como em vigor e desenvolvimento uniforme de plântulas sob condições adversas de ambiente. O estabelecimento de estande de plantas está intimamente correlacionado com a qualidade fisiológica das sementes utilizadas, com ênfase para o vigor. O alto vigor das sementes oferece potencialmente maior probabilidade de estabelecimento inicial, desde a germinação até a formação de plântulas normais de forma rápida e uniforme sob condições ambientais diversas.

Em um contexto ecológico e ambiental, o estresse salino é um dos mais prejudiciais dentre os estresses abióticos, principalmente em relação a fase inicial do processo de desenvolvimento vegetal. O vigor é um fator fisiológico que está associado com a superação de condições ambientais adversas no início do estabelecimento de plântulas, desde o processo germinativo, emergência e estabelecimento de plântulas normais e uniforme, tanto em relação espacial dentro de determinada área como em crescimento e desenvolvimento.

Nesse contexto geral, o presente trabalho é importante para a elucidação de questões relacionadas a superação de condições de estresse abiótico no estabelecimento de plântulas de sementes com vigor contrastantes submetidas a condições de estresse salino, através de análises fisiológicas e bioquímicas para o esclarecimento da expressão do vigor das sementes de milho híbrido.

3 ALTO VIGOR DE SEMENTES DE MILHO HÍBRIDO É DETERMINANTE PARA A EMERGÊNCIA E ESTABELECIMENTO DE PLÂNTULAS A CAMPO

RESUMO:

O objetivo do trabalho foi determinar quantos dias após a semeadura pode-se avaliar o vigor dos lotes de sementes e verificar se o vigor é determinante para a formação de plântulas vigorosas de milho sob condições de campo. O trabalho foi conduzido em dois ambientes, sendo em laboratório conduzido por delineamento inteiramente casualizado e no campo sob blocos ao acaso, ambos formados por dois tratamentos, os quais referem-se a um grupo de lotes de alto vigor (AV), e um de baixo vigor (BV), cada grupo constituído por quatro lotes. Foi mensurado a germinação e o índice de vigor para o agrupamento, e para a comparação entre os tratamentos em ambiente laboratorial foi mensurado o comprimento da parte aérea (CPA), sistema radicular (CSR) e total (CTP), bem como suas respectivas massas. No campo foi mensurada a emergência de plântulas diariamente até 21 dias, e ao final do período o CPA, CSR e CTP e suas respectivas massas, volume do sistema radicular (VSR) e diâmetro do colmo (DC). Os resultados foram submetidos a análise da variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. As análises de campo e o índice de vigor foram submetidos a análise de correlação de Pearson. Todos os parâmetros avaliados foram superiores no grupo de AV nos dois ambientes, exceto o CSR em situação de campo. A emergência a campo foi promissora para mensurar e segregar o vigor a partir do quinto dia após a semeadura. O vigor das sementes associa-se positivamente com todos as variáveis mensuradas, exceto para o CSR. Conclui-se que a partir do quinto dia após a semeadura é possível segregar pelo vigor as sementes. Além disso, sementes de alto vigor apresentam maior velocidade e uniformidade de emergência a campo, sendo determinante para formar plântulas vigorosas.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; Germinação; Estande de plântulas; Uniformidade de plântulas; Velocidade de emergência.

THE HIGH STRENGTH OF HYBRID CORN SEEDS IS DETERMINANT FOR THE EMERGENCY AND ESTABLISHMENT OF SEEDLINGS IN THE FIELD

ABSTRACT:

The objective of this work was to determine how many days after sowing the vigor of seed lots can be evaluated and to verify if the vigor is decisive for the formation of vigorous corn seedlings under field conditions. The work was carried out in two environments, in the laboratory conducted by a completely randomized design and in the field under randomized blocks, both formed by two treatments, which refer to a group of high vigor (HV) lots, and one of low vigor (LV), each group consisting of four lots. Germination and vigor index were measured for the grouping, and for the comparison between treatments in a laboratory environment, shoot length (SL), root system (RS), and total (TM) were measured, as well as their respective masses. In the field, seedling emergence was measured daily up to 21 days, and at the end of the period, SL, RS, MT, and their respective masses, root system volume (RSV) and stem diameter (SD). The results were submitted for analysis of variance and the means

compared by Tukey's test at 5% error probability. Field analyzes and vigor index were subjected to Pearson's correlation analysis. All parameters evaluated were higher in the HV group in both environments, except for RS in the field. Field emergence was promising to measure and segregate vigor from the fifth day after sowing. Seed vigor is positively associated with all measured variables, except for RS. It is concluded that from the fifth day after sowing it is possible to segregate the seeds by vigor. In addition, high vigor seeds present greater speed and uniformity of emergence in the field, being decisive for the formation of vigorous seedlings.

Keywords: *Zea mays* L.; Germination; Seedling stand; Seedling uniformity; Emergency speed

3.1 INTRODUÇÃO

O milho é um cereal de verão pertencente à família botânica Poaceae, classificado como uma grande cultura de importância socioeconômica em nível mundial. Tornou-se uma das culturas que ocupa grandes áreas de cultivo, isso se deve à qualidade nutricional dos grãos produzidos (ROSSATO et al., 2020). É uma matéria prima destinada para inúmeras utilidades, sendo um insumo importante para o desenvolvimento das atividades agropecuárias como por exemplo suinocultura, avicultura, bovinocultura leiteira e para o consumo humano (SILVA et al., 2019a; CESCO NETTO et al., 2021).

Os vegetais como organismos sésseis, estão expostos a uma série de fatores estressores, podendo ser estes bióticos, como insetos pragas e organismos patogênicos como fungos e vírus e/ou estressores abióticos, como por exemplo altas ou baixas temperaturas, deficiência hídrica, toxicidade por metais pesados, radiação UV-B e salinidade (XIE et al., 2019). Nesse sentido, as condições de campo que remetem a realidade do agricultor, estão sujeitas a uma série de fatores que podem limitar o processo de estabelecimento de estande de plântulas. Uma forma de assegurar que o processo de estabelecimento de estande de plântulas se concretize com sucesso para a cultura do milho é a utilização de sementes de maior qualidade fisiológica (KHALID et al., 2018), com ênfase para a germinação e o vigor.

O vigor, por sua vez, é um atributo fisiológico complexo da semente que possibilita uma maior, uniforme e rápida germinação e emergência sob uma ampla gama de situações ambientais de campo (VENTURA et al., 2012), as quais sabe-se que está intimamente relacionada com o processo de deterioração através de modificações moleculares, bioquímicas, fisiológicas e metabólicas (FU; AHMED; DIEDERICHSEN, 2015). Dessa forma, pode ser um atributo determinante para um bom estabelecimento de estande em condições ambientais adversas, repercutindo em maiores rendimentos da cultura ao final de seu ciclo.

Nesse contexto, a emergência a campo é um teste amplamente utilizado que avalia a qualidade fisiológica como um todo da semente com ênfase para o vigor (MARCOS-FILHO, 2020a), pois implica no número e uniformidade de indivíduos e/ou plantas produtoras ao final do ciclo (LEITE JUNIOR et al., 2020). No entanto, um dos desafios para os analistas é definir quantos dias após a semeadura é o melhor ponto para ponderar e mensurar o vigor dos lotes semeados. Além disso, ainda é um desafio compreender a expressão do vigor e a associação com parâmetros fisiológicos da plântula em uma situação de campo, bem como a sua importância para a formação de plântulas mais vigorosas.

Assim, tem-se como hipóteses que após o início da emergência até o vigésimo primeiro dia após a semeadura consegue-se mensurar o vigor e categorizá-lo com êxito; e que sementes de maior vigor possuem desempenho fisiológico superior, formando plântulas mais vigorosas sob condições de campo. Com isso, o objetivo do trabalho foi determinar quantos dias após a semeadura pode-se avaliar o vigor dos lotes de sementes e verificar se o vigor é determinante para a formação de plântulas vigorosas de milho sob condições de campo.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes de quatro híbridos simples comerciais, AG 9025 PRO3, 32R22VYHR, 30F53VYH e DKB 230 PRO3, produzidos durante o ano agrícola 2019/2020. Após a aquisição, as sementes foram mantidas em câmara seca com temperatura de $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $45 \pm 5\%$, até a utilização.

3.2.1 Redução do vigor:

Para a obtenção dos lotes de sementes de baixo vigor, uma fração das sementes dos quatro híbridos (híbridos de alto vigor), foram submetidos a uma redução artificial de vigor com base em alta temperatura e umidade, através de uma câmara de envelhecimento acelerado. Para isso, utilizou-se de caixas plásticas transparentes do tipo “gerbox”, onde depositou-se 40 mL de água destilada, e 100 sementes foram distribuídas uniformemente sobre telas de aço inoxidável, sendo mantido um microclima de saturação de umidade no interior de cada recipiente. Após esses procedimentos, essas caixas contendo as sementes foram acomodadas e mantidas em câmara de envelhecimento acelerado sob temperatura de $45 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 72 horas (AOSA, 1983). Após esse período, as sementes foram acondicionadas e mantidas em câmara de circulação de ar por 24 horas sob temperatura de $30 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ para a redução da umidade.

Os lotes 1, 2, 3 e 4 (denominados como L1, L2, L3 e L4, respectivamente), não passaram por esta redução artificial do vigor, mantendo as características originais das sementes recebidas e armazenadas. Já os lotes 5, 6, 7 e 8 (denominadas como L5, L6, L7 e L8, respectivamente) passaram pelo processo de redução artificial do vigor, sendo que todos os lotes foram caracterizados quanto ao peso de mil sementes, grau de umidade e o respectivo material biológico (Tabela 1).

Tabela 1 - Identificação e caracterização dos lotes de sementes de híbridos de milho.

Lote	RAV	Híbrido	GU (%)
L1	N	AG 9025 PRO3	11,4
L2	N	32R22VYHR	10,4
L3	N	30F53VYH	10,2
L4	N	DKB 230 PRO3	11,1
L5	S	AG 9025 PRO3	11,4
L6	S	32R22VYHR	11,1
L7	S	30F53VYH	10,6
L8	S	DKB 230 PRO3	11,2

Legenda: RAV: Redução artificial do vigor; S= reduzido; N=não reduzido. PMS: Peso de mil sementes; GU: grau de umidade da semente.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

3.2.2 Obtenção da amostra de trabalho

As amostras de cada lote foram homogeneizadas após serem adquiridas, conforme indicado nas Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009), em seguida, parte destas sementes foram submetidas a redução artificial do vigor para obtenção dos lotes de baixo vigor. Após a obtenção dos lotes de alto e baixo vigor, cada lote foi dividido em quatro porções, onde cada uma originou uma repetição até o final da realização do trabalho.

3.2.3 Categorização dos lotes de semente

Os lotes de sementes foram caracterizados em relação à germinação e ao vigor através do índice de vigor.

Germinação: Para a determinação do percentual de germinação foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes por rolo de papel “Germitest” para cada lote. As folhas de papel foram umedecidas com água destilada 2,5 vezes o peso do papel seco, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Índice de Vigor: Quatro repetições de 20 sementes foram distribuídas no terço superior de folhas de papel toalha umedecidas com volume de água destilada correspondente a 2,5 vezes o peso do papel seco (KRZYZANOWSKI et al., 2020). Os rolos foram mantidos em

germinador do tipo Mangelsdorf a 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas de luz durante três dias. Após esse período, o comprimento da parte aérea (CPA), comprimento do sistema radicular (CSR) e comprimento total das plântulas (CTP), foram mensurados com auxílio de paquímetro digital de 12 plântulas normais por unidade experimental (repetição). O cálculo do índice de vigor (IV) foi determinado a partir do índice de crescimento (G) (SAKO et al., 2001) e o índice de uniformidade (U), calculada com auxílio do software R (R CORETEAM, 2020), utilizando o pacote SeedCalc (SILVA et al., 2019b). Onde: w G e w U, representam os pesos determinados para os parâmetros obtidos a partir de valores padrão de 70 e 30, respectivamente.

Índice de Vigor (IV) = $(wG \times (wh \times lh + wr \times lr)) + (wU \times (1000 - (wsh \times sh + wsr \times sr + stotal + wsr/h \times sr/h))$.

Onde lh e lr são os comprimentos médios da parte aérea e sistema radicular das amostras, respectivamente; sh, sr, stotal e sr/h são os desvios padrão do comprimento da parte aérea, comprimento do sistema radicular, comprimento total e razão raiz/parte aérea, respectivamente; w representa a proporção para os parâmetros de crescimento (G) e uniformidade (U).

3.2.4 Desempenho de plântulas

Foram distribuídas 20 sementes na porção superior do papel “Germitest”, o qual foi umedecido 2,5 vezes o seu peso seco com água destilada e em seguida foram confeccionados os rolos. Esses rolos foram inseridos dentro de sacos plásticos transparentes para evitar a perda de umidade e mantidos em germinadores (Mangelsdorf) com temperatura controlada de 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas de luz por três dias. Após esse período, com o auxílio de um paquímetro digital foi realizada a mensuração do comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento total da plântula (CTP); massa seca do sistema radicular (MSSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total das plântulas (MSTP) em estufa a uma temperatura de 80 ± 2 °C por um período de 24 horas. Esses parâmetros foram mensurados em 10 plântulas normais por unidade experimental (repetição).

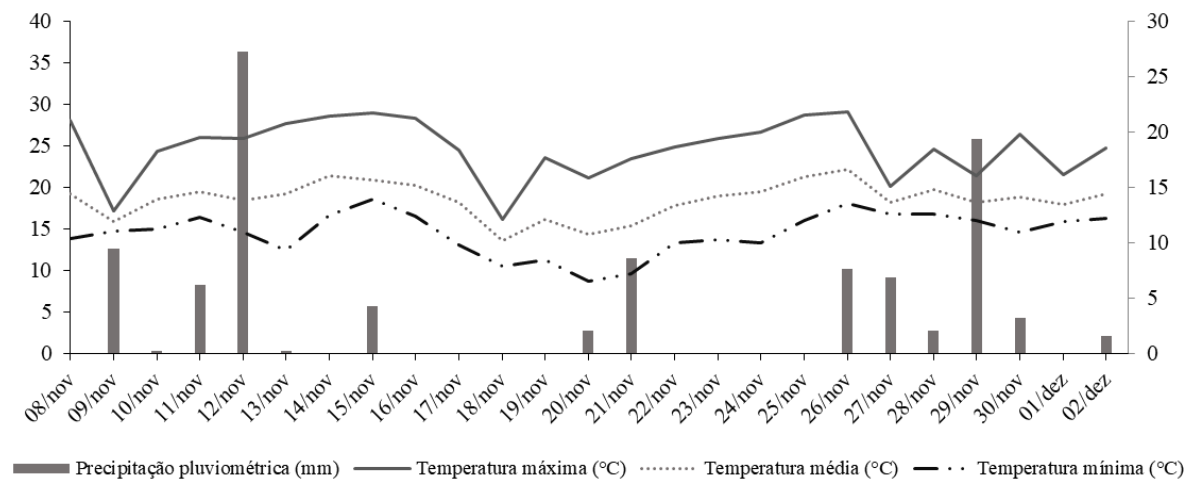
3.2.5 Emergência e desempenho fisiológico de plantas a campo

Foram semeados oito lotes de semente sendo estes quatro de alto vigor (L1, L2, L3 e L4) e quatro de baixo vigor (L5, L6, L7 e L8), a uma profundidade de cinco centímetros no dia 11 de novembro de 2020. Cada parcela foi composta por 50 sementes distribuídas uniformemente em três linhas com espaçamento de 10 centímetros e entre plantas de 3,5 centímetros. Foi realizada a contagem de emergência diariamente até 21 dias após a semeadura, sendo este o estágio onde se realizou as análises fisiológicas de desempenho de plantas a campo.

Em relação às análises de desempenho de plantas, foi mensurado o comprimento da parte aérea (CPA), comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento total da plântula (CTP), com o auxílio de uma régua graduada e seus resultados expressos em centímetros; massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), massa seca total da plântula (MSTP), secas em estufa de circulação forçada de ar a uma temperatura de $65 \pm 2^\circ\text{C}$ até atingir massa constante; diâmetro do colmo (DC), mensurado a 1 cm centímetro acima do nível do solo com o auxílio de um paquímetro digital; e volume do sistema radicular calculado através do volume conhecido diminuído do volume deslocado de água em uma proveta sendo o resultado expresso em cm^3 . Foram avaliadas dez plântulas por unidade experimental da fileira central, dessa forma eliminando o efeito bordadura das parcelas.

Os dados ambientais foram obtidos através da estação experimental da Epagri unidade Lages, Santa Catarina (EPAGRI, 2020), sendo sumarizados na Figura 1 abaixo, sendo compilados três dias antes da realização da implantação do experimento a campo até as avaliações finais.

Figura 1 - Condições climáticas de três dias antes da semeadura e durante a emergência e estabelecimento de plântulas a campo.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da EPAGRI, 2020.

3.2.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade através do teste de Shapiro-Wilk, e à Análise de Variância (ANOVA). Após, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, através do programa estatístico Sisvar®.

As variáveis fisiológicas mensuradas aos 21 dias após a semeadura, bem como as emergências diárias e o índice de vigor (IV), foram submetidas a análise de correlação de Pearson. As relevâncias das correlações foram classificadas de acordo com o coeficiente p, onde

0-0,1: correlação insignificante; 0,1-0,39: correlação fraca; 0,4-0,69: correlação moderada; 0,70-0,89: correlação forte; e 0,90-1,0: correlação muito forte (SCHOBER; BOER; SCHWARTE, 2018).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A redução artificial do vigor foi eficiente, uma vez que o índice de vigor (IV), dos lotes de origem (lotes que não passaram pelo processo de redução artificial do vigor), foram maiores do que os lotes 5, 6, 7 e 8, os quais passaram pelo processo de redução artificial de vigor (Tabela 2).

Tabela 2 - Segregação do vigor pelo índice de vigor (IV).

Lote	RAV	G (%)	IV
L1	N	99 a	710,11 a
L2	N	99 a	570,69 c
L3	N	99 a	630,16 b
L4	N	98 a	638,90 b
Lotes com o vigor reduzido artificialmente			
L5	S	53 c	370,80 g
L6	S	57 c	405,70 f
L7	S	84 b	467,64 e
L8	S	94 a	501,39 d

Legenda: RAV: Redução artificial do vigor; S= reduzido; N=não reduzido. G: germinação; IV: índice de vigor. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

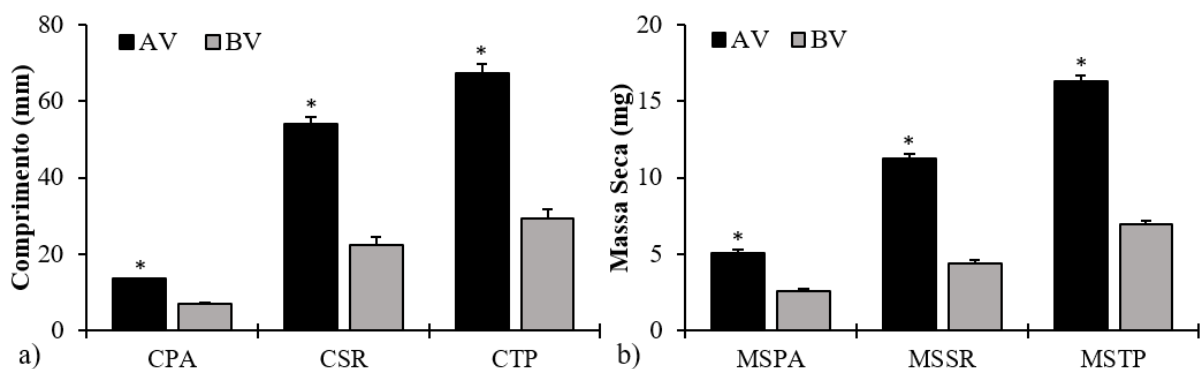
Como observado na tabela acima (Tabela 2), de acordo com o IV, o L1 apresentou o maior resultado com valor de 710,11, seguido dos L4 e L3 os quais apresentaram 638,90 e 630,16 de índice vigor respectivamente. Na sequência encontra-se o L2 apresentando um valor de 570,69. Já os lotes com vigor reduzido artificialmente apresentaram menor índice de vigor, o L8, por sua vez, apresentou um vigor de 501,39, seguido do L7 com 467,64, L6 com 405,70 e com o menor resultado observado o L5 com 370,80. A redução artificial do vigor das sementes permitiu agrupar os lotes de sementes em dois grupos sendo que os lotes 1, 2, 3 e 4 compreendem o grupo de alto vigor (AV), e os lotes 5, 6, 7 e 8 o grupo de baixo vigor (BV).

No processo de redução artificial do vigor, através de alta temperatura e saturação de umidade, ocorre uma série de processos fisiológicos, metabólicos e citológicos que culminam com uma redução acentuada do poder germinativo das sementes (MARCOS-FILHO, 2020a). A germinação é um processo biológico complexo, controlado por uma série de genes de uma

forma coordenada (FU; AHMED; DIEDERICHSEN, 2015), sendo observada uma acentuada redução nesse atributo fisiológico nos lotes 5 e 6 apresentando um percentual de germinação de 53 e 57 % respectivamente, seguido do lote 7 o qual reduziu sua germinação se comparado com seu lote de origem (lote 3), contudo, seu percentual manteve-se elevado, apresentando 84% de germinação, e o lote 8 o qual não diferiu de seu lote de origem (lote 4) apresentou percentual de 94% (Tabela 2). Essa redução pode ser mais acentuada ou não dependendo da base genética e das condições ambientais ou de manejo que essa semente foi formada e/ou produzida (NERLING; COELHO; BRÜMMER, 2018), explicando a sensibilidade maior à redução artificial dos L1 e L2 (materiais de origem), os quais originaram os L5 e L6 com menores IV.

No fim do processo de germinação, objetiva-se a formação de plântulas com estruturas bem desenvolvidas, tanto em dimensão quanto em massa. Nesse sentido, em condições laboratoriais o comprimento da parte aérea (CPA) foi superior no grupo de alto vigor, em torno de 1,94 vezes, em média de 13,52 mm, contrastando com o grupo de BV, o qual apresentou em média 6,96 mm (Figura 2a). Comportamento similar foi observado na variável de comprimento de sistema radicular (CSR). Contudo, o contraste entre os dois grandes grupos foi ainda maior sendo que o grupo de AV apresentou dimensões de sistema radicular de 2,41 vezes maior que o grupo de BV. O grupo de AV destacou-se formando parte aérea e sistema radicular com maior comprimento, repercutindo na variável comprimento total de plântula (CTP), com 67,50 mm, em contraste com o grupo de sementes de BV, com plântulas com comprimento aproximado de 29,34 mm (Figura 2a).

Figura 2 - Desempenho fisiológico de plântulas originadas de sementes de alto vigor (AV) e baixo vigor (BV), após três dias de semeadura em ambiente laboratorial.



Legenda: a) CPA: comprimento da parte aérea, CSR: comprimento do sistema radicular, CTP: comprimento total da plântula; b) MSPA: massa seca da parte aérea, MSSR: massa seca do sistema radicular, MSTP: massa seca total da plântula. * variáveis diferiram significativamente a 1% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em relação às variáveis de massas secas (Figura 2b), observa-se que a MSPA foi 1,97 vezes maior no grupo de sementes de AV. A MSSR foi superior no grupo de AV, o qual expressou média de 11,24 mg por plântula de sistema radicular enquanto que o grupo de BV apresentou médias de 4,37 mg de massa seca (Figura 2b). A MST por sua vez, também foi significativamente superior nas plântulas originadas por sementes de AV, sendo 2,35 vezes superior (Figura 2b).

Quanto às análises de campo, um dos desafios está associado ao período entre a semeadura e a análise de plântulas emergidas com as variáveis medidas no laboratório. Observou-se alta correlação entre a emergência diária e o índice de vigor (IV), determinado em laboratório (Tabela 3) a partir do quinto dia até o vigésimo primeiro, constatando que este período é possível realizar a categorização do vigor para sementes de milho híbrido.

É provável que esses resultados estejam associados às boas condições climáticas durante a realização do trabalho (Figura 1), uma vez que o regime hídrico favoreceu o processo de estabelecimento das plântulas, sendo que nos três dias antes da semeadura houve precipitação de 9,6 mm e após a semeadura até o quinto dia houve uma precipitação de 37,8 mm, não havendo restrição hídrica para o processo de embebição, facilitando assim o processo de emergência das plântulas. Destaca-se que a restrição hídrica é um dos fatores determinantes para o processo de germinação e emergência sendo potencialmente danosa tanto para a germinação quanto para a formação das estruturas da plântula (VIÇOSI et al., 2017; AVCI; İLERİ; KAYA, 2017; JOVOVIĆ et al., 2018).

Outro fator preponderante é a temperatura do ambiente. As temperaturas médias iniciais após a semeadura até o início do processo de emergência (quinto dia após a semeadura), ficaram em 19,91 °C, estando abaixo da temperatura ideal de acordo com estudos realizados por Carvalho et al., (2017), que constataram que a temperatura ótima fica aproximadamente em 30°C.

Sbrussi e Zucareli (2014), constataram uma faixa de temperatura ótima para a germinação de sementes de milho de 22 a 34 °C, onde temperaturas de 16 °C inibiram a germinação e temperaturas supraótimas, de 37 °C e 40 °C afetaram negativamente favorecendo o aumento de plântulas anormais. É válido ressaltar que essa constatação foi observada em ambiente laboratorial sob temperatura constante, comportamento esse não encontrado nas condições de campo. A média mínima da temperatura durante os primeiros cinco dias após a semeadura foi de 15,85 °C.

A redução da temperatura em relação à faixa ótima de desenvolvimento da cultura reduz a atividade fisiológica e bioquímica das células do vegetal, comprometendo o metabolismo de

desenvolvimento e crescimento dos órgãos da plântula (CARVALHO et al., 2017). Garcia e Coelho (2021), observaram na cultura do arroz, que principalmente a temperatura influenciou no desempenho das sementes, interferindo na mobilização de reservas e afetando o acúmulo de peso seco das plântulas. Na situação de realização do presente estudo, as sementes de milho híbrido de maior vigor proporcionaram maior superação, pois originaram plântulas mais vigorosas, tanto em dimensões de crescimento quanto de massa.

De forma geral, a precipitação, bem como as temperaturas observadas foram promissoras e benéficas, auxiliando na expressão dos diferentes níveis de vigor e consequente segregação, conforme observado na Tabela 3. Mathias e Coelho (2021), avaliando a dinâmica da emergência a campo de lotes de soja quanto à expressão do vigor, constataram uma relação direta da expressão fisiológica em relação às condições ambientais (climáticas), as quais exercem influência no comportamento fisiológico da planta.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre a emergência a campo por dia e o índice de vigor avaliado em laboratório.

Variável	Vigor
EC1	-
EC2	-
EC3	-
EC4	-
EC5	0,88*
EC6	0,88*
EC7	0,91*
EC8	0,87*
EC9	0,84*
EC10	0,83*
EC11	0,82*
EC12	0,82*
EC13	0,82*
EC14	0,82*
EC15	0,82*
EC16	0,82*
EC17	0,82*
EC18	0,82*
EC19	0,82*
EC20	0,82*
EC21	0,82*

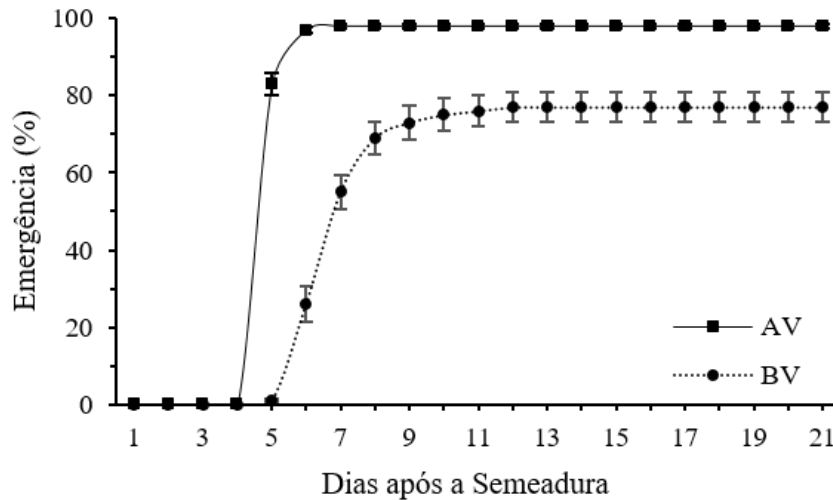
Legenda: *Significativo a 1% pelo teste t. n=32.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Na dinâmica de emergência a campo (EC), observa-se maior velocidade de emergência no grupo sementes de AV. No quinto dia após a semeadura foi observado um percentual de emergência de 83%, ao sexto dia 97% e ao sétimo dia 98% atingindo o platô que permaneceu até o final da mensuração da emergência diária (21 dias após a semeadura). O grupo de sementes de BV, ao quinto dia após a semeadura apresentou percentual de emergência a campo de 1%, no sexto dia 26%, sétimo dia 55%, oitavo dia 69%, nono dia 73, decimo dia 75 %, decimo primeiro dia 76% atingindo o platô apenas no decimo segundo dia com percentual de emergência de 77% (Figura 3).

