

EFEITO DO ARMAZENAMENTO NA VIABILIDADE E VIGOR DE SEMENTES DE
MILHO-PIPOCA SUBMETIDAS AO ESTRESSE SALINO

ANGÉLICA COUTO CORRÊA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
JULHO – 2025

EFEITO DO ARMAZENAMENTO NA VIABILIDADE E VIGOR DE SEMENTES DE
MILHO-PIPOCA SUBMETIDAS AO ESTRESSE SALINO

ANGÉLICA COUTO CORRÊA

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual
do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das
exigências para obtenção do título de Mestre em
Produção Vegetal”

Orientador: Prof. Dr. Henrique Duarte Vieira

Coorientadora: Dra. Rosenilda de Souza

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ

JULHO – 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

C824

Corrêa, Angélica Couto.

EFEITO DO ARMAZENAMENTO NA VIABILIDADE E VIGOR DE SEMENTES DE MILHO-PIPOCA SUBMETIDAS AO ESTRESSE SALINO / Angélica Couto Corrêa. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2025.

77 f. : il.

Inclui bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2025.
Orientador: Henrique Duarte Vieira.

1. Zea mays L.. 2. salinidade. 3. germinação de sementes. 4. vigor de plântulas. 5. estresse abiótico. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

EFEITO DO ARMAZENAMENTO NA VIABILIDADE E VIGOR DE SEMENTES DE MILHO-PIPOCA SUBMETIDAS AO ESTRESSE SALINO

ANGÉLICA COUTO CORRÊA

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”

Aprovada em 24 de julho de 2025

Comissão examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **MARCUS VINICIUS SANDOVAL PAIXAO**
Data: 22/10/2025 19:03:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Marcus Vinicius Sandoval Paixão (D.Sc. Produção Vegetal) – IFES

Documento assinado digitalmente
 **ALEXANDRE PIO VIANA**
Data: 22/10/2025 17:30:23-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Alexandre Pio Viana (D.Sc. Produção Vegetal) – UENF

Documento assinado digitalmente
 **ROSENILDA DE SOUZA**
Data: 22/10/2025 15:48:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Rosenilda de Souza (D.Sc., Ciências) – INCAPER

Documento assinado digitalmente
 **HENRIQUE DUARTE VIEIRA**
Data: 22/10/2025 15:39:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Henrique Duarte Vieira (D.Sc. Produção Vegetal) – UENF
(Orientador)

Dedico este trabalho a Deus, que mesmo diante às adversidades, sempre se mostrou presente e me fez chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, minha gratidão a Deus por cada bênção derramada em minha vida;

Sou imensamente grata à Dra. Rosenilda de Souza pela eterna amizade e ao Professor Dr. Henrique Duarte Vieira, que carinhosamente me acolheu de volta ao laboratório;

Meu muito obrigada também ao meu amigo Professor Dr. Marcus Vinicius Sandoval Paixão, o maior influenciador para minha jornada no mestrado;

E, por fim, todo meu amor e gratidão ao meu esposo Felipe Teixeira Feitosa por ser meu porto seguro.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo Geral	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1 O milho-pipoca (<i>Zea mays</i> L. var. everta)	5
3.2 Armazenamento na germinação em sementes	7
3.3 Efeito do estresse salino na cultura do milho-pipoca	9
4. METODOLOGIA	14
4.1 Local da pesquisa	14
4.2 Material vegetal	14
4.3 Armazenamento das sementes	14
4.4 Condução experimental	14
4.5 Caracteres avaliados	16
4.5.1 Porcentagem de germinação	16
4.5.2 Índice de velocidade de germinação	16
4.5.3 Biometria das plântulas	17
4.5.4 Massa seca da parte aérea e da raiz das plântulas	17
4.5.5 Índice de tolerância ao estresse salino	17
4.5.6 Análise estatística	18
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1 Efeito do armazenamento no desempenho das linhagens em ambiente SEM estresse salino	20
5.2 Efeito do armazenamento no desempenho das linhagens em ambiente COM estresse salino	44
5.3 Índice de Tolerância ao Estresse – Salino (sem armazenamento e com armazenamento)	58
5.4. Índice de Tolerância ao Estresse – Armazenamento (sem estresse salino e com estresse salino)	61
5.5. Comportamento das características sob estresse salino e de armazenamento	65
6. CONCLUSÃO	69
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

RESUMO

CORRÊA, ANGÉLICA COUTO; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; julho de 2025; Efeito do armazenamento na viabilidade e vigor de sementes de milho-pipoca submetidas ao estresse salino; Orientador: Prof. Dr. Henrique Duarte Vieira. Coorientadora: Dra. Rosenilda de Souza.

O milho-pipoca (*Zea mays* L.) possui relevância crescente no Brasil, no entanto, ainda carece de cultivares adaptadas aos estresses abióticos, como a salinidade. Tal fator afeta a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas. Além disso, o armazenamento inadequado pode acelerar a deterioração das sementes. Para investigar esses impactos, o objetivo deste trabalho foi estudar o efeito do armazenamento de sementes sob a germinação e desenvolvimento inicial de linhagens de milho-pipoca submetidas ao estresse salino. O estudo foi conduzido no Laboratório de Fitotecnia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes-RJ, utilizando sementes de 24 linhagens endogâmicas de milho-pipoca do Banco de Germoplasma da UENF. As sementes foram armazenadas por 24 meses a 10°C e avaliadas no início e final do armazenamento sob duas condições de germinação: sem estresse salino (água deionizada) e com estresse salino (concentração de 100,00 mM de NaCl). Os experimentos foram realizados em blocos casualizados, com quatro repetições de 25 sementes. Avaliou-se a porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação, biometria de plântulas, massa seca da parte aérea e da raiz, e o índice de tolerância ao estresse salino. Os dados foram submetidos à análise estatística individual e conjunta com o *software* Genes. O armazenamento por 24 meses preservou a viabilidade das sementes, mas comprometeu variáveis fisiológicas, especialmente sob estresse salino, onde a germinação foi significativamente reduzida. A deterioração fisiológica foi evidenciada pela redução no índice de velocidade de germinação, comprimento total das plântulas e massa seca da parte aérea. A resposta ao armazenamento e ao estresse salino variou entre as 24 linhagens, indicando forte influência genética. O genótipo L510 demonstrou elevada tolerância ao armazenamento em ambas as condições (com e sem estresse salino). Os resultados apontam a importância de considerar tanto a qualidade fisiológica inicial das sementes quanto sua estabilidade durante o armazenamento na seleção

de genótipos para uso comercial. Além disso, pode-se destacar a relevância de estudos voltados à interação entre fatores ambientais e genéticos na definição do desempenho inicial da cultura.

Palavras-chave: *Zea mays* L.; salinidade; germinação de sementes; vigor de plântulas; estresse abiótico.

ABSTRACT

CORRÊA, ANGÉLICA COUTO; M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; julho de 2025; Effect of storage on the validity and vigor of popcorn seeds subjected to saline stress; Adviser: Prof. D.Sc. Henrique Duarte Vieira. Co-Adviser: D.Sc. Rosenilda de Souza.

Popcorn maize (*Zea mays* L.) is becoming increasingly relevant in Brazil; however, it still lacks cultivars adapted to abiotic stresses such as salinity, which impair seed germination and early seedling development. Moreover, improper storage can accelerate seed deterioration. This study aimed to evaluate the effects of seed storage on the germination and early development of popcorn maize inbred lines under salt stress. The experiment was conducted at the Plant Science Laboratory of the Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes-RJ, using seeds from 24 inbred lines from the UENF Germplasm Bank. Seeds were stored for 24 months at 10 °C and evaluated at the beginning and end of storage under two germination conditions: without salt stress (deionized water) and with salt stress (100 mM NaCl). A randomized block design was used, with four replications of 25 seeds. Germination percentage, germination speed index, seedling biometrics, shoot and root dry mass, and salt stress tolerance index were assessed. Seed storage for 24 months preserved viability but impaired physiological traits, especially under salt stress, where germination was significantly reduced. Physiological deterioration was evidenced by reduced germination speed, seedling length, and shoot dry mass. Responses to storage and salt stress varied among the 24 lines, indicating a strong genetic influence. Genotype L510 showed high tolerance to storage under both conditions (with and without salt stress). These findings highlight the importance of considering both the initial physiological quality and storage stability of seeds in the selection of genotypes for commercial use, and emphasize the role of environmental and genetic interactions in determining early crop performance.