Essa performance de germinação e emergência de plântulas é um processo totalmente heterotrófico sendo dependente dos compostos armazenados pela semente e do metabolismo respiratório (DRANSKI et al., 2017), metabolismo fisiológico e bioquímico que possivelmente esteja comprometido em sementes de BV, explicando o comportamento observado.

Figura 3 - Performance de emergência a campo de lotes de alto e baixo vigor.



Legenda: AV: alto vigor, BV: baixo vigor. A partir do quinto dia após a semeadura a emergência a campo diferiu significativamente a 1% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Ao estabelecer um paralelo do comportamento dos grupos de AV e BV (Figura 3), constata-se maior velocidade e uniformidade de emergência no grupo de AV sendo que ao sétimo dia após a semeadura apresenta-se com todas as plântulas emergidas, se mantendo até o final da realização do trabalho. No entanto, o grupo de BV tem um percentual de plântulas emergidas crescente, chegando no platô apenas no décimo segundo dia após a realização da semeadura. Essa velocidade reduzida dos lotes de BV é explicada pela sua capacidade de aproveitar as reservas da semente, reduzindo a sua capacidade de crescimento e repercutindo em um atraso e desuniformidade da emergência das plântulas (MENEGUZZO et al., 2021).

Outra possibilidade para esse comportamento refere-se ao fato de que sementes de baixo vigor são fisiologicamente mais deterioradas, as quais devido a processos oxidativos possuem maiores danos no material genético, o que durante a fase da embebição, pode reduzir a velocidade e a uniformidade do processo de germinação sob condições de emergência a campo (MARCOS-FILHO, 2020a). Outro fator, que foi observado em lotes de sementes de soja por Wendt et al., (2017) está relacionado a regulação da emergência a campo, tanto da velocidade, quanto da uniformidade ser modulada pelo processo de respiração, onde lotes de maior vigor possuem maior atividade respiratória, maior uniformidade e velocidade de emergência.

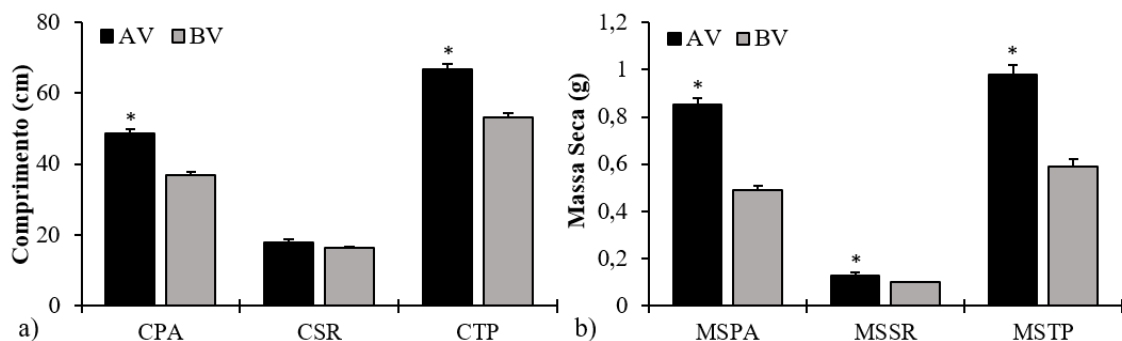
O retardamento da emergência das sementes de baixo vigor faz com que as mesmas fiquem expostas a fatores bióticos e abióticos os quais podem afetar drasticamente o estabelecimento de plântula tanto a nível de distribuição espacial quanto de uniformidade de desenvolvimento das plântulas (MENEGUZZO et al., 2021). Dessa forma, a rápida e uniforme

germinação da semente e emergência das plântulas em campo são de fundamental importância para garantir o estande de plântulas e conseqüentemente rendimentos da cultura do milho (GHASSEMI-GOLEZANI; RAEY, 2011).

O parâmetro de CPA avaliado aos 21 dias após a emergência, foi significativamente superior no grupo de AV, tendo um comprimento de 48,74 cm e o grupo de BV 36,95 cm, sendo observado uma relação promissora do vigor em relação a parte aérea. O CSR não foi influenciado pelo vigor da semente, uma vez que não diferiram as médias encontradas. O CTP por sua vez, foi significativamente superior no grupo de AV sendo observado um comprimento de 66,75 com enquanto o grupo de BV apresentou um comprimento de 53,22, comportamento esse influenciado pela variável CPA (Figura 4 a).

Os resultados fisiológicos encontrados a campo após 21 dias da semeadura (Figura 4a), corroboram com os resultados encontrados em ambiente laboratorial avaliado três dias após a semeadura (Figura 2a), estabelecendo mesmo comportamento de desempenho das plântulas onde as sementes de AV proporcionaram o desenvolvimento de plântulas com maiores dimensões de comprimento de suas estruturas e total, exceto para o comprimento do sistema radicular na condição de campo, o qual não diferiu. Esse resultado pode estar atrelado a uma possível compensação com o passar dos dias após a semeadura das sementes de BV, pois no laboratório foi realizada a mensuração aos três dias após a semeadura e a campo 21 dias após a semeadura. Além disso, pode também estar associada a uma interação com os fatores do solo.

Figura 4 - Desempenho fisiológico de plântulas originadas de sementes de alto vigor (AV) e baixo vigor (BV), 21 dias após a semeadura em condições de campo.



Legenda: a) CPA: comprimento da parte aérea, CSR: comprimento do sistema radicular, CTP: comprimento total da planta; b) MSPA: massa seca da parte aérea, MSSR: massa seca do sistema radicular, MSTP: massa seca total da plântula. * variáveis diferiram significativamente a 1% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As MSPA, MSSR e MSTP foram maiores nas plantas originadas de sementes do grupo de AV (Figura 4b). Comportamentos semelhantes foram encontrados no ensaio desenvolvido

em laboratório (Figura 2b), onde o AV sobressaiu-se em todos os parâmetros mensurados de massa seca.

Esses resultados de maiores dimensões de crescimento de plântula tanto em nível de laboratório (FIGURA 2a), quanto em condições de campo (FIGURA 4 a), bem como suas respectivas massas nos dois ambientes (Figura 2b e Figura 4b), se fundamenta pela atividade de hidrólise e mobilização das reservas da semente, em que sementes mais vigorosas apresentam maior atividade hidrolítica e de mobilização, conseqüentemente fornecendo maior quantidade de compostos estruturais e/ou suporte metabólico energético para os pontos de crescimento do embrião, formando estruturas com maiores densidades e vigorosas (RODRIGUES et al., 2020).

Estudos conduzidos por Andrade, Coelho e Padilha (2019), constataram que sementes de milho híbrido com maior vigor possuem uma maior taxa de redução e mobilização das reservas da semente, formando plântulas com maior crescimento de suas estruturas e suas respectivas massas secas. Segundo Cheng et al. (2015), o crescimento inicial da plântula é determinado primeiramente pela mobilização da reserva de armazenamento, seguida pela eficiência de conversão da reserva da semente para tecidos da plântula e este processo, por sua vez, é determinado pelas interações entre genética e fatores ambientais.

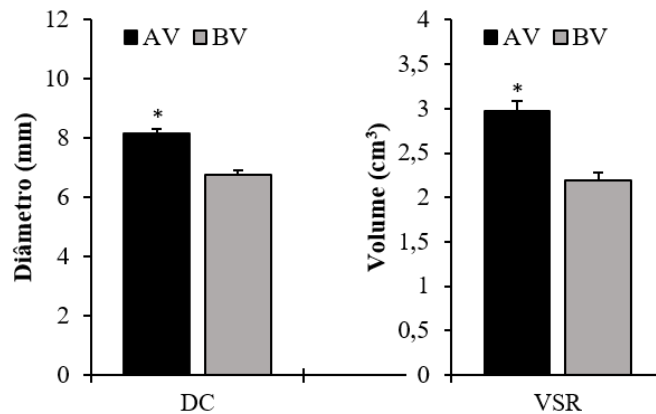
O milho por ser um cereal, apresenta sua maior constituição de reserva amilácea. Nesse contexto, Santos et al. (2016), avaliando a expressão do perfil proteico da alfa amilase, principal enzima responsável pela hidrólise do amido, em lotes de semente com diferentes níveis de vigor, constatou que lotes de alto vigor possuem uma maior expressão. Essa constatação justifica a formação de plântulas mais vigorosas com maiores dimensões de crescimento e massa, pois possuem uma maior capacidade de hidrolisar e mobilizar esses compostos para os pontos de crescimento para manter o custo metabólico das células e para compor os novos tecidos da plântula.

O sistema radicular demonstrou-se insensível ao vigor no que se refere a dimensões de comprimento (Figura 4a), contudo, quanto à variável de massa seca (Figura 4b) e de volume através da variável VSR (Figura 5), o vigor influenciou positivamente. Verifica-se que o grupo de sementes de AV apresentou os maiores resultados. Esse comportamento possivelmente está associado a um maior número de raízes secundárias e/ou adventícias oriundas da raiz primária ou coroa da plântula. Outra possível explicação seria no investimento de maiores compostos estruturais nas células do sistema radicular em plântulas originadas de sementes de alto vigor, repercutindo em uma maior massa, dimensões e diâmetro afetando consecutivamente o volume

dessas raízes. É válido salientar que essas duas possibilidades possam estar ocorrendo simultaneamente explicando o comportamento biológico observado.

Outro aspecto relevante é a integridade metabólica das sementes de AV (DOMERGUE et al., 2019). As sementes de AV possuem um metabolismo de respiração maior e mais eficiente, com maior síntese da enzima malato desidrogenase envolvida na síntese de NAPH para o ciclo de Krebs, proporcionando uma maior atividade mitocondrial através da fosforilação oxidativa de ATP, molécula essa necessária para as mais diversas reações metabólicas do vegetal (SANTOS et al., 2016).

Figura 5 - Desempenho fisiológico de plantas originadas de sementes de alto vigor (AV) e baixo vigor (BV), 21 dias após a semeadura em condições de campo.



Legenda: a) DC: diâmetro do colmo; b) VSR: volume do sistema radicular. * variáveis diferiram significativamente a 1% de probabilidade de erro pelo teste de Tukey.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O DC está associado à formação de uma parte aérea vigorosa. Nesse sentido, observa-se que o grupo de sementes de AV apresentaram DC de 8,17 mm e o grupo de BV 6,76 mm, ambos diferindo entre si, sendo que o lote de AV foi superior. Plantas com diâmetros do colmo maiores apresentam maior resistência mecânica para sustentar a plântula como um todo, sendo que em fases futuras é uma variável intimamente relacionada à tolerância ao acamamento do estande de lavoura (KAPPES et al., 2011; PEREIRA et al., 2018). Assim, lotes de AV contribuem para formar plântulas com maior tolerância ao acamamento e conseqüentemente reduzindo perdas de produtividade. O colmo também é um órgão de reserva de fotossíntese, estocando fotoassimilados em seu interior para futura mobilização para os grãos após a fecundação para originar a cariopse (GOMES et al., 2010).

O regime hídrico, por sua vez, não foi um fator desfavorável e/ou limitante sendo que durante os 21 dias houve uma precipitação total de 89 mm, não havendo deficiência hídrica que pudesse vir a comprometer o crescimento e desenvolvimento normal das plântulas de milho.

Ao determinar um paralelo através da correlação de Pearson entre o IV e as variáveis de campo mensuradas aos 21 dias após a semeadura, observa-se que todos os parâmetros avaliados foram significativos (EC. 21, VSR, MSPA, MSSR, MSTP, DC, CPA e CTP), exceto o CSR o qual não foi influenciado pelo nível de vigor (Tabela 4), constatação presente também na comparação de médias do CSR entre os grandes grupos de AV e BV (Figura 4a). Dentre as variáveis significativas, a EC 21 e o CPA obtiveram correlação com magnitude forte, VSR, MSPA, MST, DC e CTP apresentaram intensidade de correlação moderada e a MSSR fraca, contudo ambas apresentaram significância demonstrando a importância do vigor e sua influência nos parâmetros fisiológicos das plântulas em condições de campo.

Tabela 4 - Correlação das variáveis de emergência a campo aos 21 dias após a semeadura.

	EC 21	VSR	MSPA	MSSR	MSTP	DC	CPA	CSR	CTP	IV
EC.21	-	0,24 ^{ns}	0,49*	0,27 ^{ns}	0,47*	0,38**	0,51*	0,20 ^{ns}	0,47*	0,82*
VSR		-	0,79*	0,91*	0,83*	0,79*	0,70*	0,53*	0,73*	0,43**
MSPA			-	0,80*	0,99*	0,91*	0,91*	0,51*	0,89*	0,69*
MSSR				-	0,85*	0,82*	0,68*	0,71*	0,77*	0,37**
MSTP					-	0,92*	0,90*	0,55*	0,90*	0,66*
DC						-	0,72*	0,45**	0,72*	0,54*
CPA							-	0,50*	0,96*	0,72*
CSR								-	0,72*	0,09 ^{ns}
CTP									-	0,60*
IV										-

Legenda: EC 21: emergência a campo ao vigésimo primeiro dia, VSR: volume do sistema radicular, MSPA: massa seca da parte aérea, MSSR: massa seca do sistema radicular, MSTP: massa seca total da plântula, CPA: comprimento da parte aérea, CSR: comprimento do sistema radicular, CTP: comprimento total da planta, IV: índice de vigor. *, **diferença significativa pelo teste t a 1% e 5%, respectivamente e “ns”: não significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O VSR, MSSR e CSR possibilitam explorar maior volume de solo, além de proporcionar maior aporte tanto de sustentação quanto de desenvolvimento da parte aérea da plântula, relação essa compreendida e constatada na Tabela 4, onde o VSR apresentou correlação forte com os parâmetros de crescimento da parte aérea sendo estes MSPA ($p=0,79$), CPA ($p=0,70$) e DC ($p=0,79$). A MSSR apresentou associação forte com a MSPA ($p=0,80$), e DC ($p=0,82$), e moderada com o CPA ($p=0,68$). O CSR se associa de forma moderada com os parâmetros de arquitetura de parte aérea como MSPA ($p=0,51$), CPA ($p=0,50$), e DC ($p=0,45$), sugerindo que possivelmente outros parâmetros como número de raízes possam estar atuando conjuntamente a esses fatores. Assim, maiores VSR e MSSR possibilitam a formação de plântulas com maiores CPA, MSPA e DC, havendo também a influência do CSR, porém de uma forma mais sutil,

havendo influência de outros fatores, corroborando com os resultados observados na comparação do vigor (Figura 4a, Figura 4b e Figura 5).

No que se refere à formação de plântulas vigorosas com dimensões de CTP e MSTP mais expressivos, CTP estabeleceu associação positiva forte e muito forte com as variáveis VSR ($p=0,73$), MSPA ($p=0,89$), MSSR ($p=0,77$), DC ($p=0,72$), CSR ($p=0,72$), MSTP ($p=0,90$) e CPA ($p=0,96$). Já a MSTP, associou-se com as variáveis VSR ($p=0,83$), MSPA ($p=0,99$), MSSR ($p=0,85$), DC ($p=0,92$), CPA ($p=0,90$), conforme demonstrado na Tabela 4. Esses resultados auxiliam na consolidação da importância do vigor e sua associação com os parâmetros fisiológicos, uma vez que o grupo de AV apresentou todos os parâmetros avaliados superior ao de BV, exceto para CSR.

Assim, observa-se uma interação favorável dos parâmetros fisiológicos observados na análise de correlação entre si e o vigor, sendo que nas análises de comparação de medidas entre os grupos de lotes de AV e BV foram observadas médias significativamente superior no alto vigor.

É possível destacar a importância da utilização de sementes de alto vigor e a sua capacidade de proporcionar a formação de plântulas com parâmetros fisiológicos promissores tendo como consequência a formação de plântulas mais vigorosas. A partir destes resultados torna-se importante entender a resposta do vigor diante ao estresse e quais mecanismos regulam este atributo e sua expressão, sendo necessário a realização de trabalhos futuros nas respectivas temáticas.

3.4 CONCLUSÃO

Nas condições de campo, a partir do quinto dia após a semeadura é possível mensurar e segregar lotes de sementes de milho híbrido para o vigor.

Sementes de milho híbrido de alto vigor apresentam maior velocidade e uniformidade de emergência de plântulas e plantas vigorosas com maiores dimensões de comprimento e de massa seca em condições de campo.

4 PLÂNTULAS ORIGINADAS DE SEMENTES DE ALTO VIGOR APRESENTAM MAIOR TOLERÂNCIA AO ESTRESSE SALINO

RESUMO

O estande de plântulas considerando a distribuição e o vigor são primordiais para o rendimento da cultura do milho. O estresse salino é considerado um dos estresses abióticos de maior severidade. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi analisar se os parâmetros fisiológicos de lotes de semente de milho híbrido com vigor contrastantes são determinantes para a formação de plântulas vigorosas sob diferentes níveis de estresse salino. O trabalho foi conduzido sob esquema fatorial 2 X 5, em que o primeiro fator foi composto por grupos de lotes de sementes de alto e baixo vigor, e o segundo por cinco níveis de estresse salino (0, 50, 100, 150 e 200 mmol. L⁻¹ de NaCl). Foram avaliados o percentual de primeira contagem de germinação, germinação, plântulas anormais, comprimento da parte aérea, sistema radicular e total da plântula e suas respectivas massas secas, número de raízes e taxa de mobilização das reservas da semente. No geral, todos os parâmetros avaliados decresceram em relação à elevação do nível de salinidade, no entanto, plântulas originadas de semente de alto vigor apresentaram médias superiores na maioria das variáveis mensuradas em todos os níveis de estresse. O estresse salino progressivo interfere negativamente o desempenho fisiológico das sementes e a formação das plântulas independente do vigor das sementes. Mas, sementes de alto vigor proporcionam maior superação das condições de estresse salino formando plântulas vigorosas.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; qualidade fisiológica; estresse osmótico; estresse iônico; fisiologia do estresse.

SEEDLINGS ORIGINATED FROM SEEDS OF HIGH VIGOR SHOW GREATER TOLERANCE TO SALT STRESS

ABSTRACT

The seedling stands considering the distribution and vigor are essential for the yield of the maize crop. Salt stress is considered one of the most severe abiotic stresses. Thus, the objective of this work was to analyze whether the physiological parameters of hybrid maize seed lots with contrasting vigor are determinants for the formation of vigorous seedlings under different levels of salt stress. The work was carried out under a 2 X 5 factorial scheme, in which the first factor was composed of groups with high and low vigor seed lots; The second of five levels of saline stress (0, 50, 100, 150, and 200 mmol. L⁻¹ of NaCl). The percentage of first germination count, germination, abnormal seedlings, shoot length, root system, and total seedling and their respective dry weights, number of roots, and rate of mobilization of seed reserves were evaluated. In general, all parameters evaluated decreased in relation to the increase in salinity level, however, seedlings originating from high vigor seeds showed higher averages in most variables measured at all stress levels. Progressive saline stress negatively interferes with seed physiological performance and seedling

formation regardless of seed vigor. However, high vigor seeds provide greater overcoming of saline stress conditions, forming vigorous seedlings.

Keywords: *Zea mays* L.; Physiological quality; Osmotic stress. Ionic stress; Physiology of stress.

4.1 INTRODUÇÃO

O milho pertence à família Poaceae, tribo Maydeae, gênero *Zea* e espécie *mays*. é uma das principais culturas de importância agrônômica, sendo classificado como o cereal que ocupa o terceiro lugar em importância mundial, estando abaixo apenas da cultura do arroz e trigo, além disso, possui uma ampla faixa de adaptação para cultivo, podendo ser implantado em vários tipos de solo, clima e manejo (HOQUE; JUN; GUOYING, 2014; PANUCCIO et al., 2018).

A planta de milho apresenta peculiaridades fisiológicas que por muitas vezes limitam o desempenho produtivo, como por exemplo a baixa prolificidade e a alta competição interespecífica (SANGOI et al., 2016). Com base nisso, o estabelecimento de estandes de plântulas uniformes, tanto em distribuição espacial como temporal são de fundamental importância para rendimentos satisfatórios da cultura, fatores esses que estão intimamente associados à qualidade fisiológica das sementes utilizadas na implantação das lavouras, principalmente quanto à germinação e ao vigor. Esse último é considerado determinante para rendimentos promissores, principalmente sob condições ambientais adversas que possam acometer o estabelecimento das plântulas (WATERWORTH; BRAY; WEST, 2015).

A salinização do solo é um processo natural, porém atividades antropogênicas inadequadas, como a utilização de irrigação mal manejada e/ou com águas relativamente ricas em sais, adubação química excessiva, fertirrigação, associados a fatores intrínsecos do ambiente, a exemplo da deficiência de drenagem do solo, vem ocasionando significativas perdas produtivas e contaminações ambientais (LOPES; MACEDO, 2008; DIAS et al., 2016; SILVA; GRZYBOWSKI; PANOBIANCO, 2016).

A salinidade pode acometer vários processos naturais de um organismo biológico vegetal, podendo alterar processos bioquímicos e fisiológicos, resultando em alterações morfológicas e de desenvolvimento em todas as fases da planta, inclusive interferindo nos processos de germinação e formação da plântula (LOPES; LIMA, 2015). O vigor das sementes,

é um dos fatores que possibilitou a perpetuação das espécies vegetais perante os mais abruptos ambientes. Nos últimos anos, o vigor das sementes tem ganhado destaque e desenvolveram-se várias pesquisas a seu respeito. Contudo, carece de alguns estudos mais aprofundados no entendimento dos mecanismos a nível fisiológico. Nesse sentido, o entendimento da interação do potencial fisiológico da semente, com ênfase no vigor, e a sua relação com a superação do estresse salino durante o processo germinativo ainda são um desafio, carecendo de estudos mais específicos que abordem essa temática.

Nesse contexto, tem-se como hipótese que lotes de sementes de alto vigor proporcionam uma maior superação das condições de estresse salino e conseqüentemente formarão plântulas mais vigorosas. Para tanto, o objetivo do presente trabalho foi analisar se os parâmetros fisiológicos de lotes de semente de milho híbrido com vigor contrastantes são determinantes para a formação de plântulas vigorosas sob diferentes intensidades e/ou níveis de estresse salino durante o processo de germinação e formação de plântula.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Pesquisa de Análise de Sementes (LAS) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), localizado no município de Lages, no estado de Santa Catarina, Brasil.

O trabalho foi conduzido sob esquema fatorial 2 x 5, em que o primeiro fator foi composto por lotes de sementes de alto e baixo vigor (4 lotes de alto e 4 lotes de baixo vigor, agrupados em dois grandes grupos), e o segundo por cinco níveis de estresse salino obtidos por acréscimos de NaCl (0, 50, 100, 150 e 200 mmol. L⁻¹), combinados em quatro repetições (Tabela 5).

Tabela 5 - Concentrações e/ou níveis de estresse salino através de soluções de NaCl (cloreto de sódio).

NaCl mmol.L ⁻¹	NaCl g.L ⁻¹	CE dS m ⁻¹	Classificação (RICHARDS, 1954)	Ψ _{os} Mpa
0	0	0,0	Não salino	0
50	2,92	5,2	Moderadamente salino	-0,1
100	5,84	9,7	Altamente salino	-0,2
150	8,77	14,6	Altamente salino	-0,3
200	11,69	19,4	Severamente salino	-0,4

Legenda: CE: condutividade elétrica; Ψ_{os}: potencial osmótico.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

A mensuração do potencial hídrico de cada nível de estresse e/ou concentração de NaCl foi realizada através da equação de Van't Hoff, $\Psi_{os} = RTC$, onde Ψ_{os} = potencial osmótico; R = constante geral para gases perfeitos ($8,32 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$); T = temperatura (K) = $273 + T$ ($^{\circ}\text{C}$); e C = concentração (mol. L^{-1}) (SALISBURY E ROSS, 1991).

A condutividade elétrica da solução (CE), foi determinada através de um condutivímetro em uma temperatura de 25°C da solução, por um período de três minutos de submersão do eletrodo, sendo utilizada para categorizar o nível de estresse salino utilizado. Segundo esse nível, em solos não salinos a condutividade deve ser menor que 2 dS m^{-1} , ligeiramente salinos de 2 a 4 dS m^{-1} , moderadamente salinos de 4 a 8 dS m^{-1} , altamente salinos de 8 a 16 dS m^{-1} e severamente salinos quando superior a 16 dS m^{-1} (RICHARDS, 1954).

4.2.1 Material vegetal

Foram utilizadas sementes de quatro híbridos simples comerciais AG 9025 PRO3, 32R22VYHR, 30F53VYH e DKB 230 PRO3, produzidos durante o ano agrícola 2019/2020. Após a aquisição, as sementes foram armazenadas em câmara seca com temperatura de $10^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $45\% \pm 5\%$, até a utilização no decorrer do trabalho.

4.2.2 Redução do vigor

Para a obtenção dos lotes de sementes de baixo vigor, os quatro materiais biológicos foram submetidos a uma redução de vigor com base em alta temperatura e umidade através da câmara de envelhecimento acelerado. Em caixas plásticas transparentes do tipo “gerbox”, com dimensões de $11 \times 11 \times 3,5 \text{ cm}$ (MARCOS-FILHO, 2020b), depositou-se 40 mL de água destilada, e 100 sementes foram distribuídas uniformemente sobre telas de aço inoxidável, impedindo que as mesmas ficassem em contato direto com a água, mas mantendo um microclima de saturação de umidade. Após esses procedimentos, essas caixas contendo as sementes foram acomodadas e mantidas em câmara de envelhecimento acelerado sob temperatura de $45 \pm 1^{\circ}\text{C}$ por 72 horas (AOSA, 1983; BITTENCOURT, VIEIRA, 2006). Após esse período, as sementes foram mantidas em câmara de circulação de ar por 24 horas sob temperatura de $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ para a redução da umidade.

Ao fim desse processo foram obtidos quatro lotes de semente de baixo vigor (sementes que passaram pelo processo de redução artificial do vigor através de alta temperatura e umidade), e quatro lotes de alto vigor (sementes que não passaram pelo processo de redução de vigor, mantendo seu vigor de origem).

Os lotes 1, 2, 3 e 4 (L1 =AG 9025 PRO3, L2 = 32R22VYHR, L3 = 30F53VYH e L4 = DKB 230 PRO3), não passaram pela redução artificial do vigor, apresentando características originais das sementes recebidas e armazenadas, manifestando um peso de mil sementes e grau de umidade de: L1: 362,32 gramas e 11,4 % de umidade; L2: 336,66 gramas e 10,4 % de umidade; L3: 289,96 gramas e 9,6 % de umidade e L4: 287,94 gramas e 11,8 % de umidade, respectivamente.

Os lotes 5, 6, 7 e 8 (L5 = AG 9025 PRO3, L6 = 32R22VYHR, L7 = 30F53VYH e L8 = DKB 230 PRO3) passaram pelo processo de redução artificial do vigor, manifestando um peso de mil sementes e grau de umidade de: L5: 355,74 gramas e 11,4 % de umidade; L6: 334,39 gramas e 11,1 % de umidade; L7: 291,24 gramas e 10,6 % de umidade; L8: 284,60 gramas e 11,2 % de umidade respectivamente.

4.2.3 Obtenção da amostra de trabalho

A amostra de trabalho foi obtida através da homogeneização e redução, conforme indicado nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Após esse procedimento, as amostras de trabalho foram divididas em quatro partes, onde cada uma originou uma repetição (COELHO et al., 2010).

4.2.4 Caracterização dos lotes de semente

Os lotes de sementes foram caracterizados quanto à germinação, e determinação do vigor através da primeira contagem da germinação em água e teste de envelhecimento acelerado (utilizado para caracterizar e agrupar os materiais em dois grandes grupos de alto e baixo vigor).

Determinação do percentual de germinação: Para a determinação do percentual de germinação, foram utilizadas 200 sementes de cada lote, sendo trabalhado com quatro repetições de 50 sementes por rolo de papel “Germitest”. As folhas de papel foram umedecidas com água destilada 2,5 vezes o peso do papel seco, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Primeira contagem da germinação: A primeira contagem da germinação foi realizada conjuntamente do teste de germinação. Seu percentual é de acordo com o primeiro dia de mensuração da germinação. A primeira avaliação da cultura do milho foi realizada aos 4 dias após a semeadura e/ou implantação do teste, sendo seu resultado expresso em percentual.

Vigor pelo teste de envelhecimento acelerado: Para a realização do teste de envelhecimento acelerado, as sementes foram distribuídas uniformemente sobre telas de aço inoxidável em caixas plásticas transparente do tipo “gerbox” nas dimensões de 11 x 11 x 3,5

cm (MARCOS-FILHO, 2020b). Ao fundo de cada “gerbox”, abaixo das sementes, depositou-se 40 mL de água destilada. Após esses procedimentos, as caixas contendo as sementes foram acomodadas e mantidas em câmara de envelhecimento acelerado sob temperatura de $45 \pm 1^\circ\text{C}$ por 30 horas, de acordo com testes prévios realizados.

Após esse período foi realizada a semeadura das sementes em papel “Germitest” umedecido 2,5 vezes o peso do papel seco, sendo utilizadas quatro repetições de 50 sementes por lote. Após a semeadura e confecção dos rolos, os mesmos foram inseridos em sacolas plásticas transparentes e mantidos em germinador do tipo Mangelsdorf, sob um fotoperíodo de 12 horas de luz e temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$. A avaliação e mensuração dos resultados foi realizada aos 4 e 7 dias após a confecção dos rolos e os resultados expressos em percentuais sendo considerado apenas a taxa de plântulas normais.

4.2.5 Determinação do percentual de germinação e desempenho de plântulas sob diferentes níveis e/ou concentrações de estresse salino

Percentual de germinação (G): A determinação do percentual de germinação sob diferentes níveis e ou concentrações de estresse salino foi realizada conforme descrito anteriormente, contudo, umedecendo os papéis com os diferentes níveis de estresse salino (Tabela 1).

Primeira contagem da germinação (PCG): Foi realizado conjuntamente com a germinação sob diferentes níveis e/ou concentrações de estresse salino, contudo sendo considerado apenas o primeiro dia de avaliação, no quarto dia após a semeadura.

Desempenho de Plântula: Foram distribuídas 20 sementes na porção superior do papel “Germitest”, que foi umedecido 2,5 vezes o seu peso seco, com as respectivas soluções de água e concentrações de NaCl (0, 50, 100, 150 e 200 mmol. L⁻¹) conforme Tabela 5 acima. Esses rolos foram acondicionados em sacos plásticos transparentes para evitar a perda de umidade, e mantidos em germinadores (Mangelsdorf) com temperatura controlada de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e fotoperíodo de 12 horas de luz por sete dias.

Após esse período foi realizado a mensuração de parâmetros associados ao desempenho de plântulas, sendo estes: comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento total da plântula (CTP), massa seca do sistema radicular (MSSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total das plântulas (MSTP), e a taxa fisiológica de mobilização das reservas da semente (TMRS), obtida com base na massa seca total da plântula (MSTP) e massa seca de sementes (MSS) de 10 plântulas normais por unidade experimental (repetição).

Taxa de mobilização das reservas (TMR): foi mensurada através do cálculo matemático que compreende a massa seca total da plântula dividida pela massa seca da semente e seu resultado multiplicado por 100 ($TMR = (MSTP/MSS) * 100$) (ANDRADE; COELHO; PADILHA, 2019). Para realizar a determinação da TMR através do acúmulo de massa seca, realizou-se a separação da parte aérea e sistema radicular (estruturas originadas do eixo embrionário) e do endosperma + escutelo (estrutura de reserva e de proteção respectivamente), ambas estruturas foram secas a temperatura de 80°C durante 24 horas, e após foram pesadas em balança analítica para a determinação da massa seca.

Para a determinação da matéria seca das sementes, utilizaram-se 20 sementes por repetição, sendo quatro repetições. Essas amostras foram secas em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ pelo período de 24 horas e com o auxílio de balança analítica foi quantificado o peso em gramas.

4.2.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade através do teste de Shapiro-Wilk, e à Análise de Variância (ANOVA). Após, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, através do programa estatístico Sisvar®. Foi realizada a análise de regressão a fim de caracterizar o comportamento em relação às diferentes concentrações e/ou níveis de estresse ocasionados por NaCl.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os lotes L1, L2, L3 e L4 apresentaram percentuais de primeira contagem da germinação de 98, 92, 96 e 92 % respectivamente, ambos não diferindo entre si e sendo os maiores resultados encontrados conforme demonstrado na Tabela 6. Em contrapartida, os L5, L6, L7 e L8 apresentaram percentual de primeira contagem de germinação inferiores sendo 17, 31, 73 e 73% respectivamente, onde o lote L5 demonstrou maior sensibilidade a redução artificial do vigor seguido do L6 e depois o L7 e L8, os quais não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 6).

A primeira contagem da germinação é uma variável utilizada para a segregação de vigor em diferentes lotes com base na velocidade de germinação, onde lotes de maior vigor possuem percentual de primeira contagem maiores se comparados com lotes de menor vigor (SANTOS et al., 2016).

Tabela 6 - Caracterização e segregação dos lotes de semente de milho quanto ao vigor.

Lote	Híbrido	RAV	G (%)	PCG (%)	EA
L1	AG 9025 PRO3	N	99	98 a	98 a
L2	32R22VYHR	N	96	92 a	94 a
L3	30F53VYH	N	98	96 a	98 a
L4	DKB 230 PRO3	N	98	92 a	95 a
L5	AG 9025 PRO3	S	56	17 d	45 d
L6	32R22VYHR	S	53	31 c	48 d
L7	30F53VYH	S	84	73 b	69 c
L8	DKB 230 PRO3	S	94	73 b	85 b

Legenda: RAV: Redução artificial do vigor: N=não e S=sim; G: germinação; PCG: percentual de primeira contagem da germinação; EA: Envelhecimento acelerado. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O teste de EA corroborou com os resultados obtidos de PCG, consolidando ainda mais o agrupamento dos lotes de alto vigor (AV) e baixo vigor (BV). Os lotes L1, L2, L3 e L4 demonstraram resultados de 98, 94, 98 e 95% de envelhecimento acelerado, respectivamente, onde os 4 lotes não diferiram entre si incorporando dessa forma o grupo de AV. Em relação aos lotes L5, L6, L7 e L8, manifestaram 45, 48, 69 e 85% respectivamente conforme ilustrado na Tabela 6, onde os lotes L5 e L6 demonstraram uma maior sensibilidade à redução do vigor de forma artificial.

O teste de envelhecimento acelerado é um dos testes amplamente difundido e utilizado para a mensuração do vigor. Trata-se de um teste fisiológico que utiliza os preceitos de uma situação desfavorável à qual acomete o metabolismo da semente alterando o percentual de plântulas normais, sendo que os de maior vigor terão uma maior superação de tal situação desfavorável (MARCOS-FILHO, 2020b). É amplamente utilizado para as mais diversas culturas, sendo capaz de detectar e segregar os lotes de acordo com sua diferença de vigor (MATHIAS; COELHO, 2021).

De forma geral, conforme apresentado na Tabela 6, observa-se que o processo de redução de vigor artificial foi efetivo, uma vez que todos os lotes dos híbridos que passaram pelo processo originaram médias de PCG e EA inferiores aos seus lotes de origem (lotes que não passaram pelo processo de redução artificial do vigor). Dessa forma, os lotes L1, L2, L3 e L4 constituíram o grupo de alto vigor (AV), e os lotes L5, L6, L7 e L8 o grupo de baixo vigor (BV).

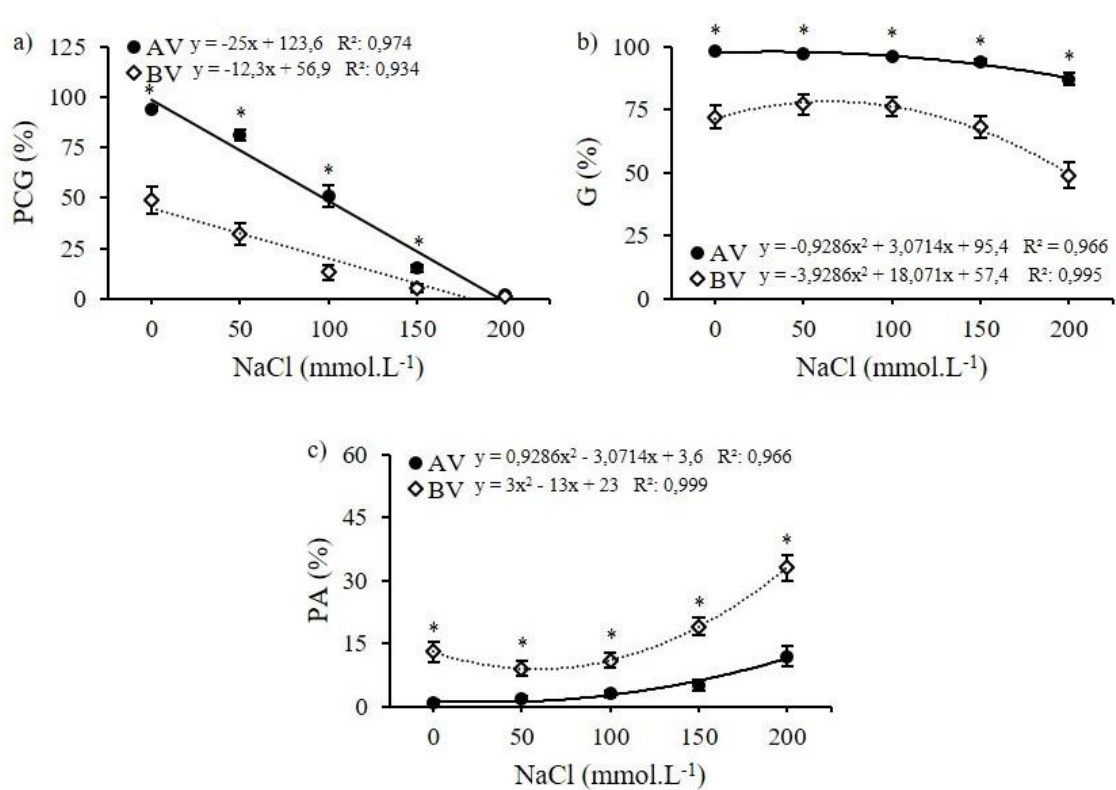
O vigor é a somatória de características responsáveis por propiciar um bom desempenho fisiológico e metabólico das sementes, provendo um desempenho adequado em uma ampla condição ambiental, sejam essas favoráveis ou não (AMARO et al., 2015). Assim, a primeira contagem da germinação (Figura 6 a) nas diferentes concentrações e/ou níveis de estresse

salino, apresentou um comportamento linear decrescente em ambos os grupos de baixo e alto vigor. Contudo, os lotes de baixo vigor obtiveram percentuais significativamente inferiores, diferindo entre si em todas as concentrações, exceto em 200 mmol. L⁻¹ de NaCl, demonstrando assim, que em condições severas de estresse salino o vigor não potencializa a velocidade de germinação. Em situação controle (0 mmol. L⁻¹ de NaCl), a primeira contagem da germinação no grupo de AV foi de 94%, sendo reduzida à medida que o estresse aumentou, encerrando com 2% no nível mais elevado de estresse avaliado (200 mmol. L⁻¹ de NaCl). O grupo de BV, por sua vez, variou de um percentual de 49% na situação sem estresse, chegando a um percentual de somente 1% sob condição mais severa de estresse salino (Figura 6 a).

É possível que essa redução da primeira contagem esteja atrelada à diminuição do potencial hídrico da semente à medida que o estresse aumenta devido ao acúmulo significativo de cloreto de sódio no substrato, reduzindo a velocidade de embebição da semente como um todo (NUNES et al., 2020). Nessa mesma perspectiva, as sementes requerem uma umidade mínima de água para ativar os processos metabólicos basais como a respiração para a formação de energia e a tradução de proteínas diversas para a ocorrência da germinação (TAIZ et al., 2017). Esse processo é retardado pela diferença de potencial hídrico de cada nível de estresse, reduzindo a PCG tanto do AV quanto do BV.

Os mesmos resultados também podem ser explicados pelo nível de vigor de cada semente, em que sementes de baixo vigor encontram-se fisiologicamente mais debilitadas, o que requer um maior tempo para sua reestruturação física e bioquímica tanto em condições ótimas de ambiente, como em situações de estresses, estando associado a peroxidação de lipídeos, perda da capacidade de proteção da semente, dano ao material genético e consumo do material de reserva para suportar o estresse (ANDRADE et. al., 2019; EBONE; CAVERZAN; CHAVARRIA, 2019).

Figura 6 - Desempenho fisiológico em relação ao processo de germinação.



Legenda: **a)** PCG: primeira contagem da germinação (%); **b)** G: germinação (%); **c)** PA: plântulas anormais (%).
*, **Diferença significativa pelo teste F a 1% e 5% em relação ao grupo de AV e BV em cada nível de estresse salino.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em relação ao percentual de germinação (Figura 6 b), os grupos demonstraram comportamento quadrático, em relação as situações de estresse abordadas no presente estudo, uma vez que o comportamento biológico em concentrações acentuadas de sal é a morte celular e conseqüentemente do organismo. Quando comparado o grupo de AV e BV, observa-se que em todos os pontos houve diferença de germinação. Isso se explica pela baixa qualidade fisiológica das sementes do grupo de BV. Além disso, essa diferença aumenta significativamente à medida que o nível e/ou concentração de NaCl aumentou, demonstrando a importância do vigor para a superação de condições de estresse salino e formação de plântulas normais.

De forma paralela, a variável plântulas anormais (Figura 6 c) apresentou comportamento quadrático ascendente uma vez que à medida que o estresse aumenta, também eleva o percentual de plântulas anormais. Dessa forma, constata-se que à medida que o estresse aumenta, se reduz o percentual de germinação (plântulas normais) e aumenta o número de plantas anormais, situação que é agravada em lotes de baixo vigor.

É válido salientar que a única diferença significativa observada foi no estresse mais severo, de 200 mmol. L⁻¹ no grupo de BV, demonstrando que a germinação é afetada apenas em condições severas de estresse salino em sementes de baixo vigor, uma vez que as sementes de alto vigor não diferiram estatisticamente em nenhum nível de estresse salino.

O comprimento da parte aérea (CPA), foi reduzido significativas à medida que o estresse aumentou (Figura 7 a). Outro comportamento observado foi que o vigor das sementes interfere diretamente nesse crescimento, sendo significativo em todos os níveis de estresse, exceto no nível de 200 mmol. L⁻¹ de NaCl. Dessa forma, é verificada uma influência do vigor para formar plântulas com maior comprimento de parte aérea. Entretanto, essa relação vai diminuindo à medida que o nível de estresse for elevado, sendo que sob condições severas de estresse, como 200 mmol. L⁻¹ de NaCl, o vigor não influencia mais nesse parâmetro. Silva et al. (2016), estudando a influência do vigor na superação do estresse salino até o nível de 100 mmol. L⁻¹, não observou uma relação significativa do vigor com a superação do estresse salino em relação à variável CPA.

A massa seca da parte aérea foi reduzida com o acréscimo do estresse de forma linear. As sementes de AV apresentaram a formação de parte aérea com maiores massas, independentemente do nível de estresse. Ao estabelecer um paralelo com o CPA, o qual não apresentou diferença do vigor em 200 mmol. L⁻¹ de NaCl, sugere-se que a diferença de massa possa estar associada a modificações estruturais das células, tecidos e conseqüentemente órgãos das plântulas, investindo em compostos orgânicos estruturais das células nessas estruturas para superar tal condição desfavorável.

A formação de uma parte aérea vigorosa e bem estruturada é de extrema importância para a formação de estande de plântulas, bem como para garantir rendimentos satisfatórios, nessa ótica, sob condições de estresse salino, em estágios iniciais de desenvolvimento da cultura do milho, uma provável estratégia seja investir em parte aérea para posterior realização da fotossíntese em estágios subsequentes antes que as reservas da semente sejam exauridas (SILVA et al., 2016).

O CSR foi a variável de comprimento que se demonstrou mais suscetível ao estresse. No nível mais elevado de sal (200 mmol. L⁻¹ de NaCl), em relação ao ambiente sem estresse (0 mmol. L⁻¹ de NaCl), houve uma redução de 83,56% no comprimento do grupo de AV e 92,81% no grupo de BV, evidenciando uma melhor performance no grupo de alto vigor. Outro fator contemplado foi a abrupta redução do comprimento da radícula na presença de 50 mmol. L⁻¹ de NaCl (Figura 7 c). A partir do primeiro nível de estresse em relação aos demais (mais severos), houve uma redução no comprimento, contudo de uma forma menos acentuada, demonstrando

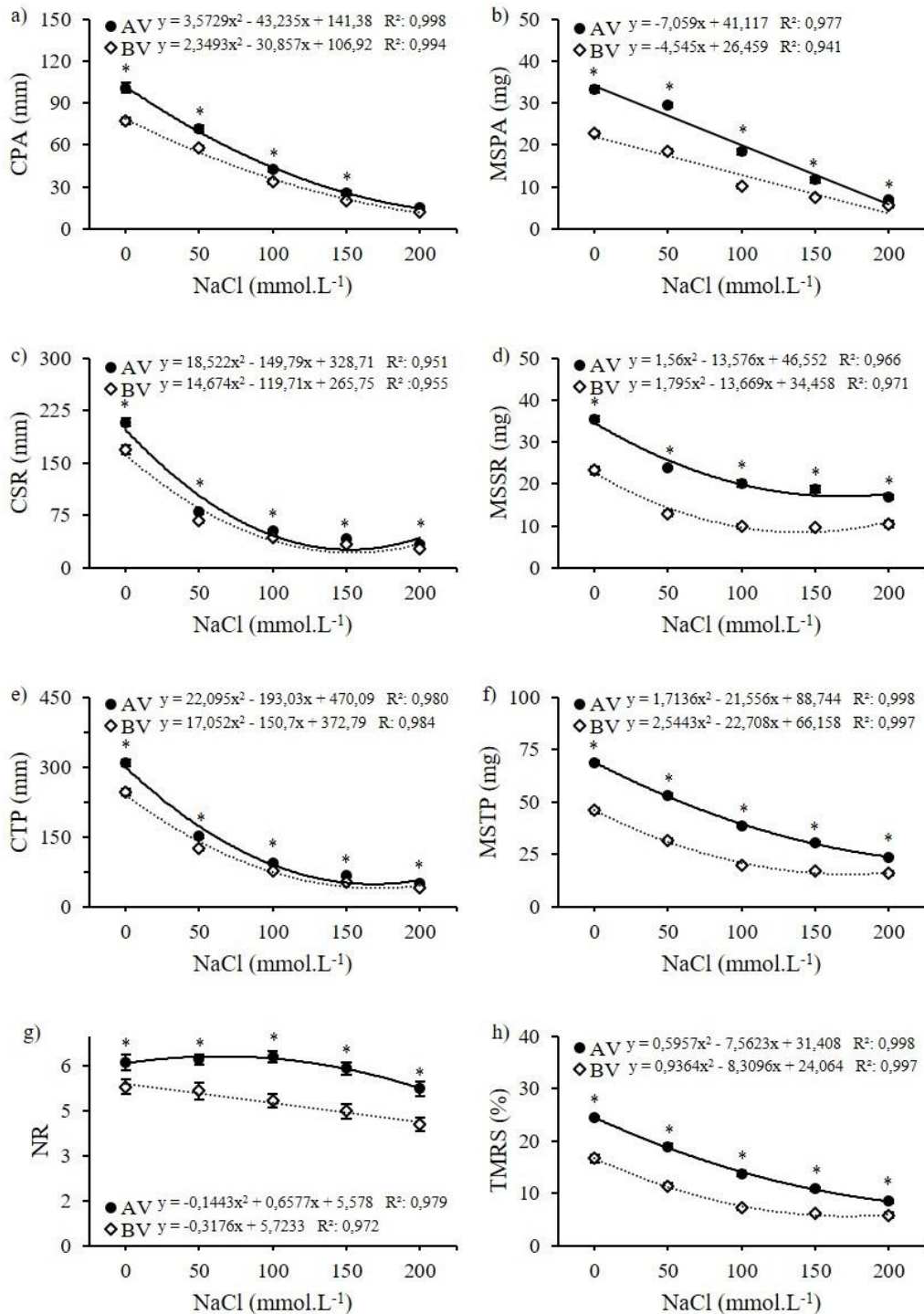
uma provável adaptação da planta para manter suas funções vitais independentemente do nível de estresse em ambos os níveis de vigor.

Essa redução do comprimento do sistema radicular em condições de estresse salino de acordo com Maia et al. (2015), está associada a morte do meristema apical das raízes, impedindo que ocorra o processo de divisão, alongamento, maturação celular e consequentemente diferenciação e crescimento. Essa redução no comprimento da raiz atribuída à diminuição da divisão e alongamento celular (HUSSAIN et al., 2016; WANG et al., 2016) acaba prejudicando a absorção de água e afetado o desempenho das plântulas (LI et al., 2013).

Paralelamente da redução do CSR à medida que se elevou o estresse salino, foi observado uma redução da MSSR, comportamentos semelhantes de decréscimo do componente de massa seca do sistema radicular em diferentes potenciais osmóticos ocasionados pelo acréscimo de NaCl foram observados com ervilha (PEREIRA et al., 2019), arroz (CAVALCANTE et al., 2019), entre outras culturas.

Em condições de solos salinos, preconizam-se sistemas radiculares bem desenvolvidos para uma exploração de maior volume de solo, reduzindo a concentração de Na^+ , composto danoso as células, possibilitando um maior desenvolvimento da parte aérea e consequentemente maior tolerância ao estresse salino (KAKAR et al., 2019). Nessa situação, o grupo de AV influenciou positivamente nos parâmetros de crescimento e massa do sistema radicular, uma vez que apresentou médias superior em todos os níveis de salinidade em relação ao grupo de BV. A MSSR também foi reduzida à medida que se elevou a concentração de NaCl.

Figura 7 - Resultados do desempenho fisiológico de lotes de alto vigor (AV), e baixo vigor (BV).



Legenda: **a)** CPA: comprimento da parte aérea (mm); **b)** MSPA: massa seca parte aérea (mg); **c)** CSR: comprimento do sistema radicular (mm); **d)** MSSR: massa seca do sistema radicular (mg); **e)** CTP: comprimento total da plântula (mm); **f)** MSTP: massa seca total plântula (mg); **g)** NR: número de raízes; **h)** TMRS: taxa de mobilização das reservas da semente (%). *,**diferença significativa pelo teste F a 1% e 5% em relação ao grupo de AV e BV em cada nível de estresse salino.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O CTP e a MSTP foram reduzidos de forma quadrática em relação as concentrações e/ou níveis de salinidades estudados. O grupo de AV sobressaiu-se em todos os níveis e/ou concentrações de estresse em ambas as variáveis formando plântulas mais vigorosas. Essa redução do comprimento e da massa possivelmente ocasionada em um primeiro momento pelo estresse osmótico causado pela salinidade, tendo em vista que para que os vegetais se desenvolvam deve ocorrer a divisão celular dos meristemas através de processos mitóticos, onde posteriormente essas células vão se especializar e compor os novos tecidos, processos estes prejudicados pela deficiência osmótica (GOMES FILHO et al., 2019). Prejuízos do estresse osmótico e a influência do vigor em sementes de milho já foram relatados por Grzybowski et al. (2019), utilizando polietileno glicol 6000, onde sementes de alto vigor proporcionaram uma maior superação da condição de estresse.

Em um segundo momento, a salinidade afeta o organismo biológico vegetal através do estresse iônico, onde a plântula com o intuito de entrar em homeostase osmótica e regular seu potencial hídrico para manter as funções básicas vitais de suas células e conseqüentemente organismo, absorve íons que auxiliam na redução do potencial hídrico da plântula conseqüentemente auxiliam na absorção de moléculas de água por parte do sistema radicular, contudo, o acréscimo desses íons principalmente o Na^+ , é prejudicial às células, acometendo-as de várias formas deletérias (SILVA et al., 2018). Essa alteração na homeostase celular ocasionada pela perturbação iônica pode levar ao incremento acentuado de espécies reativas de oxigênio que são danosas aos compostos orgânicos das células (PINHEIRO et al., 2016).

A redução dos parâmetros CPA, CSR, CTP, MSPA, MSSR, MSTP demonstra a severidade do estresse salino no organismo biológico vegetal. De forma geral, também se constata que sementes dos lotes de AV formaram plântulas mais vigorosas decorrente da superação do estresse durante o processo de germinação e formação da plântula. Essa redução do crescimento em decorrência do decréscimo do metabolismo vegetal é associada à diminuição da absorção de água, componente de extrema importância para as relações metabólicas celulares e/ou pela toxidez iônica ocasionada pelos íons principalmente sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-) (PANUCCIO et al. 2018), as sementes de BV, como são metabolicamente mais debilitadas, apresentaram prejuízos com maior intensidade.

O NR foi influenciado pelo vigor das sementes, onde o grupo de AV apresentou um maior NR, até 100 mmol. L^{-1} de NaCl (Figura 7 g). O grupo de BV por sua vez obteve comportamento de decréscimo linear à medida que a severidade do estresse salino aumentou. O NR é uma variável que está associada a uma maior exploração do volume do solo. Com base nos resultados observados, verifica-se uma influência positiva do vigor sobre esse parâmetro

uma vez que até determinado nível de estresse as sementes de AV estimulam o aumento do NR com o intuito de superar tal situação, comportamento que não foi observado em lotes de BV.

Para a formação de estandes de plântulas adequados objetiva-se com o final do processo de germinação a formação de plântulas normais e vigorosas, resultados diretamente relacionados com a taxa de mobilização das reservas da semente (PADILHA; COELHO; ANDRADE, 2020). A TMRS consiste no percentual de reservas que de fato foram mobilizadas para formar a plântula. Ao comparar o grupo de AV e BV constata-se que, independentemente do nível de salinidade, o grupo de AV hidrolisa e mobiliza mais reservas para a formação da plântula (Figura 7 h). O AV na condição controle apresentou uma taxa de mobilização de reservas da semente de 24,35%, decrescendo de forma quadrática até 8,47 % na situação mais severa de estresse salino (200 mmol. L⁻¹ de NaCl). Na situação controle, o grupo de BV apresentou uma taxa de mobilização de 16,67%, obtendo um decréscimo de forma quadrática para 5,83 % no nível de 200 mmol. L⁻¹ de NaCl.

Esses resultados estão fundamentados com a importância da água para os processos de hidrólise e também de mobilização dos compostos. Nessa perspectiva, Morais et al. (2018), observou a inibição da germinação e redução da expressão de alfa amilase em duas variedades de feijão sob condições de estresse salino severo, correspondente a 200 mmol. L⁻¹ de NaCl, devido a interferência catalítica na degradação do amido comprometendo o metabolismo energético e estrutural, confirmando a relação dos processos metabólicos bioquímicos com a expressão fisiológica.

A TMRS é um parâmetro estreitamente associado ao comprimento das estruturas da plântula (parte aérea, sistema radicular), bem como o comprimento total e as respectivas massas dessas estruturas, estando relacionado com a formação de plântulas mais vigorosas, podendo ser utilizada para selecionar sementes de maior qualidade fisiológica (ANDRADE; COELHO; PADILHA, 2019), corroborando com os resultados obtidos onde o grupo de AV obteve as maiores taxas de mobilização das reservas da semente em todas as condições avaliadas.