Keywords: *Zea mays* L.; salinity; seed germination; seedling vigor; abiotic stress.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é considerado a segunda cultura mais cultivada no mundo e é uma das principais espécies de cereais responsável por constituir boa parte da alimentação para grande parte da população mundial (De Souza et al., 2020). Considera-se que a América Latina seja o berço do milho, tanto em sua origem quanto em sua diversidade. Nessa região ainda é comum o cultivo de variedades crioulas, que são populações geneticamente diversas, cultivadas ao longo do tempo em condições locais específicas sendo fortemente ligadas às práticas agrícolas tradicionais (Guzzon et al., 2021). No Brasil, o milho é considerado fundamental para segurança alimentar e economicamente relevante para o suprimento como commodity no setor agrícola mundial (Beling, 2024).

Dentre os vários tipos de milho cultivados nacionalmente, o milho-pipoca (*Zea mays* var. *everta*) representa um tipo especial de milho cultivado para o consumo humano e valorizado por sua capacidade de estourar devido a uma pressão formada dentro do grão ao ser aquecido a aproximadamente 180 °C (Rodrigues et al., 2018; Swarnakar et al., 2022).

No Brasil, o milho-pipoca ganha espaço tanto pelo crescimento da demanda da indústria alimentícia e do setor de entretenimento quanto pelo aumento das exportações. Além de sua importância significativa na economia nacional, destaca-se como fonte de fibras, antioxidantes e energia (De Souza et al., 2021). Além disso, o produto final é comercializado em volume, o que permite maior agregação de valor e, conseqüentemente, maior lucratividade (Amaral Júnior et al., 2010). Assim, o milho-pipoca se consolida como uma cultura estratégica, tanto para o agronegócio brasileiro quanto para o mercado de alimentos saudáveis e de rápido consumo.

O Brasil é o segundo maior produtor e exportador de milho-pipoca, atrás apenas dos Estados Unidos. Esse crescimento é resultado do melhoramento genético e da tecnificação das áreas de cultivo, com destaque para o estado do Mato Grosso, seguido por Paraná e Mato Grosso do Sul (Kist et al., 2024; FAO, 2025). Na safra 2024/25, o milho ocupou cerca de 3,77 milhões de hectares, com produtividade média de 6.610 kg/ha, o que resultou em uma produção estimada de 24,94 milhões de toneladas (Conab, 2025). Aproximadamente metade da produção

é destinada à exportação, reforçando sua importância estratégica para a balança comercial agrícola brasileira. Por ser voltado exclusivamente ao consumo humano, esse tipo de milho exige padrões rigorosos de qualidade, como teor de umidade entre 13 e 14% e baixo índice de piruás (grãos que não estouram) (Sawazaki, 2001; Paraginski et al., 2015).

Os grãos de milho-pipoca possuem características que determinam sua qualidade comercial e capacidade de expansão — principal atributo valorizado pelo mercado, sendo influenciados por fatores como teor de umidade (ideal entre 13% e 14%), integridade do pericarpo, teor de amido vítreo e densidade aparente. Estudos demonstram que condições inadequadas de armazenamento, como temperaturas superiores a 20°C e umidade relativa acima de 65%, promovem deterioração, fissuras no pericarpo e redução da capacidade de expansão, comprometendo o valor comercial e a aceitação pelo consumidor. O manejo pós-colheita adequado, incluindo secagem eficiente e armazenamento em ambientes com controle térmico e de umidade, é essencial para preservar a qualidade física e nutricional dos grãos (Paraginski, 2014; Coradi et al., 2015; Ziegler; Paraginski; Ferreira, 2021).