As diferenças observadas podem ser atribuídas a um mecanismo fisiológico mais eficiente das plântulas oriundas de sementes de maior vigor. O organismo biológico vegetal naturalmente produz espécies reativas de oxigênio e, ao impor determinado estresse, essa produção é exponencialmente elevada. Dessa forma, os vegetais possuem um aparato metabólico, como por exemplo, sistema antioxidante que metaboliza essas substâncias (XIE et al., 2019). Nessa lógica, pode se estabelecer um paralelo e atribuir essa melhor performance fisiológica das sementes de AV a um sistema antioxidante mais eficiente, o qual reduz danos oxidativos nas células, tendo como consequência a formação de plântulas mais vigorosas. De

encontro a isso, Prazeres e Coelho (2020), estudando a influência do vigor de sementes de milho sob estresse osmótico induzidos por polietilenoglicol, constataram uma resposta positiva do sistema antioxidante nas sementes de alto vigor durante o processo de germinação.

O ajuste osmótico também é considerado um dos principais mecanismos de tolerância ao estresse hídrico e salino (MAIA et al., 2015). Nesse sentido, sinaliza-se uma possível regulação osmótica mais eficiente em sementes de alto vigor, proporcionando uma maior plasticidade vegetal em relação a condições de estresse salino, formando plântulas mais vigorosas.

4.4 CONCLUSÃO

A elevação do nível de estresse salino afeta negativamente o desempenho fisiológico das sementes e a formação de plântulas.

Lotes de maior vigor apresentam uma maior capacidade de superação ao estresse salino, independentemente do nível do estresse, apresentando uma maior taxa de mobilização das reservas da semente e formação de plântulas vigorosas.

5 HIDRÓLISE E MOBILIZAÇÃO DAS RESERVAS DE SEMENTES DE MILHO HÍBRIDO DE ALTO VIGOR SÃO DETERMINANTES PARA UMA PERFORMANCE DE PLÂNTULA SUPERIOR SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO

RESUMO

O objetivo do trabalho foi verificar se o vigor das sementes é determinante para o processo de germinação e para a formação de plântulas sob condições de estresse salino, e indicar os componentes bioquímicos associados com a expressão do vigor. O experimento foi conduzido sob esquema fatorial 2 x 2 x 5 (vigor x ocorrência de estresse x tempo de germinação), onde em cada tempo determinou-se o comprimento e massa seca da parte aérea, sistema radicular e total da plântula. Além disso foi avaliado a proteína total (PT), proteína solúvel (PS), fitato, fósforo inorgânico (Pi), amido, açúcares solúveis totais (AST) e as enzimas hidrolíticas α -amilase e fitase. Houve um comportamento de decréscimo de PT nas sementes de alto vigor (AV), e baixo vigor (BV), contudo em maior intensidade nas sementes de AV a partir do quarto dia após a semeadura (DAS), se observou um aumento da PS nas sementes de AV. O fitato foi reduzido de forma linear, a fitase demonstrou aumento da atividade com o passar do tempo, contudo apresentou maior atividade no segundo DAS nas sementes de AV nas duas situações de estudo, paralelamente a esse resultado, o Pi nos tecidos de reserva aumentaram com o passar dos dias, havendo diferença entre os lotes apenas na situação controle a partir do quarto DAS para o AV. O amido também foi hidrolisado com o passar do tempo, houve diferença apenas na situação controle entre os lotes, sendo que a partir do segundo DAS as sementes de AV hidrolisaram maiores conteúdo. Houve também um incremento dos AST nos tecidos de reserva, onde o lote de AV apresentou maiores conteúdos nas duas situações. Dessa forma, conclui-se que sementes de AV proporcionam desempenho de plântulas superior sob condições de estresse salino. Os componentes bioquímicos fitato, proteína total e fósforo inorgânico estão associados com a semente de AV na situação controle no segundo DAS, a fitase açúcar solúvel total e α amilase estão associados com a semente de AV na situação de estresse, e em relação as plântulas originadas de sementes de AV sob estresse salino, os componentes bioquímicos associados são o fósforo inorgânico e o açúcar solúvel total.

Palavras-chave: *Zea mays* L., Proteínas, Carboidratos, Fosforo, Desempenho fisiológico.

HYDROLYSIS AND MOBILIZATION OF HIGH VIGOR HYBRID CORN SEED RESERVES ARE DETERMINANTS FOR A SUPERIOR SEEDLING PERFORMANCE UNDER SALINE STRESS CONDITIONS

ABSTRACT

The objective of this work was to verify if seed vigor is determinant for the germination process and for the formation of seedlings under saline stress conditions and to indicate the biochemical components associated with the expression of vigor. The experiment was carried out under a 2

x 2 x 5 factorial scheme (vigor x occurrence of stress x germination time), where at each time the length and dry mass of the shoot, root system, and total seedling were determined. In addition, total protein (TP), soluble protein (SP), phytate, inorganic phosphorus (Pi), starch, total soluble sugars (TSS), and hydrolytic enzymes α -amylase and phytase were evaluated. There was a behavior of TP decrease in high vigor (HV) and low vigor (LV) seeds, however in greater intensity in HV seeds from the fourth day after sowing (DAS), an increase in SP was observed in HV seeds. Phytate was reduced linearly, phytase showed increased activity over time, however it showed greater activity in the second DAS in HV seeds in the two study situations. Parallel to this result, Pi in the reserve tissues increased with as the days passed, there was a difference between the lots only in the control situation from the fourth DAS to the HV. Starch was also hydrolyzed over time, there was a difference only in the control situation between the lots, and from the second DAS onwards the HV seeds hydrolyzed higher content. There was also an increase in TSS in reserve tissues, where the HV batch presented higher contents in both situations. Thus, it is concluded that HV seeds provide superior seedling performance under saline stress conditions. The biochemical components phytate, total protein, and inorganic phosphorus are associated with the AV seed in the control situation in the second DAS, the total soluble sugar phytase and α amylase are associated with the HV seed in the stress situation, and in relation to the seedlings originated of HV seeds under saline stress; Associated biochemical components are inorganic phosphorus and total soluble sugar.

Keywords: *Zea mays* L., Proteins, Carbohydrates, Phosphorus, Physiological performance.

5.1 INTRODUÇÃO

O milho é uma cultura de grande importância econômica em diversas atividades agropecuárias e até mesmo no consumo da população (YIN et al., 2020; CESCINETTO et al., 2021), além de ser matéria-prima para a produção de biocombustível (YIN et al., 2020; CONDON; KLEMICK; WOLVERTON, 2015). Dentre os cereais, o milho é destaque pelo seu potencial de rendimento significativamente expressivo e possibilidade de uso em diferentes produtos (SHAH; PRASAD; KUMAR, 2016).

O milho é uma cultura que apresenta algumas peculiaridades que limitam sua estabilidade produtiva, sendo estas a baixa prolificidade e alta competição interespecífica (ARGENTA; SILVA; SANGOI, 2001), nesse sentido, o processo de estabelecimento de plântula é muito importante para garantir rendimentos promissores.

O processo de germinação e formação de plântula é importante para o desenvolvimento e perpetuação das espécies vegetais, além disso, essas fases são determinantes para rendimentos satisfatórios das espécies cultivadas (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016; DWIVEDI et al., 2021), contudo a formação de plântula é um período sensível, tendo em vista que é uma fase suscetível a estresses bióticos e abióticos (TAIZ et al., 2017). Para minimizar os impactos negativos dos fatores bióticos, existe defensivos agrícolas com performance muito promissora,

do contrário, os fatores abióticos são de difícil controle, tendo como a principal estratégia estudos de adaptação, seleção de genótipos tolerantes e uso de microorganismos (GOND et al., 2015).

A salinidade é um estresse abiótico que afeta os vegetais de duas formas, em um primeiro momento através da deficiência hídrica, devido à redução do potencial osmótico dos vegetais e em um segundo momento através da perturbação iônica devido ao acréscimo de solutos inorgânicos nas células vegetais, principalmente Na e Cl que ocasionam danos em membranas celulares, desnaturação enzimática dentre outros (SZYPULSKA; JANKOWSKI; WEIDNER, 2017; SHARIF et al., 2019; TIDKE et al., 2019; MIRANSARI; SMITH, 2019). A salinidade impede várias funções metabólicas da planta relacionadas ao crescimento, desenvolvimento e produção (PIRASTEH-ANOSHEH et al., 2021).

A salinização do solo é um processo que ocorre de forma natural, principalmente em regiões áridas e semiáridas em especial pela baixa precipitação e a alta evapotranspiração (SANTOS et al., 2015), podendo variar de acordo com as condições climáticas, tipo de solo, manejo de irrigação e fertirrigação, preparo do solo dentre outros (SATIR; BERBEROGLU, 2016). Desse modo, a tolerância a estresses bióticos e abióticos aliada a maiores rendimentos são de extrema importância para possibilitar o atendimento das necessidades populacional de forma sustentável em relação a cultura do milho (YADAV et al., 2015).

A tolerância ao estresse salino é dependente de vários fatores, dentre estes destaca-se os componentes morfológicos e fisiológicos (KAKAR et al., 2019). O vigor das sementes é um atributo fisiológico que confere um diferencial metabólico no processo de germinação, formação de plântula, estabelecimento de estande e tolerância a fatores ambientais (ADDANKI et al., 2019; DWIVEDI et al., 2021), envolvendo parâmetros, fisiológicos e bioquímicos responsáveis por eventos metabólicos do processo de germinação e formação de plântulas (SAHOO et al., 2020). Nesse sentido, entender a influência do vigor das sementes na tolerância a situações de estresse salino, e indicar as alterações bioquímicas durante o processo de estresse ainda é um desafio.

No decorrer do processo de germinação, os componentes de reserva são hidrolisados para suportar o crescimento e desenvolvimento da plântula (NADEEM et al., 2014; FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016). A maior fração de compostos estocados na semente do milho está restrita ao endosperma, o qual comporta principalmente o amido e proteínas, e escutelo, o qual armazena principalmente lipídeos (FEENSTRA et al., 2017; DWIVEDI 2021), e fitato (HÍDVÉGI; LÁSZTITYA, 2002; NADEEM et al., 2011). Aliado a esses componentes, as hidrolases, enzimas que hidrolisam os componentes de reserva possivelmente associam-se a um

rápida e uniforme germinação e desenvolvimento de planta, bem como formando plântula mais vigorosa (ALI et al., 2018).

Estudos desenvolvidos com a cultura do milho com ênfase para o vigor das sementes, constataram a associação dos componentes bioquímicos com a expressão do vigor (PRAZERES; COELHO; ARRUDA, 2021; ANDRADE; COELHO; UARROTA, 2020; NERLING; COELHO; BRÜMMER, 2018), no entanto, entender o vigor aliado a superação de estresse abiótico durante a germinação e formação de plântula, sob estresse salino são necessários, além de identificar quais parâmetros bioquímicos estão associados a expressão do vigor sob essas condições.

Dessa forma, tem-se como hipóteses que: I) sementes de alto vigor proporcionam uma maior superação do estresse salino, promovendo um percentual de germinação superior, formando plântulas mais vigorosas; II) sementes de maior vigor possuem maior hidrólise e mobilização de compostos de reserva devido a uma maior ação de enzimas hidrolíticas, proporcionando um maior suprimento de compostos solúveis de menor peso molecular para o metabolismo, propiciando um crescimento das plântulas superior e mais vigorosas.

Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi verificar se o vigor das sementes é determinante para o processo de germinação e formação de plântulas sob condições de estresse salino, e indicar os componentes bioquímicos associados com a expressão do vigor.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi efetuado no Laboratório de Pesquisa de Análise de Sementes (LAS) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV), localizado no município de Lages, no estado de Santa Catarina, Brasil.

O experimento foi conduzido sob esquema fatorial 2 x 2 x 5, sendo o primeiro fator composto por um lote de alto vigor (AV), e um de baixo vigor (BV), o segundo por uma situação controle (H₂O), e por uma situação de estresse salino ocasionada por uma solução de 100 mmol. L⁻¹ de NaCl, e o terceiro fator sendo uma regressão do processo de germinação e formação de plântula, composto por 0, 2, 4, 6 e 8 dias após a semeadura (DAS), combinados em quatro repetições para as análises fisiológicas e três repetições para as análises bioquímicas.

O material vegetal utilizado foi o híbrido simples comercial 30F53VYH, produzido durante a safra agrícola 2019/2020. Após a aquisição, as sementes foram armazenadas em câmara seca com temperatura de 10 ± 3 °C e umidade relativa do ar de 45 ± 5%, até sua utilização. Para a obtenção do lote de baixo vigor, uma fração das sementes foi submetida a

redução artificial do vigor com base em alta temperatura e umidade através da câmara de envelhecimento acelerado.

5.2.1 Redução do vigor:

Em caixas plásticas do tipo “Gerbox”, depositou-se 40 mL de água destilada e 100 sementes foram distribuídas uniformemente sobre telas de aço inoxidável acomodadas e mantidas em câmara de envelhecimento acelerado sob temperatura de $45 \pm 1^\circ\text{C}$ por 72 horas (AOSA, 1983; BITTENCOURT; VIEIRA, 2006). Após esse período, as sementes foram retiradas das caixas plásticas e mantidas em câmara de circulação de ar por 24 horas sob temperatura de $30 \pm 2^\circ\text{C}$ para a redução da umidade.

Ao fim desse processo se obteve um lote de semente de baixo vigor (sementes que foram submetidas ao processo de redução artificial do vigor através de alta temperatura e umidade), e um lote de alto vigor (sementes que não foram submetidas ao processo de redução de vigor, mantendo seu vigor de origem).

O lote de AV demonstrando características originais das sementes recebidas e armazenadas, possuía um peso de mil sementes e grau de umidade de 286,87 gramas e 10,2% de umidade e o lote de BV 285,27 gramas e 10,3% de umidade respectivamente.

5.2.2 Obtenção da amostra de trabalho

A amostra de trabalho foi obtida através da homogeneização e redução, conforme indicado nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Após esse procedimento, as amostras de trabalho foram divididas em quatro partes, onde cada uma originou uma repetição (COELHO et al., 2010), para as análises fisiológicas, e para as análises bioquímicas a quarta fração (que originou a quarta repetição das fisiológicas), não foi utilizada.

5.2.3 Caracterização dos lotes de sementes e determinação do percentual de germinação e desempenho de plântulas sob estresse salino

Os lotes de sementes foram caracterizados quanto à germinação, e determinação do vigor através da primeira contagem da germinação (PCG) e teste de frio (TF).

Determinação do percentual de germinação (G): Para a determinação do percentual de germinação, foram utilizadas 200 sementes de cada lote, sendo trabalhado com quatro repetições de 50 sementes. O substrato utilizado foi folhas de papel “Germitest” umedecidas com 2,5 vezes o peso do papel seco, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), com água destilada para a caracterização, para a determinação da germinação

em situação controle e estresse, foi realizado o procedimento da mesma forma, alterando apenas a situação de estresse, onde utilizou-se uma solução de 100 mmol. L⁻¹ de NaCl para ocasionar o estresse salino. Após a confecção dos rolos, esses foram inseridos em sacolas plásticas transparentes e acomodados em germinadores tipo Mangelsdorf, na posição vertical sob temperatura de 25 ± 2°C e fotoperíodo de 12 horas de luz. Realizaram-se duas leituras, aos quatro e aos sete dias após o início do teste (BRASIL, 2009).

Primeira contagem da germinação: A primeira contagem da germinação foi realizada conjuntamente ao teste de germinação. Seu percentual é de acordo com o primeiro dia de mensuração da germinação. A primeira avaliação da cultura do milho foi realizada aos 4 dias após a semeadura e/ou implantação do teste, sendo seu resultado expresso em percentual.

Vigor pelo teste de frio: Foram utilizadas 200 sementes de cada lote, sendo trabalhado com quatro repetições de 50 sementes. O substrato utilizado foi folhas de papel “Germitest” umedecidas com 2,5 vezes o peso do papel seco com água destilada. Após a semeadura e confecção dos rolos, os mesmos foram inseridos em sacolas plásticas transparentes e mantidos em câmara BOD no escuro sob temperatura de 5 ± 1°C por um período de 7 dias. Após esse período, os rolos foram acomodados em germinador do tipo Mangelsdorf, sob um fotoperíodo de 12 horas de luz e temperatura de 25 ± 2°C. A avaliação e mensuração dos resultados foi realizada aos 4 e 7 dias após a inserção em germinador e os resultados expressos em percentuais sendo considerado apenas a taxa de plântulas normais.

Desempenho fisiológico durante o processo de germinação e formação de plântula: Foram distribuídas 20 sementes na porção superior do papel “Germitest”, umedecido 2,5 vezes o seu peso seco, com as respectivas soluções de água e 100 mmol. L⁻¹ de NaCl. Esses rolos foram acondicionados em sacolas plásticas transparentes para evitar a perda de umidade, e mantidos em germinadores (Mangelsdorf) com temperatura controlada de 25 ± 2 °C e fotoperíodo de 12 horas de luz. As mensurações foram realizadas aos 0, 2, 4, 6 e 8 dias após a semeadura com o intuito de avaliar o processo de germinação e formação de plântulas.

Foi realizado a determinação de parâmetros associados ao desempenho de plântulas, sendo estes: comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento de parte aérea (CPA), comprimento total da plântula (CTP) com o auxílio de um paquímetro digital e massa seca do sistema radicular (MSSR), massa seca da parte aérea (MSPA), e massa seca total da plântula (MSTP) através do método de secagem em estufa por 24 horas a 80 °C, de 15 plântulas normais por unidade experimental (repetição).

5.2.4 Determinação dos componentes bioquímicos

Extração e quantificação do teor de açúcar solúveis totais: A extração e quantificação do teor de açúcar solúveis totais foi determinado conforme a metodologia descrita por Clegg (1956) modificada. O eixo embrionário e o endosperma + escutelo das sementes de cada combinação de tratamento foram separados, moídos com nitrogênio líquido e posteriormente secos em estufa a temperatura de 60°C por 48 horas. Após esse processo, 100 mg de material seco e moído foi adicionado 200 µl, de etanol 80% sendo agitado por 5-10 segundos em Vortex, em seguida se adicionou 2,5 mL de água destilada e 2,5 ml de etanol 80% agitado novamente em Vortex e em seguida adicionado 10 mL de etanol 80% e mantido em banho-maria a 65 °C, por 20 minutos, sendo em seguida centrifugado por 5 minutos a 10.000 rpm. O sobrenadante foi armazenado e o precipitado homogeneizado com 5 mL de etanol a 80% e agitado em Vortex, em seguida foi adicionado 10 mL de etanol 80% e manter em banho-maria a 65 °C, por 20 minutos, sendo em seguida centrifugado por 5 minutos a 10.000 rpm novamente. Os sobrenadantes foram misturados e 100 µl da alíquota foi misturada a 900 µl de água destilada e 5 mL de antrona e ácido sulfúrico, em seguida foram agitadas em Vortex por 5 segundos. As amostras permaneceram em banho-maria por 7,5 minutos a uma temperatura de 95°C, após esse período foi paralisado a reação em banho de gelo. A quantificação foi realizada através do espectrofotômetro a um comprimento de onda de 630 nm.

Extração e quantificação de amido: A mensuração do amido foi realizada conforme metodologia descrita por McCready, Guggolz, Silveira e Owens (1950), com modificações. Para a extração do amido foi realizada com o resíduo remanescente do açúcar solúvel total, o qual foi re-suspenso em 2,5 mL de água destilada e 3,25 mL de ácido perclórico 52%, sendo agitadas por 20 minutos e posteriormente a esse período adicionado 7,5 mL de água destilada e centrifugada por 20 minutos. Após esse período se armazena os sobrenadantes e re-suspender os precipitados adicionando 2,5 mL de água destilada e 3,25 mL de ácido perclórico 52%, agitadas por 30 minutos e posteriormente a esse período adicionado 7,5 mL de água destilada e centrifugada por 20 minutos novamente. Os sobrenadantes foram misturados e homogeneizados.

Para a quantificação 1 mL da alíquota do sobrenadante foi utilizada, sendo adicionado 3 mL de antrona e ácido sulfúrico, em seguida agitou-se por 5 segundos em Vortex. Após esse procedimento levou-se para banho-maria a 95 °C por 7,5 minutos e a paralização da reação foi realizada com banho de gelo. A leitura das amostras foi realizada em espectrofotômetro em comprimento de onda de 630 nm. A curva padrão foi determinada utilizando a solução concentrações de glicose de 10, 20, 30, 40, 50 µg mL⁻¹. Os resultados obtidos foram multiplicados por 0,9, fator de conversão da glicose em amido.

Extração e quantificação de ácido fítico (fitato): A extração de ácido fítico foi determinado de acordo com o método descrito por Latta e Eskin (1980). Uma amostra de 0,5 g de endosperma e escutelo seca e moída foi inserida em tubo falcon de 15 mL, onde adicionou-se 10 mL de HCL (2,4%). As amostras foram submetidas a agitação constante por 3 horas para extração e solubilização do ácido fítico. Após esse período, as amostras foram centrifugadas (2000g) por 20 minutos a 20°C. O sobrenadante (2 mL) foi transferido para tubo falcon de 15 mL contendo 8 mL de água e 3 mL de resina tratada onde foi agitado por 1 hora e posteriormente centrifugados a 6000 rpm por 10 minutos. Ao resíduo foi adicionado 8 mL de NaCl 0,07M sendo mantido sob agitação por 10 minutos para retirada de impurezas. A solução foi centrifugada a 6000 rpm por 10 minutos. O resíduo foi novamente re-suspendido em 8 mL de NaCl 0,7M e mantido em agitação por 1 hora. Após esse período, foi centrifugado a 3000 rpm por 10 min. Em uma alíquota de 3 mL do sobrenadante foi adicionado 2 mL do reagente de Wade, centrifugado a 6000 rpm por 10 minutos. A leitura foi realizada em espectrofotômetro (Marte Científica - Spectro 800S) em absorvância de 500 nm. A curva padrão para o ácido fítico foi obtida através de uma solução estoque de 300 ppm de fitato de sódio diluído para obter as concentrações de: 0 ppm; 35 ppm; 70 ppm; 105 ppm; 140 ppm; 175 ppm e 210 ppm.

Extração e quantificação de fósforo inorgânico: O conteúdo de fósforo inorgânico foi determinado utilizando 100 mg da estrutura seca e moída a qual foi seca a 60°C por 48 horas. As amostras foram extraídas duas vezes, por dois minutos, com 8 mL de 12 % ácido tricloroacético (p/v) em 0,025 M MgCl₂. As extrações foram centrifugadas por 20 min.

Para a quantificação, extratos foram previamente diluídos e o fósforo inorgânico determinado pelo método colorimétrico, de acordo com o método descrito por Chen et al. (1956), sendo utilizado 500 µl da amostra previamente diluída e 500 µl de reagente de Chen, os quais foram homogeneizados e incubados a 37°C por um período de 1 hora e 30 minutos. A curva padrão para o fósforo inorgânico foi obtida através de uma solução estoque de 80 ppm de fósforo preparada com um padrão (KH₂PO₄ - Tritisol - Merck) diluído para obter as concentrações de: 0 ppm; 0,5 ppm; 1 ppm; 1,5 ppm; 2 ppm; 2,5 ppm e 3 ppm de fósforo e a leitura realizada em espectrofotômetro a 820nm.

Determinação da Proteína Total: Foi determinada a partir do teor de nitrogênio total da amostra, utilizando 200 mg de amostra moída e seca em estufa a uma temperatura de 50°C por 48 horas, a qual foi adicionado 1 mL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) 30%, 2 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado, e 0,7 g do catalisador (90% de sulfato de sódio, 9% de sulfato de cobre e 1% de selênio). Os tubos foram colocados em bloco digestor com temperatura inicial entre 160-180°C e posteriormente elevada gradativamente até 360°C, de acordo com o método

descrito por Kjeldahl (AOAC, 1995). Ao final da digestão foi completado o volume da alíquota para 50 mL.

Para determinação do nitrogênio, as alíquotas foram destiladas, adicionado hidróxido de sódio, coletando-se o destilado em indicador ácido bórico e titulando com ácido sulfúrico (0,025 M) (TEDESCO et al., 1995). O teor de proteína total da amostra foi obtido pela fórmula: % Proteína = conteúdo de N \times 6,25. A porcentagem de proteína foi convertida e apresentada em mg. g⁻¹ de massa seca.

Determinação da Proteína solúvel: Para a extração da proteína solúvel, 500 mg de farinha fresca previamente moída em nitrogênio líquido do endosperma e escutelo foram homogeneizados em um almofariz com 8 mL de acetato de sódio + Triton X-100 (0,005% epH 5,4 – 5,5) contendo 240 mmol L⁻¹ de acetato de sódio e 5 mmol L⁻¹ CaCl₂, sendo mantido sob agitação por uma hora na presença de gelo e em seguida centrifugados por 5 min a uma temperatura de 6 °C.

Para quantificação, utilizou-se 20 μ L da amostra diluída (100 μ L da amostra mais 900 μ L de água destilada), 780 μ L de água destilada e 200 μ L de reagente Bradford. A quantificação foi realizada em espectrofotômetro em comprimento de onda de 595 nm, conforme descrito por Bradford (1976), Os resultados foram expressos em mg. g⁻¹ de massa fresca (MF), onde posteriormente foram corrigidos para massa seca. A curva padrão foi determinada através de uma solução padrão de 1 mg. mL⁻¹ de soro albumina bovina (BSA).

Determinação da atividade enzimática de α amilase:

A atividade da alfa-amilase foi determinada pelo método do ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) descrito por Miller (1959). Através do procedimento descrito por Sun e Henson (1991) com modificações. Para a obtenção do extrato enzimático, 500 mg de farinha fresca previamente moída em nitrogênio líquido do endosperma e escutelo foram homogeneizados em um almofariz com 8 mL de acetato de sódio + Triton X-100 (0,005%) (pH 5,4 – 5,5) contendo 240 mmol. L⁻¹ de acetato de sódio e 5 mmol. L⁻¹ CaCl₂, sendo mantido sob agitação por uma hora na presença de gelo e em seguida centrifugados por 5 min a uma temperatura de 6 °C.

O extrato enzimático foi incubado em banho-maria por 15 min a 70 °C. A quantificação foi realizada com 500 μ L de extrato enzimático, 500 μ L de solução tampão de acetato de sódio (100 mmol. L⁻¹) contendo 5 mmol. L⁻¹ de cloreto de cálcio (pH 5,0) e 500 μ L de solução de amido contendo 2,5% (p / v). As amostras permaneceram em banho-maria por 25 min a 40 °C. A reação foi interrompida com a adição de 1000 μ L de solução DNS e as amostras foram posteriormente mantidas em banho-maria por 6 min a 95 °C. Ao final desse processo foi adicionado 7,5 mL de água destilada seguido de homogeneização. A leitura foi realizada em

espectrofotômetro com absorvância de 540 nm e os resultados foram expressos em unidade de enzima por miligrama de proteína (U. mg^{-1} de proteína). Uma unidade de enzima foi definida como a quantidade de enzima para produzir 1 μmol de glicose por minuto nas condições avaliadas. A curva padrão foi determinada através de uma solução de concentrações de 0,2 mg. ml^{-1} ; 0,4 mg. ml^{-1} ; 0,8 mg. ml^{-1} ; 1,2 mg. ml^{-1} ; 1,6 mg. ml^{-1} e 2,0 mg. ml^{-1} de glicose.

Determinação da atividade da fitase: Para a determinação da atividade da enzima fitase, foi seguido o método descrito por Ou et al. (2011), com modificações. Para a obtenção do extrato enzimático, 500 mg de farinha fresca previamente moída em nitrogênio líquido do endosperma e escutelo foram homogeneizados em um almofariz com 8 mL de acetato de sódio + Triton X-100 (0,005% epH 5,4 – 5,5) contendo 240 mmol. L^{-1} de acetato de sódio e 5 mmol. L^{-1} CaCl_2 , sendo mantido sob agitação por uma hora na presença de gelo e em seguida centrifugados por 5 min a uma temperatura de 6 °C.

Para a quantificação da atividade da fitase, foi utilizado 1,5 mL de extrato enzimático, 0,5 mL de fitato de sódio (7,5 mmol. L^{-1}), seguido de incubação a 40 °C por 80 minutos em banho-maria. Em seguida, 2 mL da solução de vanadato (molibdato de anônio 0,0080 M + vanadato de amônio 0,080 M + HNO_3 5 M) foi adicionada para paralisar e finalizar a reação, sendo agitado em Vortex para homogeneização. Aguardou-se aproximadamente 15 minutos para finalizar a reação e realizou a centrifugação por 10 min e a absorvância do sobrenadante foi mensurada a 415 nm. A curva padrão para a atividade da fitase foi obtida através de uma solução estoque de fósforo preparada com um padrão (KH_2PO_4 - Tritisol - Merck) diluído em tampão de acetato (0,22 M; pH 5,5) para obter as concentrações de: 0; 1,6; 3,3; 5; 6,6; 8,3 e 50 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ de fósforo. Uma unidade de atividade (1U) foi definida como a quantidade de enzima que irá liberar 1 μmol de fosfato a partir de ácido fítico por minuto a 37°C em pH 5,5.

5.2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade através do teste de Shapiro-Wilk, e à Análise de Variância (ANOVA). Após, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, através do programa estatístico Sisvar®. Foi realizado a análise de regressão a fim de caracterizar o comportamento em relação ao processo de germinação (DAS), sob condição controle e estresse ocasionados por NaCl.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A redução artificial do vigor foi efetiva, uma vez que os resultados pelos dois testes utilizados para segregar o vigor, primeira contagem de germinação e testes de frio (PCG e TF), diferiram entre si (Tabela 7).

Tabela 7 - Segregação do nível do vigor através da primeira contagem da germinação (PCG), e teste de frio (TF).

Vigor	Variáveis	
	PCG	TF
AV	95 a	96 a
BV	69 b	58 b

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O lote de alto vigor (AV), apresentou percentual de PCG e TF de 95 e 96% respectivamente, sendo superior ao lote de BV, o qual apresentou percentuais de 69 e 58% respectivamente (Tabela 7). A PCG parte da premissa que lotes com vigor superior apresentam percentual de plântulas normais ao quarto dia após a implantação e/ ou semente superior ao lote de BV (SANTOS et al., 2016).

O teste de frio é amplamente utilizado principalmente para a cultura do milho, especialmente para locais onde a semente ocorre em climas temperados, onde os solos na primavera apresentam-se com alto teor de água e baixas temperaturas, sendo assim, esse teste procura mimetizar uma situação desfavorável que acomete a cultura, no intuito de identificar o vigor dos lotes de sementes, partindo da premissa que lotes de semente que após a submissão ao estresse apresentarem um percentual de plântulas em maior quantidade, obtém vigor superior (CICERO; VIEIRA, 2020).

Avaliando o comportamento da PCG em situação de estresse e controle, a mesma foi afetada negativamente pelo estresse salino, independente do vigor da semente, contudo, o lote de BV apresentou percentual inferior tanto em condição de estresse quanto em situação controle, resultado este atrelado a qualidade fisiológica inferior do lote de baixo vigor. Em estudos conduzidos por Santos et al. (2015), com a cultura do milho, foi observado comportamento similar com relação a PCG em situação controle e sob estresse. De acordo com Uçarli (2020), a salinidade causa significativo retardo no processo e germinação, constatação está observada no presente estudo. Além disso, o autor salienta a importância da rápida germinação e formação de plântula para compor o estande, que são fatores importantes para garantir bons rendimentos sob condições salinas.

A germinação (G), por sua vez, não foi influenciada pela condição de estresse, a única diferença encontrada foi entre os lotes, onde o lote de AV apresentou germinação superior em ambas as condições ambientais (Tabela 8). Resultados divergentes foram encontrados por Santos et al. (2015), onde observou redução do percentual de germinação em condições elevadas de estresse salino (100 mmol. L⁻¹ de NaCl). A redução de percentual de germinação entre o lote de AV e o de BV se justifica pelo processo de deterioração, o qual consiste em uma série de modificações que culminam com a morte da semente, como alterações na síntese e atividade mitocondrial, redução das reservas, desnaturação de proteínas, aumento dos ácidos graxos livres, redução da atividade enzimática, redução dos níveis de açúcares, diminuição da síntese proteica, redução da síntese de RNA, processos estes ocasionados pela peroxidação das membranas celulares reduzindo em um primeiro momento o vigor e posteriormente vindo ocorrer a morte da semente (MARCOS-FILHO, 2015a).

Tabela 8 - Primeira contagem da germinação (PCG), e germinação (G) em ambiente controle (H₂O), e sob estresse salino (NaCl).

Variável	Vigor	H ₂ O	NaCl
PCG (%)	AV	95 Aa	79 Ab
	BV	69 Ba	32 Bb
G (%)	AV	98 Aa	98 Aa
	BV	85 Ba	81 Ba

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. A comparação das médias letra minúsculas na coluna e maiúsculas na linha.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

De forma geral, a salinidade afeta negativamente a germinação alterando a fase I principalmente através do desequilíbrio osmótico e a fase II através da perpetuação iônica, retardando a germinação, e conseqüentemente o desempenho das plântulas (UÇARLI, 2020). Em relação as fases, a fase I é marcada pela alta absorção de água, tendo na sequência uma fase de preparação para a germinação (ALI et al., 2019), a fase II é vista como uma fase ativa do metabolismo, isso se deve ao início da hidrólise e mobilização das reservas da semente, processo esse que será de fato intensificado durante a fase III ou Pós-germinativa, a qual é marcada pela protrusão da radícula (HAN et al., 2013).

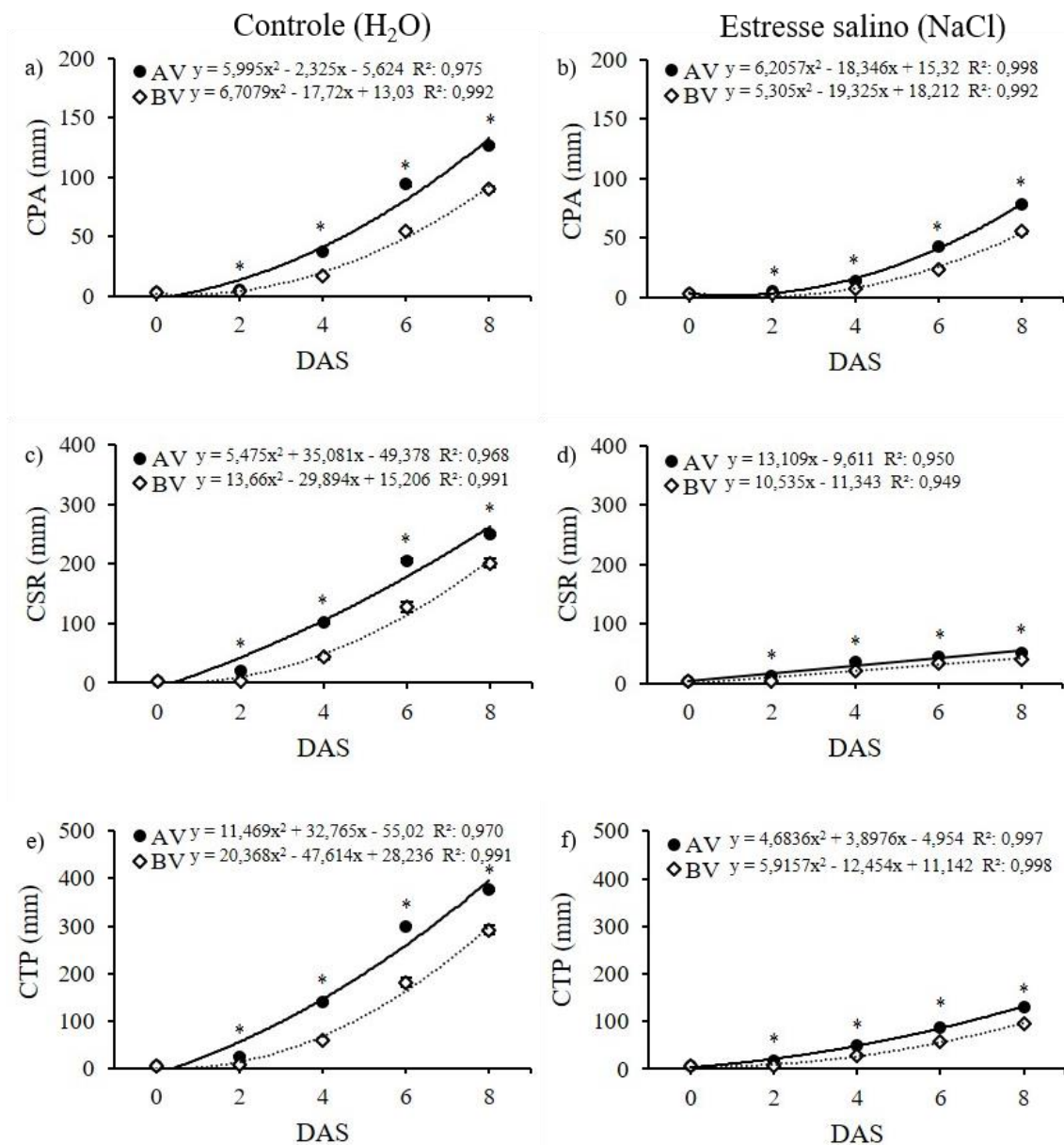
Do ponto de vista de tecnologia de semente, a germinação está associada a formação de uma plântula com potencial de produção ao final de seu ciclo, pois, ao final do processo de germinação espera-se a formação de plântulas vigorosas. O desempenho das plântulas oriundas de lote de baixo e alto vigor (Figura 8), diferiram para todas as variáveis mensuradas (CPA, CSR e CTP), sendo superior no lote de AV, sob estresse salino e na situação controle.

O decréscimo das médias encontradas nas variáveis de crescimento em relação as situações de controle e estresse foram significativas, demonstrando a severidade do estresse salino para o desenvolvimento inicial da cultura do milho. Resultados de redução de comprimento das estruturas de parte aérea e sistema radicular foram observados por Shanko et al. (2016), em diferentes genótipos de plântulas de milho durante a germinação e formação de plântula sob diferentes níveis de estresse salino.

De acordo com Sabagh et al. (2021), as fases iniciais de desenvolvimento da cultura do milho se configuram como as mais sensíveis em relação a estresses salinos. Em relação ao comportamento da regressão, todas as variáveis mensuradas, nos dois lotes de vigor contrastantes na condição controle e estresse apresentaram comportamento de desenvolvimento quadrático, exceto para o CSR de ambos os lotes que apresentaram comportamento de crescimento linear sob condições de estresse salino (Figura 8 d).

O comprimento do sistema radicular é um dos parâmetros mais importantes em relação ao estresse salino, uma vez, que essa estrutura ficará em contato direto com os íons, além de ser a estrutura responsável por absorver moléculas de água para serem translocadas para as outras estruturas da plântula (SHANKO et al., 2016). O sistema radicular foi a variável fisiológica mais sensível a situação de estresse, repercutindo em uma maior redução do desenvolvimento se comparado com a situação controle. Sensibilidade observada por Kakar et al. (2019), trabalhando com a seleção de genótipos de arroz resistente a salinidade, o qual constatou que a variável mais responsiva para segregar a tolerância a salinidade é o sistema radicular.

Figura 8 - Desempenho fisiológico de plântulas originadas de sementes de alto vigor (AV) e baixo vigor (BV) sob situação controle e estresse salino.



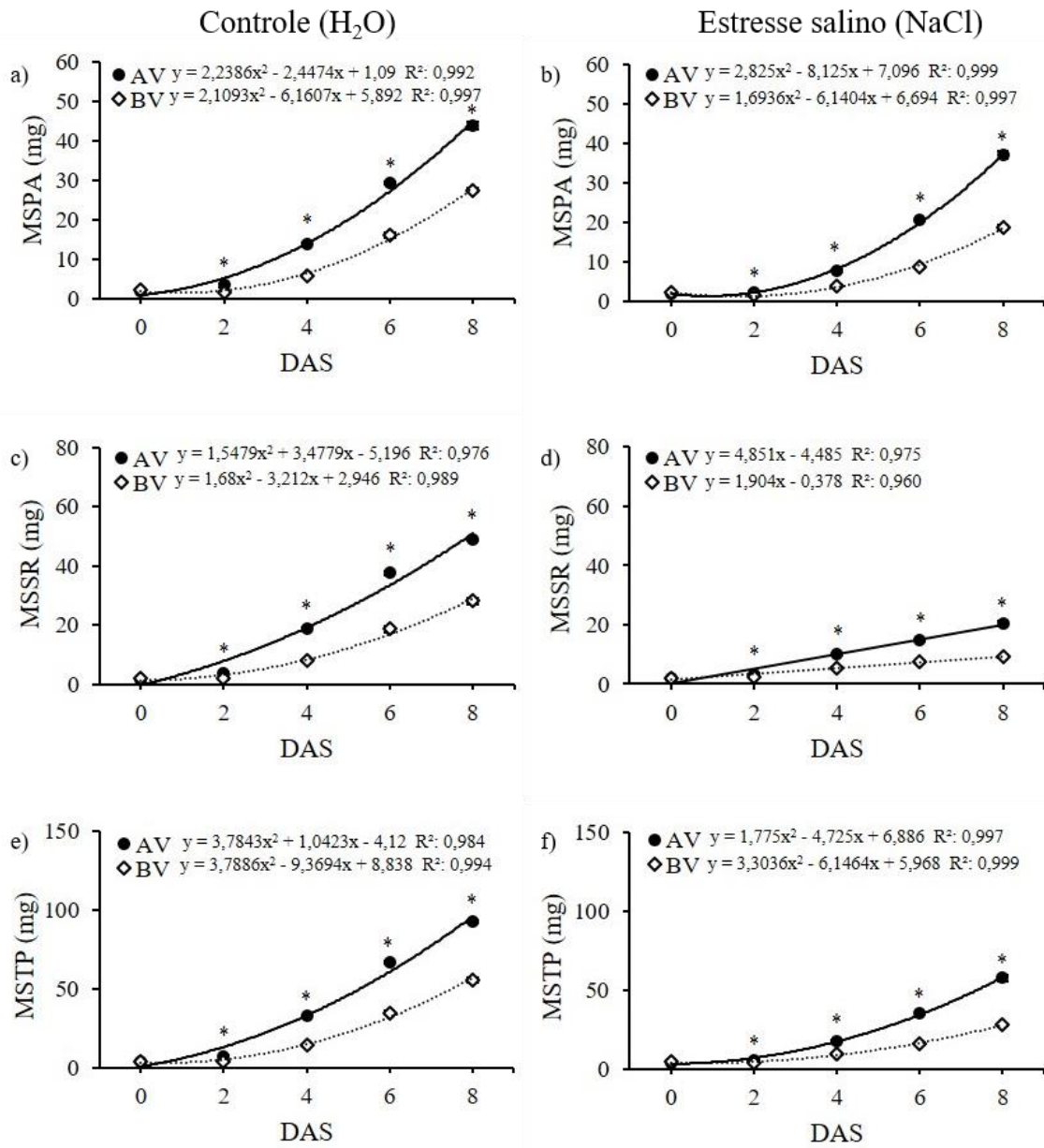
Legenda: a) CPA: comprimento da parte aérea em situação controle; b) CPA: comprimento da parte aérea sob estresse salino; c) CSR: comprimento do sistema radicular em situação controle; d) CSR: comprimento do sistema radicular sob estresse salino; e) CTP: comprimento total da plântula em situação controle; e) CTP: comprimento total da plântula sob estresse salino. Coluna de gráficos da esquerda em situação controle (H₂O), coluna de gráfico da direita em situação de estresse salino (NaCl). * diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, em relação ao lote de AV e BV.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Para massa seca observou-se comportamento similar as variáveis fisiológicas de crescimento. A MSPA, MSSR, MSTP a partir dos dois dias após a semeadura, foram superiores nas plântulas obtidas do lote de semente de alto vigor na situação controle e sob condições de

estresse salino (Figura 9). Todas as variáveis de massa apresentaram comportamento quadrático crescente independente do vigor, estresse ou variável, exceto para o CSR de ambos os lotes na situação de estresse que demonstrou comportamento linear crescente conforme demonstrado na Figura 9 d. Essa redução do desenvolvimento das estruturas dos vegetais é consequente do acúmulo de íons de sódio e cloro em volta da rizosfera, reduzindo a habilidade do vegetal em absorver moléculas de água, limitando dessa forma a taxa de crescimento das estruturas da plântula em formação (SEHRAWAT et al., 2019; TIDKE et al., 2019; YADAV et al., 2019). Essa limitação do crescimento é consequência da redução da divisão e expansão celular, repercutindo em alterações fisiológicas (POLASH et al., 2019).

Figura 9 - Desempenho fisiológico de plântulas oriundas de lote de semente de alto vigor (AV) e baixo vigor (BV) sob situação controle e estresse salino.



Legenda: a) MSPA: massa seca da parte aérea em situação controle; b) MSPA: massa seca da parte aérea sob estresse salino; c) MSSR: massa seca do sistema radicular em situação controle; d) MSSR: massa seca do sistema radicular sob estresse salino; e) MSTP: massa seca total da plântula em situação controle; e) MSTP: massa seca total da plântula sob estresse salino. Coluna de gráficos da esquerda em situação controle (H₂O), coluna de gráfico da direita em situação de estresse salino (NaCl). * diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, em relação ao lote de AV e BV.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

De forma geral, através das análises fisiológicas observou-se uma performance superior das sementes de AV em relação as de BV, formando plântulas com maiores estruturas, e com maiores massas tanto em condições sem estresse, quanto em condições de estresse salino a partir dos dois dias após a semeadura. Esse resultado deve-se ao fato de que sementes de alto

vigor possuem uma maior taxa de redução das reservas e mobilização das reservas da semente, fornecendo dessa forma componentes de menor peso molecular para o metabolismo da plântula em formação, sendo utilizado como estrutura carbônica, na biossíntese de compostos ou como energia para o metabolismo vegetal (ANDRADE; COELHO; PADILHA, 2019), possibilitando uma maior superação da condição de estresse.

A salinidade em um primeiro momento afeta osmoticamente a célula vegetal (BUTCHER et al., 2016), processo esse que limita principalmente a multiplicação e diferenciação celular devido à redução do turgor das células. O crescimento sendo alterado, afeta também consequentemente a massa seca das estruturas conforme comportamento observado nas análises fisiológicas de massa (Figura 9).

Em um segundo momento, a salinidade promove um desequilíbrio iônico, alterando o metabolismo e acarretando em acúmulo de espécies reativas de oxigênio que causam danos a moléculas orgânicas, como por exemplo, peroxidação de lipídeos de membrana, oxidação e proteínas e ácidos nucleicos, impedindo o crescimento e desenvolvimento do vegetal com potencial de causar morte celular e consequentemente de tecidos (SHARIF et al., 2019; NOUNJAN; KUMON-AS; THEERAKULPISUT, 2021; BUTCHER et al., 2016; KATARIA; VERMA, 2018).

O desequilíbrio iônico está intimamente associado ao acréscimo de Na^+ e Cl^- dentro das células vegetais (SHARIF et al., 2019; KATARIA; VERMA, 2018). A elevação de Na^+ nos tecidos altera a relação K^+/Na^+ , isso ocorre porque na forma hidratada os dois elementos são semelhantes, dificultando a seletividade, fazendo com que o Na^+ entre na planta através das vias de absorção do K^+ (KEISHAM; MUKHERJEE; BHATLA, 2018). Esse desequilíbrio desencadeia uma série de perturbações bioquímicas, metabólicas com consequências fisiológicas, pois o íon potássio está envolvido na modulação de várias enzimas no metabolismo vegetal (ANNUNZIATA et al., 2017; SHARIF et al., 2019).

Uma resposta de maior tolerância muitas vezes está associada a um crescimento maior de seus órgãos, principalmente do sistema radicular, uma vez que possibilita diluir a concentração de Na^+ nas células e tecidos (KAKAR et al., 2019), o lote de AV promoveu maior crescimento, possibilitando tolerância superior para o estabelecimento de plântulas sob condições de estresse salino.

Outro ponto que deve ser salientado que corrobora com a explicação dos resultados inferiores da PCG (Tabela 8), conjuntamente com os resultados de desempenho fisiológico inferiores no lote de BV é devido a sua maior debilidade estrutural e metabólica, necessitando dessa forma um maior tempo para reparar suas estruturas e metabolismos, retardando o processo

de germinação repercutindo em um atraso na PCG e nas fases consecutivas do desempenho de plântula, esse retardamento se mantém, sendo observado em plântulas menos vigorosas no mesmo espaço de tempo, observação esta realizada por Ehrhardt-Brocardo e Coelho (2016), com a cultura do feijão.

As reservas da semente são de fundamental importância durante o processo germinativo e de formação de plântula (TAIZ et al., 2017). As estruturas da plântula são constituídas dos componentes de reserva que são hidrolisados, nesse sentido, quanto maior for a redução das reservas da semente, maior será a estrutura da plântula, tanto em dimensões quanto em massa (PADILHA; COELHO; EHRHARDT-BROCARD, 2021). Resultado este observado no presente estudo, onde os componentes de reserva foram reduzidos ao longo do processo de germinação e formação de plântulas (Figura 10 a, Figura 10 b, Figura 11 a, figura 11 b, Figura 12 a e Figura 12 b), e as plântulas se desenvolveram tanto em dimensões, quanto em massa (Figura 8 a, figura 8 b, Figura 8 c e Figura 8 d, Figura 8 e, Figura 8 f, Figura 9 a, figura 9 b, Figura 9 c e Figura 9 d, Figura 9 e, Figura 9 f), independente da condição.

Os componentes de reserva e enzimas hidrolíticas são compostos bioquímicos que modulam o sistema e são importantes durante o processo germinativo. A proteína total, foi reduzida demonstrando um comportamento linear tanto no lote de AV quanto no de BV sob as duas condições (estresse e testemunha), ao longo da germinação e formação de plântulas. O lote de alto vigor apresentou conteúdo de proteína total maior na semente seca, demonstrando que durante o processo de redução do vigor as reservas de proteínas foram reduzidas em 11%. De acordo com Wen et al. (2018), o conteúdo de proteína inicial da semente é um parâmetro determinante que predispõe o vigor das sementes de milho, sendo que sementes de AV possuem maiores quantidades.

Durante o processo de germinação e formação de plântulas, a proteína de reserva é reduzida, sendo hidrolisada em aminoácidos para constituir novas proteínas com ação enzimática ou estrutural, como fonte de esqueletos carbônicos e como fonte de energia metabólica (HAN et al., 2013; FEENSTRA et al., 2017). O lote de AV apresentou uma maior redução das PT, a partir do quarto dia após a semeadura (Figura 10 a; Figura 10 b). Esse resultado pode estar associado a uma maior atividade de proteases, fornecendo compostos de carbono para o metabolismo e pontos de crescimento do vegetal. Ali et al. (2018), estudando a superação a limitação hídrica de feijão Mungo no processo de germinação e formação de plântula, observou que as maiores atividades das proteases proporcionaram um melhor desempenho das plântulas, estando associadas a tolerância a condição desfavorável e superação de estresse. Essa maior atividade de proteases pode estar atrelada a formação de osmólitos

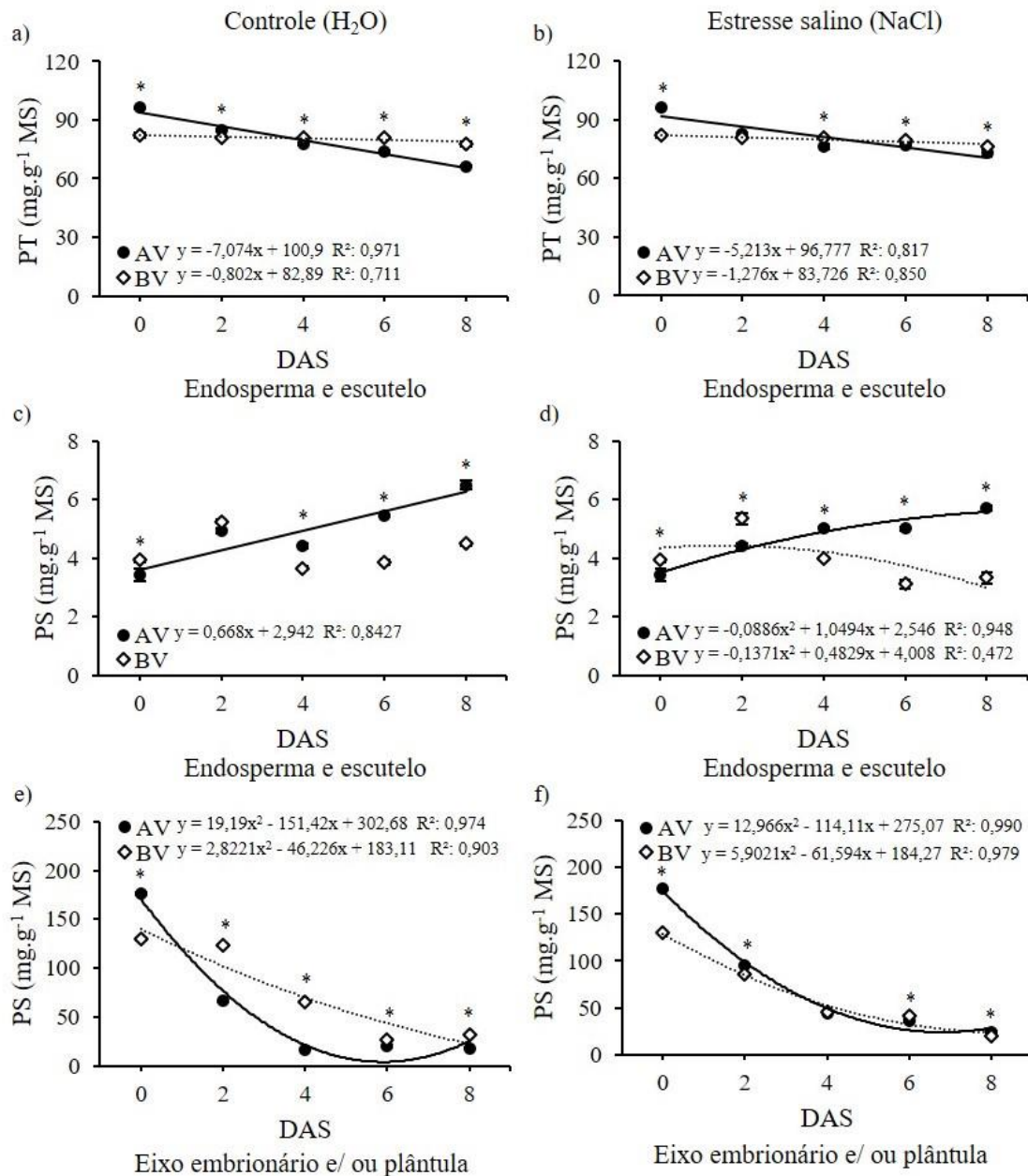
orgânicos de aminoácidos como prolina, e/ou compostos que possuem nitrogênio em sua estrutura como glicina betaína e poliaminas por exemplo, moléculas estas que desempenham um papel primordial na tolerância ao estresse salino (SHARIF et al., 2019).

De forma geral, de acordo com Annunziata et al. (2017), o suprimento de nitrogênio para as inúmeras funções vitais do vegetal está associado a superação do estresse salino. Nesse sentido, durante a germinação e formação de plântula fase está heterotrófica, o nitrogênio disponível é oriundo da proteína de reserva estocado na semente, explicando a melhor performance das sementes e AV, pois além de um primeiro momento ter mais reserva de proteína total, durante o processo de formação de plântula reduziu esse componente em maior quantidade, fornecendo compostos nitrogenados para o metabolismo da plântula em formação.

Observou-se também um incremento significativo após o quarto dia do processo germinativo e de formação de plântulas de proteína solúvel (PS) em ambas as condições, fração bioquímica que engloba proteínas com ação enzimáticas, metabolicamente ativa nas rotas bioquímicas das células vegetais, sendo um exemplo enzimas do sistema antioxidante. Hipótese levantada por Oliveira et al. (2018), que atribuiu um maior conteúdo de proteína solúvel a enzimas relacionadas ao sequestro de espécies reativas de oxigênio para impedir os danos oxidativos sob condições salinas em plântulas de sorgo, pois esta macromolécula foi correlacionada com o aumento das enzimas antioxidantes, principalmente a ascorbato peroxidase e a catalase. Neste sentido, sugere se que sementes de AV possuem um sistema antioxidante enzimático mais eficiente no endosperma e escutelo, possuindo maior conteúdo de PS, mantendo dessa forma o processo de hidrólise e suprimento de energia em maior disponibilidade nas sementes de AV, promovendo a formação plântulas mais vigorosas (Figura 8).