Atualmente, as mudanças climáticas têm acentuado diversos fatores responsáveis pelos estresses abióticos, como o déficit hídrico, as altas temperaturas, a radiação solar excessiva e a salinidade. Esses elementos representam um dos principais desafios à produtividade do milho, incluindo o milho-pipoca, pois afetam diretamente processos fisiológicos essenciais, como a fotossíntese, a respiração e a absorção de nutrientes. Tais condições ambientais adversas reduzem o potencial produtivo das plantas ao exigir que elas redirecionem energia para mecanismos de defesa, como a produção de osmólitos e antioxidantes, em detrimento do crescimento e do enchimento de grãos (Souza; Barbosa, 2015). No caso do milho-pipoca, o impacto é ainda mais significativo, pois, além da redução no número e no peso dos grãos, ocorre o comprometimento da formação do pericarpo e da deposição de amido, o que prejudica diretamente a capacidade de expansão — atributo essencial para a qualidade comercial desse tipo de milho (Paraginski, 2015).

Dentro desse contexto, o programa de melhoramento genético de milho-pipoca da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UNEF) tem se destacado ao realizar pesquisas inovadoras sobre os impactos de estresses bióticos e abióticos na cultura (Carvalho et al., 2023; Corrêa et al., 2025; De Lima et

al., 2019; de Lima et al., 2021; Kamphorst et al., 2018, 2020, 2021, 2022; Leite et al., 2022; Santos et al., 2021; Y. P. Souza et al., 2025; Viana et al., 2022). Apesar dos avanços realizados, ainda não foram desenvolvidos estudos detalhados sobre como as sementes de milho-pipoca respondem à interação entre condições de armazenamento e estresse salino. Para preencher essa lacuna, o presente trabalho propõe investigar os efeitos dessa interação na germinação e no desenvolvimento inicial de diferentes linhagens de milho-pipoca, buscando contribuir com estratégias que aprimorem a tolerância da cultura às condições adversas e promovam sua sustentabilidade produtiva.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito do armazenamento de sementes sobre a germinação e desenvolvimento inicial de linhagens de milho-pipoca (*Zea mays* L.) submetidas ao estresse salino.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a qualidade fisiológica de sementes de milho-pipoca após o armazenamento por 24 meses;
- Avaliar o efeito do armazenamento na tolerância do milho-pipoca ao estresse salino na fase inicial de desenvolvimento das plântulas;
- Investigar se o armazenamento das sementes causa efeito significativo de interação genótipo x estresse salino;
- Estimar o Índice de Tolerância ao Estresse de linhagens de milho-pipoca antes e depois do armazenamento;
- Identificar genótipos de milho-pipoca tolerantes ao estresse salino na fase inicial de desenvolvimento após o armazenamento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O milho-pipoca (*Zea mays* L. var. *everta*)

O milho-pipoca (*Zea mays* L. var. *everta*), pertencente à família Poaceae, subfamília Panicoideae, tribo Maydeae, destaca-se por sua notável capacidade de expansão, fenômeno diretamente relacionado à estrutura de seu pericarpo altamente resistente que, quando rompido, expõe o endosperma resultando na pipoca (Silva et al., 1993). Durante o processo de aquecimento, a umidade contida no interior do grão, aliada à presença de óleos e à rigidez do pericarpo, permite o acúmulo de pressão interna até, aproximadamente, 180 °C, momento em que o grão se rompe, promovendo a característica explosão que origina a pipoca. A origem da cultura do milho-pipoca remonta à Mesoamérica, onde o processo de domesticação teve início há cerca de 9 mil anos, a partir do teosinto, uma gramínea silvestre reconhecida como o ancestral do milho moderno (Guimarães et al., 2025).

Evidências arqueológicas confirmam que os grãos de milho-pipoca já eram utilizados por povos indígenas das Américas em práticas alimentares e rituais cerimoniais muito antes da chegada dos colonizadores europeus. No território brasileiro, a introdução do milho ocorreu por rotas migratórias pré-coloniais, especialmente pela região da Amazônia Ocidental sendo, posteriormente, adaptado e selecionado de forma empírica em diferentes ecossistemas agrícolas ao longo de séculos (Costa et al., 2024).