Outra possível explicação atrelada a PS no endosperma e escutelo pode estar associada a maior atividade de enzimas transportadoras, auxiliando na translocação dos compostos hidrolisados suprindo as necessidades metabólicas das células já existentes e tecidos, além de fornecer esses compostos para os pontos de crescimento onde a atividade mitótica está elevada necessitando de esqueletos carbônicos e elementos minerais para a constituição dos novos tecidos da plântula em formação. Em estudo conduzido por López-Coria et al., (2019), avaliando a expressão de diferentes transportadores de carboidratos para a nutrição do embrião de milho durante a germinação, constatou uma dinâmica de aumento de transportadores SWEET durante a germinação conjuntamente com transportadores ativos de açúcares regulam a nutrição do eixo embrionário durante a germinação.

Figura 10 - Teor de proteína total (PT), e solúvel (PS) em lotes de alto e baixo vigor sob situação controle e estresse salino.



Legenda: a) PT: proteína total em situação controle; b) PT: proteína total sob estresse salino; c) PS: proteína solúvel em situação controle; d) PS: proteína solúvel sob estresse salino. Coluna de gráficos da esquerda em situação controle (H₂O), coluna de gráfico da direita em situação de estresse salino (NaCl). * diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, em relação ao lote de AV e BV.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O conteúdo de PS no eixo embrionário (Figura 10 e; Figura 10f), apresentou comportamento quadrático decrescente. No AV em situação controle, esse conteúdo decaiu em maior quantidade, demonstrando maior utilização para a constituição de novos tecidos e componentes orgânicos. Na condição de estresse salino, esse comportamento não foi observado, uma vez que os resultados obtidos foram relativamente próximos não fornecendo

consistência para atribuir ao uso da proteína solúvel como uma forma de superação da condição de estresse salino.

O fósforo é um elemento de importância para a formação estrutural e para o metabolismo vegetal. Nas sementes, o fósforo é estocado na forma de ácido fítico ou fitato em maior quantidade (HÍDVÉGI; LÁSZTITYA, 2002). Nas sementes de milho, cerca de 86% do fósforo estocado está localizado no escutelo e 14% no endosperma (NADEEM et al., 2011). A fitase é a responsável por hidrolisar o fitato e fornecer fósforo inorgânico e outros elementos os quais se encontram complexados com a molécula de fitina para o crescimento da plântula (NADEEM et al., 2011; TAIZ et al., 2017). Durante o processo de germinação e formação de plântulas, foi constatado redução no conteúdo de fitato do endosperma e escutelo. Nas duas situações, tanto controle quanto sob estresse salino, o comportamento observado foi linear decrescente (Figura 11 a; Figura 11 b).

Durante o decréscimo do conteúdo de fitato, só foi identificado diferença entre as sementes de AV e BV ao segundo dia após a semeadura em ambas as situações, contudo na situação controle, o BV reduziu mais conteúdo de fitato (Figura 11 a), e sob estresse salino, o AV reduziu maior conteúdo de fitato (Figura 11 b).

Paralelamente a esse decréscimo do conteúdo de fitato, a fitase, aumentou a atividade a partir de dois dias da semeadura até oito dias de desenvolvimento (Figura 11 c; Figura 11 d), visto que neste tempo já foi observado plântulas com estruturas completamente formadas. Resultados estes que vem de encontro com os de Nadeem et al. (2011), o qual encontrou atividade significativa da fitase sobre o fitato a partir do primeiro dia após a semeadura, repercutindo em uma queda acentuada de fitato do segundo até o sétimo dia após a semeadura, corroborando com resultados observados de redução acentuada do fitato. O fitato é uma molécula complexada com outros minerais, nesse sentido, a sua hidrólise não disponibiliza apenas fósforo. Nesse processo, o suprimento de minerais de forma geral, principalmente os essenciais, evita distúrbios fisiológicos e metabólicos da planta (TAIZ et al., 2017).

Na situação de estresse, a semente de AV possui maior atividade apenas 2 dias após a semeadura (Figura 11 d), podendo dessa forma ser um período específico na determinação do vigor visto que perante o processo de germinação, esse é o ponto mais próximo avaliado em relação ao início da fase Pós-germinação (Fase III). Juntamente com esse resultado, observa-se maior redução no teor de fitato (Figura 11 b).

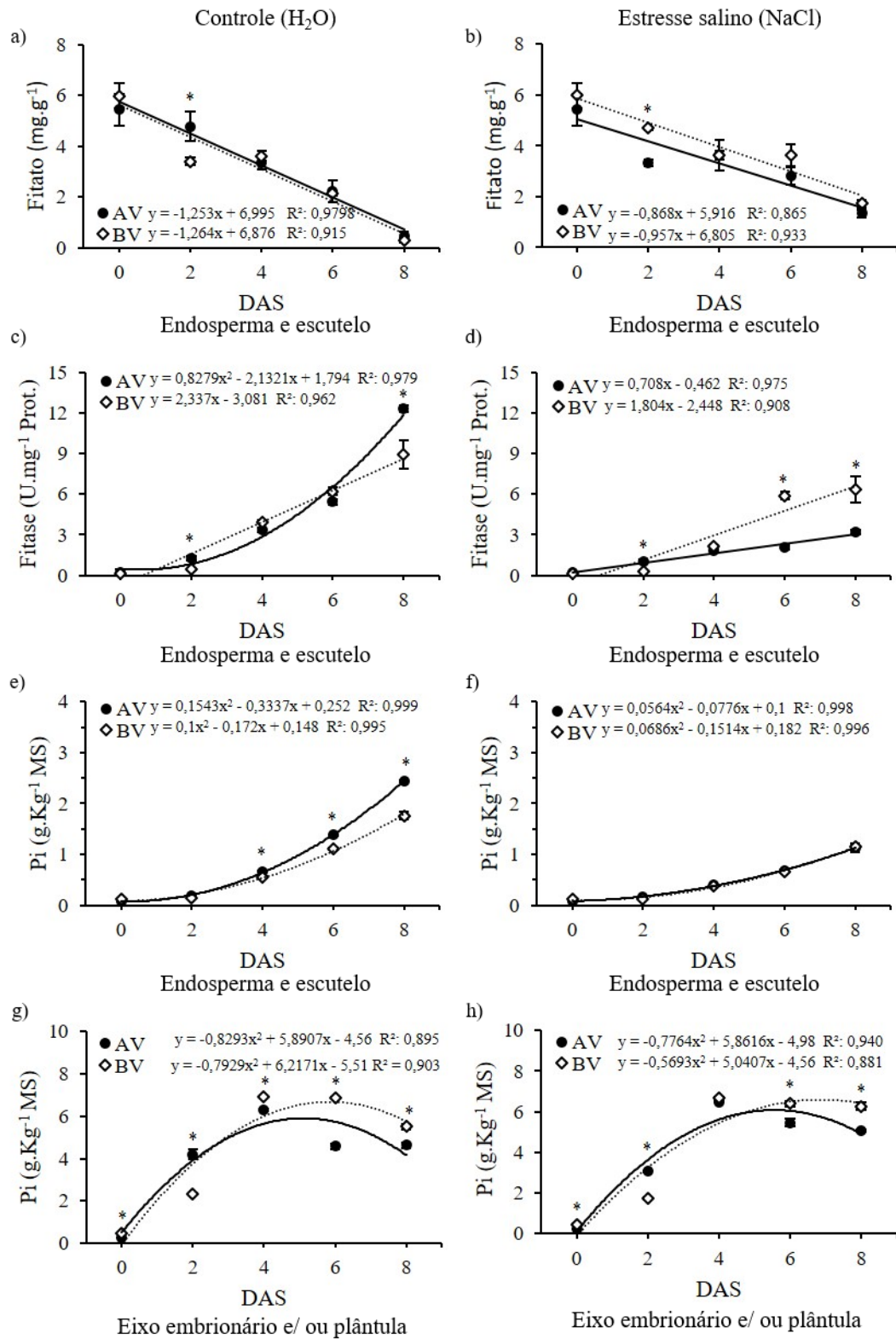
A partir do sexto dia na situação de estresse, foi observado maior atividade da fitase no lote de BV (Figura 11 b), sinalizando maior necessidade de fósforo inorgânico para superar a circunstância desfavorável, contudo, mesmo assim sendo ineficiente pois o conteúdo de fósforo

inorgânico quantificado no endosperma não diferiu entre os níveis de vigor (Figura 11 f), dessa forma constata-se maior eficiência da fitase nas sementes de AV por mais que possuam menor atividade de fitase, disponibilizam o mesmo conteúdo de fosforo inorgânico, além de formarem plântulas mais vigorosas.

O fosforo inorgânico no endosperma e escutelo demonstrou comportamento quadrático ascendente em ambas as condições e lotes, diferindo apenas na situação controle a partir do quarto dia após a semeadura (Figura 11 e; Figura 11 f). Na situação controle, o Pi se acumula no endosperma, ficando disponível para a planta quando a mesma necessitar (NADEEM et al., 2011). Do contrário, sugere-se que na situação de estresse (Figura 11 f), o fosforo está sendo disponibilizado e rapidamente translocado para a plântula, local este onde de fato vai atuar e constituir nos novos tecidos em formação. Uma boa disponibilidade de fósforo para as plântulas é de fundamental importância uma vez que na falta deste composta, a principal alteração fisiológica é a redução do crescimento do vegetal (TAIZ et al., 2017). Neste aspecto de disponibilidade, ao observar-se o desempenho fisiológico das plântulas advindas das sementes de AV as quais foram mais vigorosas, esclarecendo o comportamento observado.

De forma geral, foi observado um acréscimo significativo de Pi nas plântulas originada de semente de BV, apenas sendo maior no de AV no segundo dia após a semeadura tanto em situação controle quanto em estresse (Figura 11 g; Figura 11 h). O maior teor de Pi no segundo dia após a semeadura no AV pode estar relacionado a proximidade do processo de protrusão radicular, o qual pode ter uma grande demanda para as reações metabólicas. Isso está associado a importância do fósforo no metabolismo da plântula em formação pois o mesmo é utilizado no metabolismo energético da plântula como ATP, é um componente de nucleotídeo compondo RNA e DNA das células, além de ser um componente integral de compostos das células como açúcares fosfato, intermediários da respiração e fosfolipídios que compõem as membranas celulares (TAIZ et al., 2017). O maior conteúdo de Pi na plântula a partir do quarto dia após a semeadura na situação controle e sexto dia na situação de estresse para o lote de BV (Figura 11 g; Figura 11 h), está associada a utilização do Pi, uma vez que esse elemento também é estrutural.

Figura 11 - Teor de Fitato, fósforo inorgânico (Pi) e atividade de fitase em lotes de alto e baixo vigor sob situação controle e estresse salino.



Legenda: a) Fitato no endosperma e escutelo em situação controle; b) Fitato no endosperma e escutelo sob estresse salino; c) Pi: fósforo inorgânico endosperma e escutelo em situação controle; d) Pi: fósforo inorgânico no endosperma e escutelo sob estresse salino; e) Fitase em situação controle; f) Fitase sob estresse salino; g) Pi: fósforo inorgânico endosperma e escutelo em situação controle; h) Pi: fósforo inorgânico no endosperma e escutelo sob estresse salino. Coluna de gráficos da esquerda em situação controle (H₂O), coluna de gráfico da

direita em situação de estresse salino (NaCl). * diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, em relação ao lote de AV e BV.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Em sementes de milho, a maior fração constituinte das reservas é compreendida pelo amido, composto responsável pelo fornecimento de carboidrato na forma de açúcares solúveis para os pontos de crescimento do eixo embrionário (HAN et al., 2017; UÇARLI, 2020). A redução de amido durante o processo de germinação se deu de forma linear decrescente nas duas situações independente do vigor (Figura 12 a; Figura 12 b). Na condição controle, a partir dos dois dias após a semeadura, o lote de AV reduziu maior quantidade de amido, concomitante ao decréscimo, foi observado um aumento no conteúdo de açúcares solúveis totais (AST), nos tecidos de reserva (Figura 12 e), e no eixo embrionário (Figura 12 g).

O AST presente no eixo embrionário originados das sementes de AV na situação controle (Figura 12g), aumenta com o passar dos dias até aproximadamente o quarto dia e depois decresce, isso se deve ao custo metabólico, pois a estrutura de plântula foi maior e também devido a sua utilização nos pontos de crescimento da plântula em formação que se encontram com atividade metabólica mais expressiva.

Na situação de estresse, houve redução do amido, contudo de forma similar entre o AV e BV. O AST na situação de estresse nos tecidos de reserva foi maior no lote de AV (Figura 12 f), e paralelamente a esse resultado, no eixo embrionário, no segundo e quarto dia após a semeadura, foi verificado acúmulo de açúcares solúveis nessas estruturas (Figura 12 h), esse resultado demonstra a alteração do estresse em relação ao metabolismo vegetal, sugerindo que conjuntamente a hidrólise do amido em situação de estresse, o acúmulo de AST pode estar atrelado a outra rota alternativa como por exemplo rotas gliconeogênicas, aumentando o conteúdo de AST no AV no eixo embrionário nos primeiros dias do processo de formação de plântula (dois e quatro). De acordo com López-Coria et al. (2019), o conteúdo de lipídeos é acumulado no escutelo das sementes do milho, e durante o processo de germinação, esses lipídeos são hidrolisados e através do ciclo do glioxilado contribuem para a biossíntese de sacarose.

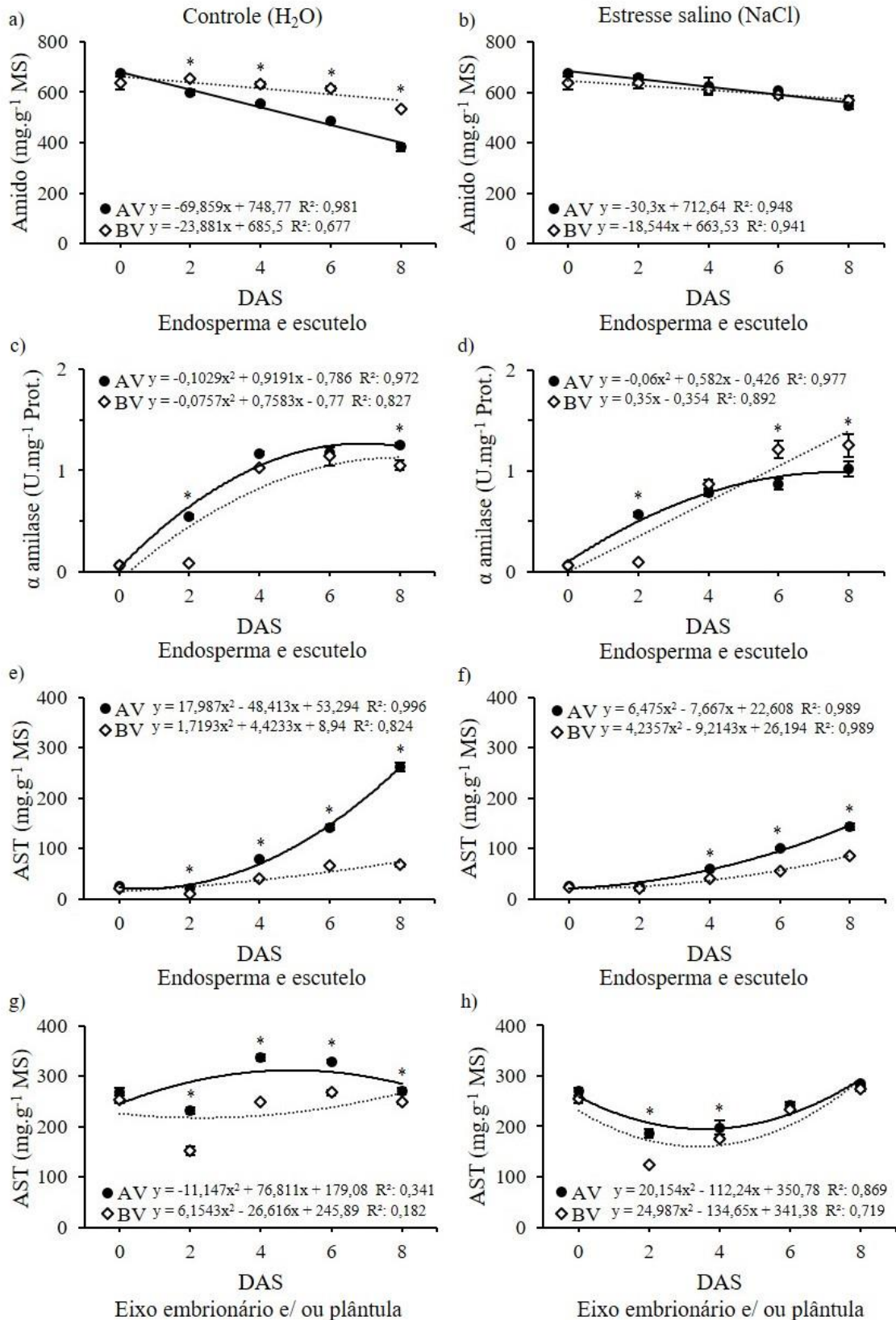
No sexto e oitavo dia não há diferença no conteúdo de AST sob estresse, demonstrando uma maior eficiência do AV para a utilização dos recursos disponíveis por estar formando plântulas mais vigorosas. Além disso, ao sexto e oitavo dia, conforme já observado na situação controle, as plântulas originadas de sementes de AV consomem o AST disponível explicando o conteúdo similar de AST nesses dois períodos na situação de estresse.

O maior acúmulo de AST no endosperma e escutelo das sementes de AV a partir do quarto dia após a semeadura em situação de estresse podem explicar a melhor performance fisiológica das sementes de AV para formarem plântulas mais vigorosas, pois os açúcares solúveis contribuem com a redução do potencial hídrico favorecendo a absorção de água (TAIZ et al., 2017), auxiliando no processo de hidrólise e mobilização das reservas da semente, tendo em vista a importância da água para esses processos. Além disso, de acordo com Han et al. (2017), um dos aspectos preponderante para a germinação e formação de plântulas está associado principalmente com a glicólise e fornecimento de energia.

Paralelamente a esse resultado, avaliando a atividade da α amilase, uma das principais enzimas responsáveis pela hidrólise do amido (YAN et al., 2014; HAN et al., 2017; FEENSTRA et al., 2017), na situação controle, aos dois DAS, foi significativamente superior no lote de AV (Figura 12 c). A α amilase é uma enzima relacionada ao alto vigor, principalmente durante a fase inicial do processo de germinação fornecendo energia para o metabolismo (SANTOS et al., 2015). Em estudos conduzidos por Huang et al. (2017), avaliando a expressão do vigor na cultura do arroz, constatou que maior atividade de amilases contribui significativamente para a formação de plântulas mais vigorosas estando associado ao vigor das sementes.

A expressão da atividade de α amilase na situação controle de ambos os lotes foi quadrático, diferindo entre os lotes apenas aos dois e oito DAS sendo superior no lote de AV (Figura 12 c). Sob condições de estresse salino, o comportamento do AV foi quadrático e do BV linear, sendo superior nos seis e oito dias após a semeadura para o lote de BV (Figura 12 d). Esse resultado pode estar associado a maior atividade de α amilase pela semente de baixo vigor, na tentativa de superar a situação de estresse, contudo, não repercutindo em um maior suprimento de AST nas fases mais tardias.

Figura 12 - Teor de amido, açúcares solúveis totais (AST) e atividade da α amilase em lotes de sementes de milho de alto e baixo vigor sob situação controle e estresse salino.



Legenda: a) Amido em situação controle; b) Amido sob estresse salino; c) α amilase em situação controle; d) α amilase sob estresse salino; e) AST: açúcar solúvel total do endosperma e escutelo em situação controle; f) AST: açúcar solúvel total do endosperma e escutelo sob estresse salino; g) AST: açúcar solúvel total do eixo

embrionário e/ ou plântula em situação controle; h) AST: açúcar solúvel total eixo embrionário e/ ou plântula sob estresse salino. Coluna de gráficos da esquerda em situação controle (H₂O), coluna de gráfico da direita em situação de estresse salino (NaCl). * diferença significativa pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, em relação ao lote de AV e BV.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O AST no eixo embrionário e/ ou plântula demonstra uma queda significativa aos 2 dias após a semeadura independente do lote e do estresse, contudo a queda do AST no lote de BV é alta tanto na água, quanto no sal. Esse resultado pode estar associado ao processo que se tem até a protrusão radicular durante a germinação. Durante as primeiras fases, ocorre uma rápida absorção de água, seguida de um aumento substancial da respiração, ativação de enzimas, e síntese de enzimas com base no RNA mensageiro estocado pela planta mãe durante a maturação nas sementes, mas as primeiras atividades associadas a embebição estão envolvidas no reparo de membranas, organelas e de material genético (MARCOS-FILHO, 2015b).

A fase II por sua vez, se caracteriza por um platô na absorção de água e respiração, sendo uma fase preparatória para os processos bioquímicos como por exemplo síntese “de novo” de enzimas, hidrólise e mobilização das reservas para o crescimento do embrião, mas também continua sendo uma fase de reparo, processos esses que requerem uma série de ajustes, os quais necessitam de fonte de energia (MARCOS-FILHO, 2015a) reduzindo dessa forma o conteúdo de AST até o ponto de 2 dias após a semeadura.

A partir do quarto dia, o conteúdo de AST aumenta de forma quadrática ascendente para todos os lotes em ambas as situações, exceto para as plântulas originadas de sementes de AV em água. Esse comportamento pode ser pelo fato das plântulas serem significativamente maiores, requerendo dessa forma um custo metabólico de manutenção para os processos basais das células como por exemplo respiração, consumindo dessa forma o AST disponível (NADEEM et al., 2014). Nadeem et al. (2011), observou um acúmulo de carbono em plântulas de milho (sem estresse) a partir do segundo dia para o sistema radicular e terceiro dia após a semeadura para a parte aérea, havendo um incremento desse conteúdo de carbono significativo até o sétimo dia de semeadura, onde o mesmo se estabiliza devido ao consumo das reservas advindas do endosperma e escutelo.

O conteúdo de AST nas plântulas sob estresse salino se diferiu no segundo e quarto dia após a semeadura, sendo superior nas sementes de AV. Esse resultado sugere uma maior disponibilidade de energia para os pontos de crescimento e uma regulação osmótica para manter as funções vitais das células e o crescimento do vegetal. Além disso, os açúcares atuam também como osmoprotetores e estabilizadores de membrana, principalmente sob condições de estresse (SAMI et al., 2016). Annunziata et al. (2017), estudando o desempenho de plântulas de trigo

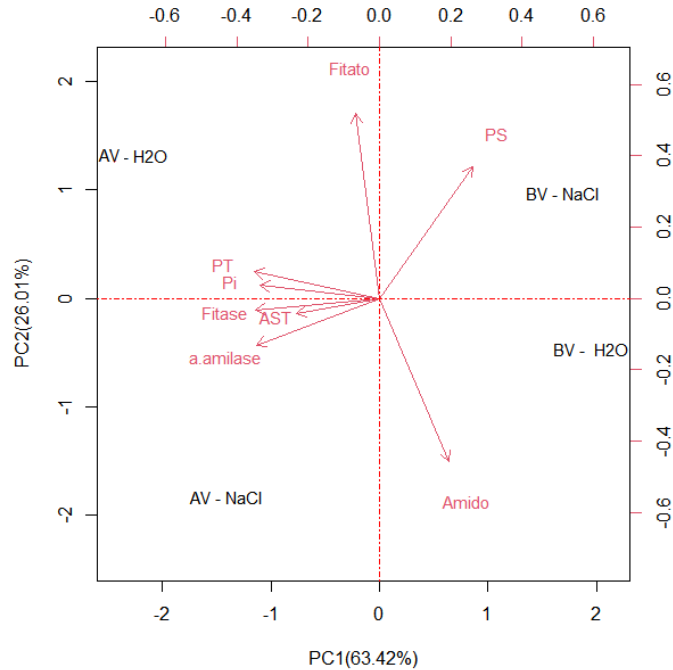
sob estresse salino, observou que a sacarose foi determinante para a superação do estresse demonstrando melhor performance fisiológica das plântulas. Miransari e Smith, (2019), atribui a tolerância da cultura do trigo a salinidade a produção de açúcares no citosol das células para o ajuste do potencial osmótico. Outra indicação realizada por Wang et al., (2020), sugerem que plântulas de *Lycium ruthenicum*, superam condições de salinidade devido ao acúmulo de açúcares solúveis para reduzir o custo metabólico com outros osmoprotetores. Onde o acúmulo de açúcares solúveis nas células possui um custo metabólico inferior para o metabolismo dos vegetais (KATARIA; VERMA, 2018).

Outra estratégia que as plantas desenvolveram para tolerar a perturbação iônica está relacionada a compartimentalização de sódio no vacúolo celular, reduzindo a concentração tóxica no citosol (KEISHAM; MUKHERJEE; BHATLA, 2018). Oliveira et al. (2018), estudando o estabelecimento de plântula de dois genótipos de sorgo, observou acúmulo significativo de sódio na parte aérea, sistema radicular e semente, estando atrelado a regulação osmótica. Na generalidade, a superação do estresse salino está associada principalmente a dois parâmetros, a regulação do potencial osmótico das células e o controle dos níveis de espécies reativas de oxigênio, os quais são proporcionados pela restrição hídrica e desequilíbrio iônico (MIRANSARI; SMITH, 2019).

Durante o processo de germinação e formação de plântula, de modo geral, constata-se que no segundo dia, foi um período determinante. Essa observação pode estar associada ao período de avaliação mais próximo da fase III do processo de germinação. Com base nisso, para identificar quais os componentes bioquímicos nesse período em específico, estão associados a expressão do vigor, foi realizado uma análise de componentes principais para os componentes relacionado as estruturas de reserva (Figura 13), e para os componentes bioquímicos e fisiológicos relacionados com o eixo embrionário e/ou plântula (Figura 14).

Na Figura 13 a variância total explicada pelos dois primeiros componentes foi de 89,43%, sendo 63,42% no primeiro componente (PC1) e 26,01% no segundo componente (PC2). As amostras do componente PC1-/PC2+ foram agrupadas em função do fitato, PT e Pi. No componente PC1-/PC2- as amostras foram agrupadas em função do fitase, AST e α amilase. No componente PC1-/PC2- as amostras foram agrupadas em função da PS. E no componente PC1+/PC2- as amostras foram agrupadas em função do amido.

Figura 13 - Diagrama de ordenação por Análise de Componentes Principais (PCA) das respostas bioquímicas observadas no endosperma e escutelo.



Legenda: AV - H₂O: sementes de alto vigor na situação controle, AV - NaCl: sementes de alto vigor em situação de estresse salino; BV - H₂O: sementes de baixo vigor em situação controle, BV - NaCl: sementes de baixo vigor em situação de estresse salino; PT: proteína total, PS: proteína solúvel, Pi: fósforo inorgânico e AST: açúcar solúvel total

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

De acordo com a Figura 13, observa-se que o fitato, PT e Pi estão associados com as sementes de AV na situação controle. Dessa forma, pode se atribuir que no segundo dia após a semeadura, as sementes de AV na situação controle mantem em maior quantidade os estoques de fitato, maior conteúdo de Pi e de PT. As variáveis fitase, AST, e α amilase se associaram com lote de AV em situação de estresse.

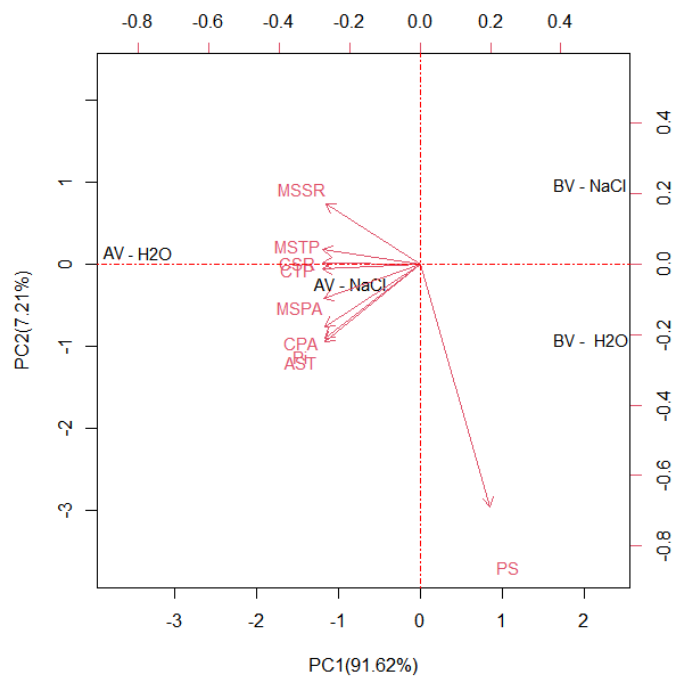
Em relação as sementes de BV em ambiente controle, foi observado associação com o amido, já na situação de estresse, o BV teve associação com a PS, fração que engloba as proteínas hidrolíticas e de sistema antioxidante, contudo, não sendo eficiente pois as plântulas originadas da semente de BV são menos vigorosas.