A domesticação e evolução do milho-pipoca envolveram seleção natural e artificial de caracteres como tamanho reduzido de espigas, endosperma vítreo e pericarpo espesso, que favorecem a explosão dos grãos ao serem aquecidos. Essa diversidade genética é mantida principalmente por populações tradicionais e bancos de germoplasma, e representa uma fonte importante de alelos para o melhoramento de características agrônômicas e tecnológicas (Dalla-Costa et al., 2018).

Apesar da destinação do milho-pipoca exclusiva para o consumo humano, este milho especial destaca-se como uma cultura de elevada rentabilidade, cuja demanda vem crescendo em diversas regiões do Brasil, impulsionada por sua ampla aceitação popular. Esse cenário tem refletido diretamente na expansão da área

cultivada e no volume de produção, posicionando o Brasil como o segundo maior produtor mundial de milho-pipoca. A produção de milho-pipoca mais que dobrou nos últimos 20 anos e estima-se que em 2023 a produção de milho-pipoca no país foi de, aproximadamente, 300 mil toneladas, enquanto os Estados Unidos da América, o maior produtor mundial, produziram cerca de 375 mil toneladas desse grão especial (Caranhato et al., 2022; Guimarães et al., 2025). Em 2024 houve um aumento na produção com a área cultivada de 85 mil hectares, com uma produtividade média de 85 sacas por hectare, resultando em uma safra estimada de 382,5 mil toneladas (Conab, 2024).

No que diz respeito à seleção de materiais superiores, a Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) destaca-se, no Brasil, como referência no melhoramento de milho-pipoca. Entre suas contribuições mais expressivas está o desenvolvimento da população UENF 14 (Amaral Júnior et al., 2013), aprimorada ao longo de nove ciclos de seleção, mantendo a variabilidade genética mesmo após múltiplas gerações (Guimarães et al., 2019). A UENF também inovou ao desenvolver o híbrido UENF WS01, o primeiro híbrido nacional de milho-pipoca com comprovada tolerância ao déficit hídrico e aos baixos níveis de nitrogênio. Este material foi projetado para oferecer estabilidade produtiva em cenários de crescente variabilidade climática, atendendo às demandas por cultivares adaptadas aos estresses abióticos (Lima et al., 2019; Schmitt et al., 2024).

Além da tolerância à seca, destaca-se a seleção de genótipos eficientes no uso de nutrientes, com o lançamento de híbridos UENF N01, N02 e N03, com elevado uso de nitrogênio, e UENF P01, P02 e P03, eficientes no uso de fósforo, todos registrados no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Esses híbridos foram desenvolvidos com base em estudos proteômicos e agronômicos voltados para o uso otimizado de nutrientes (Barboza Bispo et al., 2024; Santos et al., 2025).

No entanto, a literatura sobre a tolerância de sementes de milho-pipoca à salinidade ainda é incipiente, revelando uma lacuna científica importante. A busca por genótipos com maior resistência a esse estresse representa uma nova linha de investigação, que se justifica pela necessidade de garantir o vigor, a germinação e a emergência uniforme das plantas, mesmo sob condições de solos salinos. Nesse sentido, estudos que avaliem os efeitos da salinidade sobre a qualidade fisiológica das sementes de milho-pipoca são fundamentais com o objetivo de ampliar o conhecimento e fornecem novos subsídios ao programa de melhoramento de

milho-pipoca UENF.

3.2 Armazenamento na germinação em sementes

O armazenamento é uma etapa fundamental no processo produtivo e suas condições influenciam a velocidade de deterioração das sementes, pois combina fatores intrínsecos e extrínsecos que influenciam diretamente a qualidade fisiológica. Entre os fatores intrínsecos, destacam-se o teor de óleo, a permeabilidade do tegumento e o potencial genético; contudo, são as condições ambientais — especialmente temperatura, umidade e atmosfera de armazenamento — que exercem maior efeito sobre a longevidade das sementes. Em ambientes inadequados, mesmo sementes inicialmente vigorosas podem apresentar uma redução substancial na taxa de germinação. Em contrapartida, condições controladas são capazes de prolongar significativamente sua viabilidade (Abadía et al., 2024; Medeiros e Da Eira, 2006; Suma et al., 2013).

A temperatura é um dos principais fatores ambientais que afetam a longevidade das sementes. Altas temperaturas aceleram o metabolismo celular, favorecendo a degradação de reservas energéticas essenciais para a germinação (Labrot-Rhodes et al., 2025). Além disso, temperaturas elevadas aumentam a taxa de respiração das sementes e favorecem a atividade de microrganismos que causam deterioração (Bhandari et al., 2017). Recentes estudos indicaram que a temperatura no armazenamento de sementes de milho tem bastante influência na taxa de germinação e refletem significativamente na qualidade fisiológica (García-Lara et al., 2020; Williams et al., 2017).

Além da temperatura, a umidade relativa do ambiente é outro fator determinante para o armazenamento seguro, capaz de limitar a deterioração da viabilidade das sementes. O teor de água na semente, diretamente influenciado pela umidade do ar, afeta sua respiração, atividade enzimática e suscetibilidade ao ataque de microrganismos (Shalaby; Shahein, 2021). Quando armazenadas com teores de água superiores a 14%, as sementes tornam-se mais vulneráveis à deterioração oxidativa e ao ataque de microrganismos e pragas, reduzindo drasticamente a germinação (Krzyzanowski et al., 2022).

A capacidade de armazenamento das sementes também varia conforme fatores fisiológicos e bioquímicos próprios de cada espécie (Wang et al., 2022).

Elementos como o genótipo, o grau de maturação, o tipo de dormência e a composição das reservas nutricionais são determinantes na longevidade das sementes. Sementes que atingem a maturidade fisiológica e apresentam dormência física demonstram maior resistência ao armazenamento prolongado, enquanto sementes imaturas ou com dormência fisiológica são mais suscetíveis à deterioração. Quanto ao conteúdo de reservas, sementes amiláceas apresentam maior capacidade de conservação quando comparadas às aleuro-amiláceas e, sobretudo, às oleaginosas, que possuem as menores taxas de armazenabilidade devido ao alto teor de lipídios. Adicionalmente, sementes classificadas como ortodoxas, que toleram a dessecação e podem ser armazenadas em temperaturas abaixo de zero, destacam-se por sua maior longevidade, diferentemente daquelas com comportamento intermediário ou recalcitrante (Salomão et al., 2021).

No caso específico do milho (*Zea mays* L.), pesquisas recentes têm demonstrado que o armazenamento em temperaturas controladas e em embalagens com atmosfera reduzida proporciona ganhos significativos na preservação da qualidade. Em um estudo conduzido por Capilheira et al. 2024, sementes armazenadas a 10°C e 40% de umidade relativa, em embalagens herméticas, apresentaram aumento de 1,18 a 1,35 vezes na germinação e vigor após seis meses, em comparação às sementes armazenadas em condições ambientes.

Quanto ao milho-pipoca, embora existam menos estudos específicos, os dados disponíveis apontam para efeitos semelhantes aos observados no milho comum. Em uma pesquisa realizada por (Katta e Bullerman, 1995), o armazenamento de milho-pipoca a 35°C e 85% de umidade relativa impediu a infestação de alguns fungos tóxicos. Mais recentemente, Medlalose et al. (2021) destacaram a importância do uso de embalagens herméticas para a manutenção da qualidade de sementes de milho, reduzindo as perdas fisiológicas durante o armazenamento prolongado.

O armazenamento de sementes é um dos pilares da agricultura moderna, garantindo que a viabilidade e o vigor das sementes sejam preservados ao longo do tempo. A forma como as sementes são armazenadas pode determinar o sucesso de uma safra, influenciando diretamente sua capacidade de germinação e estabelecimento no campo. Fatores como temperatura, umidade desempenham papéis cruciais nesse processo, podendo acelerar ou retardar a deterioração das sementes (Angelovič et al., 2018). Estratégias eficientes de armazenamento não

apenas prolongam a vida útil das sementes, mas também contribuem para a segurança alimentar e a sustentabilidade agrícola.