Na Figura 14, a variância total explicada pelos dois primeiros componentes foi de 98,83%, sendo 91,62% no primeiro componente (PC1) e 7,21% no segundo componente (PC2). A análise possibilitou uma melhor visualização da resposta fisiológica das plântulas mediante estresse conforme o vigor da semente. As amostras do componente PC1-/PC2+ foram agrupadas em função da MSSR e MSTP. No componente PC1-/PC2- as amostras foram

agrupadas em função do CTP, MSPA, CPA, Pi e AST. No componente PC1+/PC2- as amostras foram agrupadas em função da PS.

Os componentes fisiológicos e bioquímicos da plântula que estão associados a sementes de AV na situação controle foram a MSSR e MSTP. O CSR teve associação com a semente de AV, contudo não se associando com a situação de estresse e nem controle.

Figura 14 - Diagrama de ordenação por Análise de Componentes Principais (PCA) das respostas fisiológicas e bioquímicas da plântula.



Legenda: AV - H₂O: sementes de alto vigor em situação controle, AV - NaCl: sementes de alto vigor em situação de estresse salino; BV - H₂O: sementes de baixo vigor em situação controle, BV - NaCl: sementes de baixo vigor em situação de estresse salino; CPA: comprimento da parte aérea, CSR: comprimento do sistema radicular, CTP: comprimento total plântula, MSPA: massa seca da parte aérea, MSSR: massa seca do sistema radicular, MSTP: massa seca total plântula, PS: proteína solúvel, Pi: fósforo inorgânico e AST: açúcar solúvel total

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O CTP, MSPA, CPA, Pi e AST se agruparam no quadrante de AV sob condição de estresse, componentes importantes que estão associados a superação da condição estressora. A PS por sua vez, teve associação com as plântulas originadas de sementes de BV na situação controle.

De modo geral, observa-se uma performance promissora das sementes de AV, estando associado a componentes bioquímicos modulando rotas metabólicas proporcionando a

superação das condições desfavoráveis impostas pelo estresse salino durante o processo de germinação e formação de plântulas.

5.4 CONCLUSÃO

Sementes de alto vigor proporcionam desempenho de plântulas superior resultando na formação de plântulas vigorosas sob condições de estresse salino.

Os componentes bioquímicos fitato, proteína total e fósforo inorgânico estão associados com a semente de AV na situação controle ao segundo dia após a semeadura. A fitase açúcar solúvel total e α amilase estão associados com a semente de AV na situação de estresse.

Em relação a plântula os componentes bioquímicos associados as sementes de AV na situação de estresse são o fósforo inorgânico e o açúcar solúvel total.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Com os resultados obtidos em relação à campo, pode se afirmar que o vigor das sementes é um atributo de relevante importância em relação ao desempenho das plântulas sob situações ambientais adversas, estando associado a uma emergência rápida e uniforme, além de estar associados a parâmetros fisiológicos que possibilitam a formação de plântulas vigorosas.

Com base no que foi desenvolvido durante a dissertação, se comprova a importância do vigor em âmbito de superação ao estresse salino no que diz respeito a formação de plântulas, isso independentemente do nível de NaCl e/ou nível de estresse salino, as plântulas originadas de sementes de maior vigor possuem um desempenho fisiológicos superior, tanto de dimensões de crescimento quanto de massa.

Em relação ao processo de germinação e formação de plântulas, observa-se uma performance superior nas plântulas originadas de semente de alto vigor. Também foi possível observar comportamento de hidrólise e mobilização de forma diferente nas situações de estresse e controle, bem como a influência do vigor nesses parâmetros. Conseguem-se afirmar que as plântulas originadas de sementes de alto vigor são mais eficientes no uso dos recursos disponíveis formando dessa forma plântulas mais vigorosas. Além disso, sementes de AV possuem maior hidrólise de proteína total, um acúmulo crescente de proteína solúvel e açúcares solúveis totais no escutelo e endosperma nas situações tanto de estresse quanto de controle. Possuem também, uma maior atividade de fitase ao segundo dia após a semeadura sob ambas as situações.

O açúcar solúvel total foi um componente em destaque que foi fornecido em maior quantidade para a plântula que repercutiu em acúmulo nos tecidos vegetais, o qual possui um papel primordial em relação a superação de estresse salino, sendo também importante para a constituição de novos tecidos e também como fonte de energia metabólica através da glicólise.

Os componentes bioquímicos fitato, proteína total e fósforo inorgânico estão associados com a semente de AV na situação em uma situação sem estresse ao segundo dia após a semeadura. A fitase açúcar solúvel total e α amilase estão associados com a semente de AV na sob situação de estresse salino. Em relação à plântula, os componentes bioquímicos associados as sementes de AV sob estresse salino são o fósforo inorgânico e o açúcar solúvel total possibilitando dessa forma uma melhor performance fisiológica.

Essas observações, de forma geral, contribuem significativamente com a construção de conhecimento científico na área de fisiologia de sementes em relação a expressão do vigor sob situações de estresse abiótico com ênfase para o estresse salino, servindo como base para

pesquisas futuras perante essas temáticas, como por exemplo a identificação da expressão gênica a nível de campo associada com a expressão do vigor, a expressão genica em relação ao vigor e a superação das condições de estresse salino, em âmbito de metabolômica, cada componente bioquímico abre um caminho a ser explorado cientificamente sendo estes nas proteínas, no metabolismo do fósforo e no metabolismo de carboidratos.

7 REFERÊNCIAS

- ADDANKI, Krishnam Raju et al. Swarna × *Oryza nivara* introgression lines: a resource for seedling vigour traits in rice. **Plant Genetic Resources**, v. 17, n. 1, p. 12-23, 2019.
- ALI, Qasim et al. Assessment of drought tolerance in mung bean cultivars/lines as depicted by the activities of germination enzymes, seedling's antioxidative potential and nutrient acquisition. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 64, n. 1, p. 84-102, 2018.
- ALI, M. Ali et al. Evaluation capability of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes under salinity (NaCl) stress as a systematic tolerance assessment at seed germination and early growth stage under laboratory conditions. **Asian Journal of Research in Biosciences**, v. 1, n. 2, p. 65-77, 2019.
- AMARO, Hugo T. R et al. Testes de vigor para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 383-389, 2015.
- ANDRADE, Gisiane Camargo de; COELHO, Cileide Maria Medeiros; PADILHA, Matheus Santin. Seed reserves reduction rate and reserves mobilization to the seedling explain the vigour of maize seeds. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 4, p. 488-497, 2019.
- ANDRADE, Gisiane Camargo; COELHO, Cileide Maria Medeiros; UARROTA, Virgílio Gavicho. Modelling the vigour of maize seeds submitted to artificial accelerated ageing based on ATR-FTIR data and chemometric tools (PCA, HCA and PLS-DA). **Heliyon**, v. 6, n. 2, p. 01-15, 2020.
- ARGENTA, Gilber; SILVA, Paulo Regis Ferreira da; SANGOI, Luís. Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte. **Ciência rural**, v. 31, n.6, p. 1075-1084, 2001.
- ANNUNZIATA, Maria Grazia et al. Durum wheat roots adapt to salinity remodeling the cellular content of nitrogen metabolites and sucrose. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 01-16, 2017.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Vitamins and other nutrients. In: AOAC. **Official methods of analysis**. 16. ed. Vol. II. AOAC International, Arlington, cap. 45, p.58-61, 1995.
- AOSA – Association of Official Seed Analysts – **Seed vigor testing handbook**. East Lansing. 1983. 88 p.
- AVCI, Süleyman; İLERI, Onur; DEMIRKAYA, Mehmet. Determination of genotypic variation among sorghum cultivars for seed vigor, salt and drought stress. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 23, n. 3, p. 335-343, 2017.
- BITTENCOURT, Sonia Regina Mudrovitsch de; VIEIRA, Roberval Daiton. Temperatura e período de exposição de sementes de milho no teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 161-168, 2006.
- BORÉM, Aluizio; MIRANDA, Glauco Vieira. Importância do melhoramento de plantas. In: _____. **Melhoramento de plantas**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, 2013. cap. 2, p. 26-42.
- BRADFORD, Marion M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, v. 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009, 395p.
- BUTCHER, Kirsten et al. Soil salinity: a threat to global food security. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 6, p. 2189-2200, 2016.
- CARVALHO, Junia Naara da Silva et al. Simulação do efeito da variação da temperatura ambiente na germinação de variedades de milho. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 3, p. 266-273, 2017.
- CAVALCANTE, Jerffson Araújo et al. Potencial fisiológico de sementes de duas cultivares de arroz em resposta ao stresse salino. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 184-193, 2019.
- CESCONETTO, Leandro Furlan et al. Aspectos técnicos de manejo utilizados no Sul catarinense na cultura do milho. **Agropecuária Catarinense**, v. 34, n. 2, p. 73-77, 2021.
- CHEN, P. S.; TORIBARA, T. Y.; WARNER, H. Microdetermination of Phosphorus. **Analytical Chemistry**, v. 26, n. 11, p. 1756-1758, 1956.
- CHENG, Jinping et al. Physiological characteristics of seed reserve utilization during the early seedling growth in rice. **Brazilian Journal of Botany**, v. 38, n. 4, p. 751-759, 2015.
- CICERO, Silvio Moure; VIEIRA, Roberval Daiton. Teste de Frio. In: KRZYZANOWSKI, Francisco Carlos et al. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020. cap. 6 p. 277-316.
- COELHO, Cileide Maria Medeiros et al. Potencial fisiológico em sementes de cultivares de feijão crioulo (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 3, p. 97-105, 2010.
- CONDON, Nicole; KLEMICK, Heather; WOLVERTON, Ann. Impacts of ethanol policy on corn prices: A review and meta-analysis of recent evidence. **Food Policy**, v. 51, p. 63-73, 2015.
- DIAS, Marcos Altomani Neves; MONDO, Vitor Henrique Vaz; CICERO, Silvio Moure. Vigor de sementes de milho associado à mato-competição. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 93-101, 2010.
- DIAS, Nildo da Silva et al. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEYI, Han Raj et al. **Manejo da salinidade na agricultura: estudo básico e aplicado**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap. 11, p. 151-162.
- DOMERGUE, Jean-Baptiste et al. Seed quality and carbon primary metabolism. **Plant, cell e environment**, v. 42, n. 10, p. 2776-2788, 2019.
- DRANSKI, João Alexandre Lopes et al. Carbon dioxide quantified by the infrared in respiratory activity evaluation in corn seeds. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 3, p. 1115-1131, 2017.
- DWIVEDI, Sangam L. et al. First the seed: Genomic advances in seed science for improved crop productivity and food security. **Crop Science**, v. 61, n. 3, p. 1501-1526, 2021.
- EBONE, Luciano Antônio; CAVERZAN, Andréia; CHAVARRIA, Geraldo. Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 145, p. 34-42, 2019.

EHRHARDT-BROCARD, Natalia Carolina Moraes; COELHO, Cileide Maria Medeiros. Hydration patterns and physiologic quality of common bean seeds. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, p. 1791-1799, 2016.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2020. 20p. (Epagri, Documentos, 310) - ISSN 2674-9521 (On-line)

FEENSTRA, Adam D. et al. Spatial mapping and profiling of metabolite distributions during germination. **Plant physiology**, v. 174, n. 4, p. 2532-2548, 2017.

FINCH-SAVAGE, William E.; BASSEL, George W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of experimental botany**, v. 67, n. 3, p. 567-591, 2016.

FU, Yong-Bi; AHMED, Zaheer; DIEDERICHSEN, Axel. Towards a better monitoring of seed ageing under ex situ seed conservation. **Conservation Physiology**, v. 3, n. 1, p. 1-16, 2015.

GARCIA, Jaqueline.; COELHO, Cileide Maria Medeiros. Accelerated aging predicts the emergence of rice seedlings in the field. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 1397-1410, 2021.

GHASSEMI-GOLEZANI, Kazem; TAJBAKHS, Zahra; RAEY, Yaeghoob. Seed development and quality in maize cultivars. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 39, n. 1, p. 178-182, 2011.

GOMES, Luiz Savelli et al. Resistência ao acamamento de plantas e ao quebraamento do colmo em milho tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 2, p. 140-145, 2010.

GOMES FILHO, Aroldo et al. Estresse hídrico e salino na germinação de sementes de feijão-caupi cv. BRS Pajeú. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 4, p. 60-73, 2019.

GOND, S. K. et al. Induction of salt tolerance and up-regulation of aquaporin genes in tropical corn by rhizobacterium *Pantoea agglomerans*. **Letters in Applied Microbiology**, v. 60, n. 4, p. 392-399, 2015.

GRZYBOWSKI, Camila Ribeiro DE SOUZA et al. Efeito do potencial osmótico na interação genótipo e vigor de sementes de milho. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 12, n. 3, 2019.

HAN, Chao et al. Analysis of proteome profile in germinating soybean seed, and its comparison with rice showing the styles of reserves mobilization in different crops. **PloS one**, v. 8, n. 2, p. 1-9, 2013.

HAN, Caixia et al. Comparative metabolome analysis of wheat embryo and endosperm reveals the dynamic changes of metabolites during seed germination. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 115, p. 320-327, 2017.

HEBERLE, E.; ARAUJO, E. F.; FILHO, A. F. de. L.; CECON, P. R.; ARAUJO, R. F.; AMARO, H. T. R. Qualidade fisiológica e atividade enzimática de sementes de milho durante o armazenamento. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 657-665, 2019.

HÍDVÉGI, Máté; LÁSZTITY, Radomir. Phytic acid content of cereals and legumes and interaction with proteins. **Periodica Polytechnica Chemical Engineering**, v. 46, n. 1-2, p. 59-64, 2002.

- HOQUE, Mohammad, Muhebbullah Ibne; JUN, Zheng; GUOYING, Wang. Impact of salinity stress on seed germination indices of maize (*Zea mays* L.) genotypes. **Kragujevac J. Sci.**, v. 36, n. 36, p. 155-166, 2014.
- HUANG, Min et al. Morphological and physiological traits of seeds and seedlings in two rice cultivars with contrasting early vigor. **Plant Production Science**, v. 20, n. 1, p. 95-101, 2017.
- HUSSAIN, Saddam et al. Seed priming alters the production and detoxification of reactive oxygen intermediates in rice seedlings grown under sub-optimal temperature and nutrient supply. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. 439, p. 1-13, 2016.
- JOVOVIĆ, Mirjana et al. Effect of salinity and drought stress on germination and early seedlings growth of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). **Genetika-Belgrade**, v. 50, n. 1, p. 285-298, 2018.
- KAKAR, Naqeebullah et al. Evaluating rice for salinity using pot-culture provides a systematic tolerance assessment at the seedling stage. **Rice**, v. 12, n. 1, p. 1-14, 2019.
- KAPPES, Claudinei et al. Desempenho de híbridos de milho em diferentes arranjos espaciais de plantas. **Bragantia**, v. 70, n. 2, p. 334-343, 2011.
- KATARIA, Sunita; VERMA, Sandeep Kumar. Salinity stress responses and adaptive mechanisms in major glycophytic crops: the story so far. In: **Salinity Responses and Tolerance in Plants**, v. 1, Springer, 2018. p. 1-39.
- KEISHAM, Monika; MUKHERJEE, Soumya; BHATLA, Satish C. Mechanisms of sodium transport in plants-progresses and challenges. **International journal of molecular sciences**, v. 19, n. 3, p. 1-22, 2018.
- KHALID, Zakeyeldinn EA et al. Germination of corn (*Zea mays* L.) cultivars seed and its relationship to field performance under semi-arid conditions. **IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science**, v. 11, n. 6, p. 32-40, 2018.
- KRZYZANOWSKI, F. C., França Neto, J. B., Gomes Junior, F. G. & Nakagawa, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina, PR: ABRATES. 2020, p. 79–140.
- LATTA, M.; ESKIN, M. A simple and rapid colorimetric method for phytate determination. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 28, p. 1313-1315, 1980.
- LAXA, Miriam et al. The role of the plant antioxidant system in drought tolerance. **Antioxidants**, v. 8, n. 4, p. 94-125, 2019.
- LEITE JUNIOR, Mauricio Cezar Resende et al. Emergência de semente de milho submetida ao déficit hídrico. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 3, p. 1329-1338, 2020.
- LI, Xiangnan et al. Induction of chilling tolerance in wheat during germination by pre-soaking seed with nitric oxide and gibberellin. **Plant Growth Regulation**, v. 71, n. 1, p. 31-40, 2013.
- LI, Zhong-Guang et al. Methylglyoxal as a novel signal molecule induces the salt tolerance of wheat by regulating the glyoxalase system, the antioxidant system, and osmolytes. **Protoplasma**, v. 254, n. 5, p. 1995-2006, 2017.
- LIMA, Gustavo Júlio Mello; PAES, Maria Cristina Dias; QUEIROZ, Valéria Aparecida Vieira. O milho na Nutrição Animal e Humana. In: CRUZ, José Carlos et al. **Milho: o**

produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. cap. 16, p. 238-267.

LIMA JUNIOR, Joaquim; SILVA, André Luiz. Estudo do processo de salinização para indicar medidas de prevenção de solos salinos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 11, p. 01-21, 2010.

LOPES, José Carlos; MACEDO, Célia Maria Peixoto de. Germinação de sementes de couve chinesa sob influência do teor de água, substrato e estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 79-85, 2008.

LOPES, Nei Fernandes; LIMA, Maria da. Graça de Souza. Fisiologia do estresse vegetal. In: _____. **Fisiologia da produção**. Viçosa, MG: UFV, 2015. cap. 12, p. 384-445.

LÓPEZ-CORIA, Montserrat et al. SWEET transporters for the nourishment of embryonic tissues during maize germination. **Genes**, v. 10, n. 10, p. 780, 2019.

MA, Xianhong et al. Changes in starch structures and in vitro digestion characteristics during maize (*Zea mays* L.) germination. **Food Science e Nutrition**, v.8, n.3, p. 1700-1708, 2020.

MAGALHÃES, Paulo César. Fisiologia da Produção. In: CRUZ, José Carlos et al. **Milho: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. cap. 2, p. 27-36.

MAIA, Josemir Moura et al. Seca e salinidade na resposta antioxidativa de raízes de feijão caupi. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 11, n. 1, p. 59-93, 2015.

MANDIZVO, T.; ODINDO, A. O. Seed mineral reserves and vigour of Bambara groundnut (*Vigna subterrânea* L.) landraces differing in seed coat colour. **Heliyon**, v. 5, n. 5, p. 01-10, 2019.

MARCOS-FILHO, Julho. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed. Londrina, PR: ABRATES, 2015a. p. 660.

MARCOS-FILHO, Julio. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015b.

MARCOS-FILHO, Julio. Teste de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, Francisco Carlos et al. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020a. cap. 1 p. 17-77.

MARCOS-FILHO, Julio. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, Francisco Carlos et al. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020b. cap. 4, p. 185-246.

MARINI, Patricia et al. Antioxidant activity of corn seeds after thermal stress. **Ciência Rural**, v. 43, n. 6, p. 951-956, 2013.

MARTÍNEZ-BALLESTA, María del Carmen et al. The importance of ion homeostasis and nutriente status in seed development and germination. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 01-22, 2020.

MATHIAS, Vanderléia; COELHO, Cileide Maria Medeiros. Correlation between vigor by accelerated aging at pre-sowing and soybean seedling emergence in the field. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 455-470, 2021.

- MCCREADY, R. M. et al. Determination of starch and amylose in vegetables. **Analytical chemistry**, v. 22, n. 9, p. 1156-1158, 1950.
- MENEGUZZO, Michele Renata Revers et al. Seedling length and soybean seed vigor. **Ciência Rural**, v. 51, n.7, p. 01-08, 2021.
- MILLER, Gail Lorenz. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical chemistry**, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- MIRANSARI, Mohammad; SMITH, Donald. Sustainable wheat (*Triticum aestivum* L.) production in saline fields: a review. **Critical reviews in biotechnology**, v. 39, n. 8, p. 999-1014, 2019.
- MONDO, Vitor Henrique Vaz et al. Vigor de sementes e desempenho de plantas de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 1 p. 143-155, 2012.
- MONDO, Vitor Henrique Vaz et al. Seed vigor and initial growth of corn crop. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 1, p. 64-69, 2013.
- MORAIS, Maria Aparecida dos Santos et al. O NaCl inibe a germinação e a atividade da amilase em duas espécies de feijão. **Revista Nordestina de Ciências Biológicas (RncBIO)**, v. 1, n. 1, p. 50-56, 2018.
- NADEEM, Muhammad et al. Relative contribution of seed phosphorus reserves and exogenous phosphorus uptake to maize (*Zea mays* L.) nutrition during early growth stages. **Plant and Soil**, v. 346, n. 1, p. 231-244, 2011.
- NADEEM, Muhammad et al. Remobilization of seed phosphorus reserves and their role in attaining phosphorus autotrophy in maize (*Zea mays* L.) seedlings. **Seed Science Research**, v. 24, n. 3, p. 187-194, 2014.
- NAGUIB, D. M.; ABDALLA, A. Metabolic status during germination of nano sílica primed *Zea mays* seeds under salinity stress. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v. 22, n. 5, p. 415-423, 2019.
- NERLING, Daniele; COELHO, Cileide Maria Medeiros; BRÜMMER, Adriele. Biochemical profiling and its role in physiological quality of maize seeds. **Journal of Seed Science**, v. 40, n.1, p. 07-15, 2018.
- NETO, José Fernandes Barbosa et al. Milho: Uma cultura sob domínio humano. In: BARBIERI, Rosa Lía; STUMPF, Elisabeth Regina Tempel. **Origem e evolução de plantas cultivadas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. cap. 26, p. 576-598.
- NOUNJAN, Noppawan; KUMON-SA, Netnapit; THEERAKULPISUT, Piyada. Spermidine priming promotes germination of deteriorated seeds and reduced salt stressed damage in rice seedlings. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 49, n. 1, p. 12130-12130, 2021.
- NUNES, Luma Rayane de Lima et al. Germination and vigour in genotypes of forage sorghum at different levels of water and salt stress. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 5, p. 1975-1986, 2020.
- OLIVEIRA, Alexandre Bosco de et al. Differential responses of antioxidative defense system to NaCl in grain and forage sorghum during germination and seedling establishment. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 7, p. 1064-1071, 2018.

OU, Keqin et al. Phytase activity in brown rice during steeping and sprouting. **Journal of Food Science and Technology**, v. 48, n. 5, p. 598-603, 2011.

PADILHA, Matheus Santin; COELHO, Cileide Maria Medeiros; ANDRADE, Giseane Camargo de. Seed reserve mobilization evaluation for selection of high-vigor common bean cultivars. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 4, p. 927-935, 2020.

PADILHA, Matheus Santin; COELHO, Cileide Maria Medeiros; EHRHARDT-BROCARD, Natalia Carolina Moraes. Vigor and alpha-amylase activity in common bean seeds under salt stress conditions. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 6, p. 3633-3650, 2021.

PANUCCIO, M. R. et al. Bio-priming mitigates detrimental effects of salinity on maize improving antioxidant defense and preserving photosynthetic efficiency. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 132, p. 465-474, 2018.

PATERNIANI, Ernesto; CAMPOS, Márcio Silva. Melhoramento do milho. In: BORÉM, Aluizio. **Melhoramento de espécies cultivadas**. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005. cap. 13, p. 491-552.

PAUL, Diby.; LADE, Harshad. Plant-growth-promoting rhizobacteria to improve crop growth in saline soil: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 4, p. 737-752, 2014.

PEREIRA, Valberto Rômulo Feitosa et al. Desempenho agronômico da cultura do milho sob diferentes arranjos espaciais no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 5, p. 2976-2983, 2018.

PEREIRA, Isabella C.; CATÃO, Hugo CRM; CAIXETA, Franciele. Seed physiological quality and seedling growth of pea under water and salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 95-100, 2019.

PINHEIRO, Daniel Teixeira et al. Germination and antioxidant action in melon seeds exposed to salt stress. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 3, p. 336-342, 2016.

PIRASTEH-ANOSHEH, Hadi et al. Salicylic acid-mediated regulation of morpho-physiological and yield attributes of wheat and barley plants in deferring salinity stress. **Journal of Plant Growth Regulation**, p. 1-13, 2021.

POLASH, Mohammed Arif Sadik; SAKIL, Md Arif; HOSSAIN, Md Alamgir. Plants responses and their physiological and biochemical defense mechanisms against salinity: A review. **Trop. Plant Res**, v. 6, n. 2, p. 250-274, 2019.

PRAZERES, Camila Segalla; COELHO, Cileide Maria Medeiros. Osmolyte accumulation and antioxidant metabolism during germination of vigorous maize seeds subjected to water deficit. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 42, p. 01-11, 2020.

PRAZERES, Camila Segalla; COELHO, Cileide Maria Medeiros; SOUZA, Clovis Arruda. Biochemical compounds and enzymatic systems related to tolerance to water deficit of maize seedlings. **Plant Physiology Reports**, v. 26, n. 3, p. 402-411, 2021.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, 2020.

RICHARDS, Lorenzo Adolph. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **LWW**, v. 78, n. 2, 1954.

- RODRIGUES, Marilia Hortencia Batista Silva et al. Vigor de sementes: métodos para análise e fatores que o influenciam. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 3, p.43-52, 2020.
- ROSSATO, Rovani Marcos et al. Agronomic performance and economic viability of maize cultivars of open pollination. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 19, n. 4, p. 380-385, 2020.
- SABAGH, Ayman EL et al. Salinity stress in maize: Effects of stress and recent developments of tolerance for improvement. In: **Cereal Grains**. IntechOpen, v. 1, p. 01-20, 2021.
- SAHOO, Swastideepa et al. Association of molecular markers with physio-biochemical traits related to seed vigour in rice. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 26, n. 10, p. 1989-2003, 2020.
- SALISBURY, F. B.; Ross, C. W. **Plant physiology**. 4.ed. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1991. 682p.
- SAMI, Fareen et al. Role of sugars under abiotic stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 109, p. 54-61, 2016.
- SANGOI, L.; ALMEIDA, M. L. de.; SILVA, P. R. F. da.; ARGENTA, G. Bases morfológicas para maior tolerância dos híbridos modernos de milho a altas densidades de plantas. **Bragantia**, v. 61, n. 2, p. 101-110, 2002.
- SANGOI, LUIS et al. Efeito de doses de cloreto de potássio sobre a germinação e o crescimento inicial do milho, em solos com texturas contrastantes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, n. 02, p. 187-197, 2009.
- SANGOI, LUIS et al. Tratamento de sementes com bioestimulante é incapaz de mitigar a emergência desuniforme do milho. **Brazilian Journal of Maize and Sorghum**, v. 15, n. 3, p. 428-438, 2016.
- SANTOS, Heloisa Oliveira dos et al. Proteins expression and germination of maize seeds submitted to saline stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 44, p. 4102-4107, 2015.
- SANTOS, Heloisa Oliveira dos et al. Physiological quality of hybrid maize seeds through respiratory and enzymatic activities. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 20, p. 1879-1886, 2016.
- SAKO, Y. et al. A system for automated seed vigour assessment. **Seed science and technology**, v. 29, n. 3, p. 625-636, 2001.
- SATIR, Onur; BERBEROGLU, Suha. Crop yield prediction under soil salinity using satellite derived vegetation indices. **Field crops research**, v. 192, p. 134-143, 2016.
- SBRUSSI, Cesar Augusto Gasparetto; ZUCARELI, Claudemir. Germinação de sementes de milho com diferentes níveis de vigor em resposta à diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 1, p. 215-226, 2014.
- SCHOBBER, Patrick; BOER, Christa; SCHWARTE, Lothar A. Correlation coefficients: appropriate use and interpretation. **Anesthesia e Analgesia**, v. 126, n. 5, p. 1763-1768, 2018.
- SEHRAWAT, Nirmala et al. Salt stress and mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]: effects, physiological perspective and management practices for alleviating salinity. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, n. 9, p. 1287-1301, 2019.