A longevidade das sementes depende de um conjunto de fatores inter-relacionados, onde temperatura e teor de água desempenham papel central. Para sementes de milho e milho-pipoca, a adoção de estratégias como o armazenamento em ambientes refrigerados e o monitoramento constante das condições de estocagem são fundamentais para garantir o sucesso na fase de germinação e o estabelecimento de lavouras produtivas.

Dessa forma, é evidente que o sucesso na preservação da qualidade fisiológica de sementes de milho-pipoca depende diretamente de fatores como temperatura controlada, baixa umidade relativa e utilização de ambientes apropriados. O manejo correto dessas variáveis, aliado ao conhecimento das características intrínsecas das sementes, contribui significativamente para reduzir perdas e garantir maior eficiência no processo produtivo agrícola.

3.3 Efeito do estresse salino na cultura do milho-pipoca

O desafio enfrentado pelo setor agrícola, tanto atualmente quanto no futuro próximo, consiste em assegurar um abastecimento contínuo de alimentos para a crescente população mundial, que demanda cultivos de alto rendimento capazes de manter a produtividade mesmo sob condições ambientais cada vez mais variáveis e adversas (Filipe et al., 2023; Ghosh et al., 2025; Reed et al., 2022). Dentre os fatores que ameaçam a manutenção da produtividade agrícola em cenários de crescente variabilidade ambiental, destaca-se o impacto de estresses abióticos sobre as fases iniciais de desenvolvimento das culturas, especialmente a germinação.

A germinação das sementes representa uma das fases mais sensíveis e determinantes do ciclo de vida das plantas, sendo crucial para o estabelecimento inicial e o desempenho produtivo das culturas agrícolas (Da Cruz et al., 2019). Durante essa etapa, as sementes são altamente vulneráveis às condições adversas do ambiente, destacando-se a salinidade do solo como um dos principais fatores abióticos limitantes. O estresse salino afeta negativamente tanto a capacidade de germinação quanto o vigor inicial das plântulas, comprometendo o estande de plantas no campo e, conseqüentemente, a produtividade final das culturas (Ghosh et al., 2025; Khan et al., 2022).

Os efeitos adversos da salinidade provocam profundas alterações no metabolismo fisiológico e bioquímico durante a germinação das sementes, impedindo a correta mobilização de reservas energéticas e comprometendo o estabelecimento inicial das plântulas. Esses efeitos deletérios são resultado de uma combinação de estresse osmótico e iônico. Inicialmente, o aumento da concentração de sais reduz o potencial hídrico, dificultando a absorção de água pelas sementes e retardando ou inibindo o processo de embebição, etapa fundamental para a ativação metabólica que antecede a emergência da radícula. Além disso, o acúmulo de íon em níveis tóxicos de sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-), interfere diretamente no equilíbrio nutricional e no metabolismo celular, promovendo danos às membranas e reduzindo a atividade de enzimas-chave envolvidas na mobilização de reservas (Hannachi e Van Labeke, 2018). Como consequência, observa-se não apenas a redução das taxas de germinação, mas também a formação de plântulas com baixo vigor, menor desenvolvimento radicular e reduzida capacidade de adaptação às condições subsequentes do ambiente de cultivo.

A intensificação desses efeitos decorre, principalmente, do acúmulo excessivo de íons Na^+ nas células vegetais sob condições salinas, o que causa danos diretos às membranas celulares. Esse estresse iônico resulta em desbalanceamento da estrutura lipídica e da permeabilidade, evidenciado por aumento da condutância e peroxidação lipídica, importantes indicadores de perda de integridade da membrana (Islam et al., 2015; Aydinoglu et al., 2023; Islam et al., 2024). Simultaneamente, ocorre substituição massiva de íon potássio (K^+) por sódio (Na^+), uma mudança que perturba balanceamentos osmóticos críticos, compromete a atividade de enzimas dependentes de K^+ e deteriora funções de sinalização celular (Islam et al., 2024). Paralelamente, a desregulação iônica promove alterações na conformação proteica, fazendo com que muitas proteínas percam a estrutura tridimensional funcional, as quais são vitais para atividades metabólicas que favorecem acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS) e desencadeiam resposta proteolítica (Athar et al., 2022; Farooq et al., 2015).