- SHAH, Tajamul Rouf; PRASAD, Kamlesh; KUMAR, Pradyuman. Maize—A potential source of human nutrition and health: A review. **Cogent Food e Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 01-09, 2016.
- SHANKO, Dula, et al. Effect of Different Salinity Levels on Maize (*Zea mays* L.) Genotypes During Germination. **INT J CURR SCI**, v. 19, n. 4, p. 52-61, 2016.
- SHARIF, Iram et al. Salinity stress in cotton: effects, mechanism of tolerance and its management strategies. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 25, n. 4, p. 807-820, 2019.
- SILVA, Rosemeire Carvalho da; GRZYBOWSKI, Camila Ribeiro de Souza; PANOBIANCO, Maristela. Vigor de sementes de milho: influência no desenvolvimento de plântulas em condições de estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 491-499, 2016.
- SILVA, José Raliuson Inácio et al. Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. **Brazilian Journal of Applied Technology**, v. 11, n. 3, p. 127-139, 2018.
- SILVA, A. P. F. et al. Produção de milho em diferentes profundidades de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 13, n. 4, p. 330-338, 2019a.
- SILVA, Laércio Junio da; MEDEIROS, André Dantas de; OLIVEIRA, Ariadne Morbeck Santos. SeedCalc, a new automated R software tool for germination and seedling length data processing. **Journal of Seed Science**, v. 41, n. 2, p. 250-257, 2019b.
- SILVEIRA, Joaquim A. G. et al. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GHEYI, Hans Raj et al.. **Manejo da salinidade na agricultura: estudo básico e aplicado**. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. cap. 13, p. 181-197.
- SUN, Zhuotao; HENSON, Cynthia A. A quantitative assessment of the importance of barley seed α -amylase, β -amylase, debranching enzyme, and α -glucosidase in starch degradation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 284, n. 2, p. 298-305, 1991.
- SZYPULSKA, Ewa; JANKOWSKI, Kamil; WEIDNER, Stanisław. ABA pretreatment can limit salinity-induced proteome changes in growing barley sprouts. **Acta Physiol Plant**, v. 39, n. 190, p. 01-18, 2017.
- TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6 ed. Artmed Editora, p. 8758, 2017.
- TEDESCO, Marino José, et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 1 ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TIDKE, S. D. et al. Effect of Drought and Salinity Stress on Physiological and Biochemical Parameters of Chickpea Varieties. **Trends in Biosciences**, v. 12, n. 16, p. 1031-1037, 2019.
- TONEL, Fernanda Reolon, et al. Salicylic acid: physiological and biochemical changes in seeds and maize seedling subjected to salt stress. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 4, p. 457-465, 2013.
- TOPPA, Eder Victor Braganti; BRAMBILLA, Wilian Polaco. O melhoramento de plantas e a salinidade dos solos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 1, p. 21-25, 2011.
- UÇARLI, Cüneyt. Effects of Salinity on Seed Germination and Early Seedling Stage. In: **Abiotic Stress in Plants**, cap. 11, p. 211-232, 2020.

VENTURA, Lorenzo et al. Understanding the molecular pathways associated with seed vigor. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 60, p. 196-206, 2012.

VIÇOSI, Karen Andreon et al. Estresse hídrico simulado em genótipos de feijão, milho e soja. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 5, p. 36-42, 2017.

WANG, Weiqin et al. Pre-sowing seed treatments in direct-seeded early rice: consequences for emergence, seedling growth and associated metabolic events under chilling stress. **Scientific reports**, v. 6, n. 1, p. 1-10, 2016.

WANG, Hongbin et al. Transcriptome profiling of mild-salt responses in *Lycium ruthenicum* early seedlings to reveal salinity-adaptive strategies. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 42, n. 4, p. 1-17, 2020.

WATERWORTH, Wanda M.; BRAY, Clifford M.; WEST, Christopher E. The importance of safeguarding genome integrity in germination and seed longevity. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 12, p. 3549-3558, 2015.

WEN, Daxing et al. Rapid evaluation of seed vigor by the absolute content of protein in seed within the same crop. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2018.

WENDT, Letícia et al. Relação entre testes de vigor com a emergência a campo em sementes de soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 166-171, 2017.

WILLADINO, Lilia; CAMARA, Terezinha. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia biosfera**, v. 6, n. 11, p. 01-23, 2010.

XIE, Xiulan et al. The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plant. **BioMed research international**, v. 2019, p. 0,1-11, 2019.

YADAV, O. P. et al. Genetic improvement of maize in India: retrospect and prospects. **Agricultural Research**, v. 4, n. 4, p. 325-338, 2015.

YADAV, Shiv Poojan et al. Impact of salt stress on growth, productivity and physicochemical properties of plants: A Review. **International Journal of Chemical Studies**, v. 7, n. 2, p. 1793-1798, 2019.

YAN, Dawei et al. The functions of the endosperm during seed germination. **Plant and Cell Physiology**, v. 55, n. 9, p. 1521-1533, 2014.

YIN, Shuangyi et al. Genetic and genomic analysis of the seed-filling process in maize based on a logistic model. **Heredity**, v. 124, n. 1, p. 122-134, 2020.

ZUCARELI, Claudemir et al. Nitrogen rates and side-dressing timing on sweet corn seed production and physiological potential. **Revista Caatinga**, v. 31, p. 344-351, 2018

8 ANEXOS

8.1 ANEXOS CAPÍTULO I

Tabela 9 - Resumo do quadro de análise de variância para a segregação do vigor. Resultados entre o fator lotes (F1), para as variáveis: germinação (G), e índice de vigor (IV).

FV	GL	G	IV
Lote (F1)	7	*	*
Erro	24		
Total	31		
CV.		1,89	2,55

Legenda: Fonte de variação (FV), Graus de liberdade (GL), Coeficiente de variação (CV.).*,**diferença significativa pelo teste F a 1% e 5%, respectivamente e “ns”: não significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 10 - Resumo do quadro de análise de variância para desempenho fisiológico de plântulas aos três dias após a semeadura (ambiente laboratorial). Resultados entre o fator vigor (F1), para as variáveis: comprimento da parte aérea (CPA), comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento total da plântula (CTP), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), e massa seca total da plântula (MSTP).

FV	GL	CPA	CSR	CTP	MSPA	MSSR	MSTP
Lote	1	*	*	*	*	*	*
Erro	30						
Total	31						
CV.		5,99	22,16	11,07	18,59	7,39	5,04

Legenda: Fonte de variação (FV), Graus de liberdade (GL), Coeficiente de variação (CV.).*,**diferença significativa pelo teste F a 1% e 5%, respectivamente e “ns”: não significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 11 - Desempenho fisiológico de plântulas aos três dias após a semeadura (ambiente laboratorial).

Vigor	CPA	CSR	CTP	MSPA	MSSR	MSTP
	----- mm -----			----- mg -----		
AV	13,52 a	53,98 a	67,50 a	5,10 a	11,24 a	16,34 a
BV	6,96 b	22,38 b	29,34 b	2,59 b	4,37 b	6,96 b

Legenda: CPA: comprimento da parte aérea; CSR: comprimento do sistema radicular; CTP: comprimento total da plântula; MSPA: massa seca parte aérea; MSSR: massa seca do sistema radicular; MSTP: massa seca total da plântula. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 12 - Resumo do quadro de análise de variância em relação a emergência a campo perante os 21 dias após a semeadura. Resultados entre o fator vigor (F1).

FV	GL	Emergência a Campo (EC)																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Lote	1	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Bloco	3	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
Erro	27																					
Total	31																					
CV.		0	0	0	0	11,35	15,40	9,87	8,92	8,52	8,27	7,75	7,56	7,39	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,25	7,11

Legenda: Fonte de variação (FV), Graus de liberdade (GL), Coeficiente de variação (CV.). *,**diferença significativa pelo teste F a 1% e 5%, respectivamente e “ns”: não significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 13 - Emergência a campo perante os 21 dias após a semeadura.

Vigor	Emergência a Campo (EC)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
AV	0 a	0 a	0 a	0 a	83 a	97 a	98 a	98 a	98 a	98 a	98 a	98 a	98 a	98 a	98 a	98 a	98 a	98 a	98 a	98 a	98 a
BV	0 a	0 a	0 a	0 a	1 b	26 b	55 b	67 b	73 b	75 b	76 b	77 b	77 b	77 b	77 b	77 b	77 b	77 b	77 b	77 b	77 b

Legenda: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 14 - Resumo do quadro de análise de variância em relação ao desempenho de plantas a campo aos 21 dias após a semeadura. Resultados entre o fator vigor (F1), para as variáveis: volume do sistema radicular (VSR), e diâmetro do colmo (DC).

FV	GL	VSR	DC
Lote	1	*	*
Bloco	3	Ns	Ns
Erro	27		
Total	31		
CV.		6,89	8,38

Legenda: Fonte de variação (FV), Graus de liberdade (GL), Coeficiente de variação (CV.). *,**diferença significativa pelo teste F a 1% e 5%, respectivamente e “ns”: não significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 15 - Desempenho fisiológico de plantas a campo aos 21 dias após a semeadura (condições de campo).

Vigor	VSR cm ³	DC (mm)
AV	2,97 a	8,17 a
BV	2,19 b	6,76 b

Legenda: VSR: volume do sistema radicular; DC: diâmetro do colmo. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 16 - Resumo do quadro de análise de variância em relação ao desempenho de plantas a campo aos 21 dias após a semeadura. Resultados entre o fator vigor (F1), para as variáveis: comprimento da parte aérea (CPA), comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento total da planta (CTP), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), e massa seca total da planta (MSTP).

FV	GL	CPA	CSR	CTP	MSPA	MSSR	MSTP
Lote	1	*	ns	*	*	*	*
Bloco	3	ns	ns	Ns	ns	ns	Ns
Erro	27						
Total	31						
CV.		9,15	16,94	10,02	15,29	1,97	15,52

Legenda: Fonte de variação (FV), Graus de liberdade (GL), Coeficiente de variação (CV.). *,**diferença significativa pelo teste F a 1% e 5%, respectivamente e “ns”: não significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 17 - Desempenho fisiológico de plantas a campo aos 21 dias após a semeadura (condições de campo).

Vigor	CPA ----- cm -----	CSR	CTP	MSPA	MSSR ----- g -----	MSTP
AV	48,74 a	18,01 a	66,75 a	0,846 a	0,132 a	0,979 a
BV	36,95 b	16,27 a	53,22 b	0,493 b	0,096 b	0,589 b

Legenda: CPA: comprimento da parte aérea; CSR: comprimento do sistema radicular; CTP: comprimento total da planta; MSPA: massa seca parte aérea; MSSR: massa seca do sistema radicular; MSTP: massa seca total da

planta. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

8.2 ANEXOS CAPÍTULO II

Tabela 18 - Resumo do quadro de análise de variância para a segregação do vigor e agrupamento em lotes de AV (alto vigor), e BV (baixo vigor): Resultados entre o fator vigor (F1), para as variáveis: primeira contagem germinação (PCG), envelhecimento acelerado (EA).

FV	GL	PCG	EA
Lote (F1)	7	*	*
Erro	24		
Total	31		
CV.		3,84	1,91

Legenda: Fonte de variação (FV), Graus de liberdade (GL). ns *,**diferença significativa pelo teste F a 1% e 5%, respectivamente e “ns”: não significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 19 - Resumo do quadro de análise de variância: Resultados entre o fator vigor (F1) e concentrações e/ou níveis de estresse salino (F2) para as variáveis: Primeira contagem de germinação (PCG), germinação (G), plântulas anormais (PA), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento total da plântula (CTP), massa seca da parte aérea (CPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), massa seca total da plântula (MSTP), número de raízes (NR), e taxa de mobilização das reservas da semente (TMRS).

FV	GL	PCG	G	PA	CPA	CSR	CTP	MSPA	MSSR	MSTP	NR	TMRS
F1	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
F2	4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
F1 x F2	4	*	*	ns	**	*	*	*	ns	*	ns	*
Erro	150											
Total	159											
CV.		27,75	9,14	36,06	8,13	6,53	5,47	6,83	7,52	5,27	17,34 8,20	7,57

Legenda: Fonte de variação (FV), Graus de liberdade (GL). *,**diferença significativa pelo teste F a 1% e 5%, respectivamente e “ns”: não significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 20 - Primeira contagem de germinação (PCG), germinação (G), plântulas anormais (PA), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento total da plântula (CTP), massa seca da parte aérea (CPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), massa seca total da plântula (MSTP), número de raízes (NR) e taxa de mobilização das reservas da semente (TMRS), de lotes de alto e baixo vigor sob diferentes concentrações de NaCl e/ou níveis de salinidade avaliados aos sete dias após a semeadura ou início do teste.

Var.	Vigor	NaCl (mmol.L ⁻¹)				
		0	50	100	150	200
PCG (%)	AV	94 a A	81 a A	51 a B	15 a C	2 a D
	BV	49 b A	32 b B	13 b C	5 b D	1 a D
G (%)	AV	98 a A	97 a A	96 a A	94 a A	87 a A
	BV	72 b A	77 b A	76 b A	68 b A	49 b B
PA (%)	AV	1 b B	2 b B	3 b B	5 b B	12 b A
	BV	13 a BC	9 a C	11 a BC	19 a B	33 a A
CPA (mm)	AV	100,89 aA	71,35 aB	42,33 aC	25,45 aD	14,85 aE
	BV	77,09 bA	57,77 bB	33,89 bC	20,04 bD	12,15 aE
CSR (mm)	AV	208,19 aA	79,57 aB	52,5 aC	40,94 aD	34,22 aE
	BV	169,05 bA	66,59 bB	43,95 bC	33,09 bD	27,46 bD
CTP (mm)	AV	309,08 aA	150,92 aB	94,83 aC	66,39 aD	49,07 aE
	BV	246,14 bA	124,36 bB	77,85 bC	53,13 bD	39,82 bE
MSPA (mg)	AV	33,24 aA	29,50 aB	18,42 aC	11,69 aD	6,85 aE
	BV	22,72 bA	18,40 bB	10,13 bC	7,35 bD	5,52 bE
MSSR (mg)	AV	35,42 aA	23,81 aB	20,05 aC	18,79 aCD	16,85 aD
	BV	23,23 bA	12,94 bB	9,81 bC	9,59 bC	10,41 bC
MSTP (mg)	AV	68,66 aA	53,31 aB	38,48 aC	30,48 aD	23,70 aE
	BV	45,95 bA	31,34 bB	19,94 bC	16,94 bD	15,94 bD
NR	AV	6,13 aAB	6,22 aA	6,31 aA	5,92 aAB	5,24 aB
	BV	5,30 bA	5,16 bA	4,84 bAB	4,49 bAB	4,05 bB
TMRS (%)	AV	24,35 aA	18,96 aB	13,75 aC	10,84 aD	8,47 aE
	BV	16,67 bA	11,35 bB	7,21 bC	6,12 bCD	5,83 bD

Legenda: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Minúsculas na coluna e maiúsculas na linha. Var: Variáveis; AV: Alvo vigor; BV: Baixo vigor

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

8.3 ANEXOS CAPÍTULO III

Tabela 21 - Resumo do quadro de análise de variância para a segregação do vigor em lote de AV (alto vigor), e BV (baixo vigor): Resultados entre o fator vigor (F1), para as variáveis: primeira contagem germinação (PCG), teste de frio (TF).

FV	GL	PCG	TF
Lote (F1)	1	*	*
Erro	6		
Total	7		
CV.		2,29	7,85

Legenda: Fonte de variação (FV), Graus de liberdade (GL). ns *, **diferença significativa pelo teste F a 1%.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 22 - Resumo do quadro de análise de variância: Resultados entre o fator vigor (F1) e estresse (F2), para as variáveis: primeira contagem germinação (PCG), e germinação (G).

FV	GL	PCG	G
Vigor (F1)	1	*	*
Estresse (F2)	1	*	ns
F1 x F2	1	*	ns
Erro	12		
Total	15		
CV.		3,03	1,61

Legenda: Fonte de variação (FV), Graus de liberdade (GL). ns *, **diferença significativa pelo teste F a 1% e 5%, respectivamente e “ns”: não significativo.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 23 - Resumo do quadro de análise de variância: Resultados entre o fator vigor (F1), estresse (F2) e dias após a semeadura (F3), para as variáveis fisiológicas: Comprimento da parte aérea (CPA), comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento total da plântula (CTP), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), e massa seca total da plântula (MSTP).

FV	GL	CPA	CSR	CTP	MSPA	MSSR	MSTP
F1	1	*	*	*	*	*	*
F2	1	*	*	*	*	*	*
F3	4	*	*	*	*	*	*
F1 x F2	1	*	*	*	ns	*	*
F1 x F3	4	*	*	*	*	*	*
F2 x F3	4	*	*	*	*	*	*
F1 x F2 x F3	4	*	*	*	*	*	*
Erro	60						
Total	79						
CV.		2,76	4,05	3,14	3,53	3,46	2,77

Legenda: Fonte de variação (FV), Graus de liberdade (GL). *,**diferença significativa pelo teste F a 1% e 5%, respectivamente e “ns”: não significativo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 24 - Resumo do quadro de análise de variância: Resultados entre o fator vigor (F1), estresse (F2) e dias após a semeadura (F3), para as variáveis bioquímicas do endosperma e escutelo: Proteína total (PT), proteína solúvel (PS), amido, açúcar solúvel total (AST), fitato, fosforo inorgânico (Pi), α Amilase e fitase.

FV	GL	PT	PS	Amido	AST	Fitato	Pi	α Amil.	Fitase
F1	1	ns	*	*	*	ns	*	*	**
F2	1	ns	*	*	*	*	*	*	*
F3	4	*	*	*	*	*	*	*	*
F1 x F2	1	*	ns	*	*	**	*	*	*
F1 x F3	4	*	*	*	*	ns	*	*	*
F2 x F3	4	**	*	*	*	**	*	*	*
F1 x F2 x F3	4	*	**	*	*	**	*	*	*
Erro	40								
Total	59								
CV.		0,92	4,52	2,12	3,96	18,70	1,81	3,06	6,59

Legenda: Fonte de variação (FV), Graus de liberdade (GL). *,**diferença significativa pelo teste F a 1% e 5%, respectivamente e “ns”: não significativo.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 25 - Resumo do quadro de análise de variância: Resultados entre o fator vigor (F1), estresse e/ ou plântula (F2) e dias após a semeadura (F3), para as variáveis bioquímicas do eixo embrionário: Proteína solúvel (PS), açúcar solúvel total (AST), e fosforo inorgânico (Pi).

FV	GL	PS	AST	Pi
F1	1	*	*	*
F2	1	*	*	ns
F3	4	*	*	*
F1 x F2	1	*	*	**
F1 x F3	4	*	*	*
F2 x F3	4	*	*	*
F1 x F2 x F3	4	*	**	*
Erro	40			
Total	59			
CV.		1,69	2,34	1,76

Legenda: Fonte de variação (FV), Graus de liberdade (GL). *,**diferença significativa pelo teste F a 1% e 5%, respectivamente e “ns”: não significativo.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 26 - Comprimento da parte aérea (CPA), comprimento do sistema radicular (CSR), comprimento total da plântula (CTP), massa seca da parte aérea (CPA), massa seca do sistema radicular (MSSR), massa seca total da plântula (MSTP), de lote de alto e baixo vigor sob situação controle (H₂O), e estresse salino (NaCl), em relação a dias após a semeadura (DAS).

H₂O (Controle)						
Var.	Vigor	DAS				
		0	2	4	6	8
CPA (mm)	AV	2,81 aE	5,29 aD	37,96 aC	93,94 aB	126,72 aA
	BV	2,91 aD	3,80 bD	16,72 bC	54,77 bB	90,06 bA
CSR (mm)	AV	2,81 aE	20,71 aD	101,21 aC	205,76 aB	249,95 aA
	BV	2,91 aD	3,82 bD	43,54 bC	126,98 bB	201,66 bA
CTP (mm)	AV	5,63 aE	25,99 aD	139,17 aC	299,69 aB	376,66 aA
	BV	5,82 aD	7,62 bD	60,26 bC	181,75 bB	291,72 bA
MSPA (mg)	AV	1,84 aE	3,31 aD	13,63 aC	29,30 aB	43,76 aA
	BV	2,09 aD	1,68 bD	5,88 bC	16,00 bB	27,40 bA
MSSR (mg)	AV	1,84 aE	3,97 aD	19,05 aC	37,62 aB	48,83 aA
	BV	2,09 aD	2,00 bD	8,09 bC	18,66 bB	28,10 bA
MSTP (mg)	AV	3,67 aE	7,28 aD	32,68 aC	66,92 aB	92,60 aA
	BV	4,17 aD	3,68 bD	13,97 bC	34,67 bB	55,50 bA
NaCl 100 mmol.L⁻¹ (Estresse Salino)						
Var.	Vigor	DAS				
		0	2	4	6	8
CPA (mm)	AV	2,81 aE	4,81 aD	14,21 aC	42,42 aB	78,45 aA
	BV	2,91 aD	3,47 bD	7,60 bC	23,59 bB	55,36 bA
CSR (mm)	AV	2,81 aD	12,16 aC	36,48 aB	45,35 aA	51,77 aA
	BV	2,91 aD	3,47 bD	20,96 bC	33,27 bB	40,67 bA
CTP (mm)	AV	5,63 aE	16,97 aD	50,69 aC	87,77 aB	130,21 aA
	BV	5,82 aD	6,95 bD	28,56 bC	56,86 bB	96,05 bA
MSPA (mg)	AV	1,84 aD	2,23 aD	7,63 aC	20,40 aB	36,88 aA
	BV	2,09 aD	1,38 aE	3,85 bC	8,57 bB	18,60 bA
MSSR (mg)	AV	1,84 aE	3,43 aD	9,95 aC	14,62 aB	20,50 aA
	BV	2,09 aD	2,43 bD	5,52 bC	7,61 bB	9,02 bA
MSTP (mg)	AV	3,67 aE	5,66 aD	17,58 aC	35,01 aB	57,38 aA
	BV	4,17 aD	3,82 bD	9,37 bC	16,18 bB	27,62 bA

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Minúsculas na coluna e maiúsculas na linha. Var: Variáveis; AV: Alvo vigor; BV: Baixo vigor

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 27 - Proteína total (PT), proteína solúvel (PS), amido, açúcar solúvel total (AST), fitato, fosforo inorgânico (Pi), α Amilase e fitase, de lote de alto e baixo vigor sob situação controle (H₂O), e estresse salino (NaCl), em relação a dias após a semeadura (DAS), no endosperma e escutelo.

H ₂ O (Controle)						
Var.	Vigor	DAS				
		0	2	4	6	8
PT (mg/g)	AV	96,16 aA	84,49 aB	77,93 bC	73,55 bD	66,26 bE
	BV	81,94 bA	80,85 bAB	80,85 aAB	80,85 aAB	77,93 aB
PS (mg/g MS)	AV	3,42 bE	4,94 aC	4,41 aD	5,46 aB	6,50 aA
	BV	3,93 aC	5,24 aA	3,66 bC	3,86 bC	4,49 bB
Amido (mg/g)	AV	674,00 aA	599,76 bB	554,92 bB	485,39 bC	381,89 bD
	BV	635,92 aA	652,76 aA	630,19 aA	615,05 aA	535,37 aB
AST (mg/g)	AV	25,00 aD	21,06 aD	79,16 aC	142,50 aB	261,84 aA
	BV	22,22 aC	9,73 bD	39,66 bB	66,44 bA	67,56 bA
Fitato	AV	5,43 aA	4,77 aAB	3,32 aBC	2,22 aC	0,44 aD
	BV	5,98 aA	3,40 bB	3,61 aB	2,14 aB	0,29 aC
Pi (g/Kg)	AV	0,08 aE	0,18 aD	0,66 aC	1,38 aB	2,44 aA
	BV	0,11 aD	0,13 aD	0,55 bC	1,11 bB	1,76 bA
α Amilase	AV	0,06 aC	0,53 aB	1,17 aA	1,18 aA	1,25 aA
	BV	0,06 aB	0,08 bB	1,03 aA	1,14 aA	1,05 bA
Fitase	AV	0,20 aE	1,25 aD	3,36 aC	5,42 aB	12,29 aA
	BV	0,12 aD	0,44 bD	3,96 aC	6,21 aB	8,92 bA
NaCl 100 mmol.L ⁻¹ (Estresse Salino)						
Var.	Vigor	DAS				
		0	2	4	6	8
PT (mg/g)	AV	96,16 aA	83,03 aB	76,47 bCD	76,84 bC	73,19 bD
	BV	81,94 bA	81,03 aA	80,66 aA	79,57 aAB	76,29 aB
PS (mg/g MS)	AV	3,42 bD	4,42 bC	5,03 aB	5,02 aB	5,71 aA
	BV	3,93 aB	5,35 aA	4,00 bB	3,13 bC	3,34 bC
Amido (mg/g)	AV	674,00 aA	656,44 aAB	624,38 aAB	606,30 aB	547,57 aC
	BV	635,92 aA	636,95 aA	609,68 aAB	590,57 aAB	566,39 aB
AST (mg/g)	AV	25,00 aD	25,32 aD	59,88 aC	100,73 aB	143,22 aA
	BV	22,22 aD	21,37 aD	40,66 bC	55,12 bB	86,34 bA
Fitato	AV	5,43 aA	3,33 bB	3,63 aB	2,86 aB	1,34 aC
	BV	5,98 aA	4,70 aAB	3,63 aB	3,63 aB	1,73 aC

Pi (g/Kg)	AV	0,08 aE	0,16 aD	0,40 aC	0,67 aB	1,13 aA
	BV	0,11 aD	0,12 aD	0,37 aC	0,66 aB	1,14 aA
α Amilase	AV	0,06 aD	0,56 aC	0,78 aB	0,87 bAB	1,02 bA
	BV	0,06 aC	0,09 bC	0,87 aB	1,21 aA	1,25 aA
Fitase	AV	0,20 aE	1,02 aD	1,79 aC	2,08 bB	3,21 bA
	BV	0,12 aC	0,31 bC	2,15 aB	5,89 aA	6,35 aA

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Minúsculas na coluna e maiúsculas na linha. Var: Variáveis; AV: Alvo vigor; BV: Baixo vigor

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

Tabela 28 - Proteína solúvel (PS), açúcar solúvel total (AST), fosforo inorgânico (Pi), de lote de alto e baixo vigor sob situação controle (H₂O), e estresse salino (NaCl), em relação a dias após a semeadura (DAS), no eixo embrionário e/ ou na plântula.

		H₂O (Controle)				
Var.	Vigor	DAS				
		0	2	4	6	8
PS (mg/g MS)	AV	176,44 aA	66,03 bB	16,91 bD	20,23 bC	17,93 bD
	BV	129,49 bA	123,81 aA	65,54 aB	27,22 aD	31,32 aC
AST (mg/g)	AV	268,83 aB	230,90 aC	336,31 aA	329,02 aA	269,41 aB
	BV	253,83 aA	151,17 bB	249,30 bA	266,83 bA	247,55 bA
Pi (g/Kg)	AV	0,25 bD	4,19 aC	6,30 bA	4,58 bB	4,63 bB
	BV	0,47 aD	2,34 bC	6,91 aA	6,89 aA	5,50 aB
		NaCl 100 mmol.L⁻¹ (Estresse Salino)				
Var.	Vigor	DAS				
		0	2	4	6	8
PS (mg/g MS)	AV	176,44 aA	95,28 aB	44,66 aC	35,89 bD	24,56 aE
	BV	129,49 bA	85,38 bB	45,09 aC	41,67 aC	20,44 bD
AST (mg/g)	AV	268,83 aAB	186,00 aC	197,42 aC	242,60 aB	283,97 aA
	BV	253,83 aAB	123,57 bD	174,90 bC	234,19 aB	274,86 aA
Pi (g/Kg)	AV	0,25 bE	3,06 aD	6,48 aA	5,47 bB	5,06 bC
	BV	0,47 aC	1,72 bB	6,66 aA	6,39 aA	6,26 aA

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Minúsculas na coluna e maiúsculas na linha. Var: Variáveis; AV: Alvo vigor; BV: Baixo vigor

Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.