A cultura do milho é considerada moderadamente sensível ao estresse salino, dessa forma, ao longo de seu ciclo, a planta pode sofrer prejuízos em processos fisiológicos que acontecem em diferentes fases e em praticamente todas as suas partes quando exposta ao aumento da concentração de sais no ambiente, o que acarreta a redução da produtividade (Zaidi et al., 2022; Aydinoglu et al., 2023; Islam

et al., 2024). Em estudo com variedades de milho-pipoca e milho, conduzidos sob condições de salinidade de 25 a 100 mM de NaCl, Idikut et al. (2012) demonstraram que o aumento da concentração de sal até 50 mM de NaCl não teve efeitos significativos na velocidade de germinação, na taxa de germinação e no comprimento do coleóptilo, mas quando a concentração aumentou para 100 mM de NaCl, causou diminuição na velocidade de germinação, na taxa de germinação, no índice de vigor, no comprimento da radícula, no comprimento do coleóptilo e no comprimento da plúmula. Confirmando que salinidades moderadas a elevadas dificultam tanto a emergência quanto o vigor inicial de plântulas de milho-pipoca, refletindo diretamente no sucesso do seu estabelecimento.

Nesse cenário, a seleção de genótipos superiores tem se consolidado como uma estratégia eficiente no desenvolvimento de variedades de milho-pipoca com melhor desempenho sob estresse salino. Um estudo brasileiro conduzido por Moterle et al. (2006) reforça essa perspectiva, ao avaliar três cultivares (IAC 112, Zélia e BRS Ângela) sob estresse salino e hídrico durante a germinação. A pesquisa evidenciou significativa variabilidade genética entre as linhagens: enquanto as cultivares IAC 112 e Zélia apresentaram reduções expressivas nas taxas de germinação, a BRS Ângela demonstrou maior resistência, com melhores percentuais de germinação, vigor radicular e número de plântulas normais. Reforçando que, mesmo dentro da variedade milho-pipoca, há diferenças genéticas relacionadas à maior plasticidade que podem ser exploradas nos programas de melhoramento visando a tolerância ao estresse salino.

Corroborando esses achados, estudos desenvolvidos por Souza et al. (2014) e Ricardi e Rosa (2018) destacam os impactos da salinidade no desenvolvimento inicial de plântulas em diferentes tipos de milho. Souza et al. (2014) observaram que o aumento da salinidade reduziu significativamente a altura de plantas, o diâmetro do colmo e a massa seca da parte aérea e das raízes, sendo o milho-pipoca mais sensível ao estresse quando comparado ao milho-doce. De forma semelhante, Ricardi e Rosa (2018), ao analisarem altura de plantas, massa seca da parte aérea e massa seca de raízes, também identificaram reduções lineares nessas variáveis com o aumento da salinidade.

O sistema radicular, em especial, apresentou maior sensibilidade, com redução expressiva na produção de biomassa. Reforçando que a salinidade compromete diretamente o crescimento inicial das plântulas, dificultando o

estabelecimento das culturas no campo. Para o cultivo de milho e, principalmente, de milho-pipoca, essas limitações são particularmente preocupantes, uma vez que as cultivares de milho-pipoca apresentam menor plasticidade fenotípica frente aos estresses ambientais. Essa menor capacidade de ajuste morfofisiológico limita a compensação dos efeitos deletérios da salinidade, o que pode resultar em perdas mais acentuadas de estande e produtividade (Vieira et al., 2009).

Além dos efeitos diretos da salinidade sobre os processos bioquímicos e fisiológicos da germinação, a qualidade da água utilizada na irrigação durante as fases iniciais de desenvolvimento das plantas em geral exerce influência sobre o estabelecimento das plântulas. Em um estudo que avaliou a interação entre diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses da bactéria promotora de crescimento *Azospirillum brasilense* em sementes de milho, Oliveira et al. (2020) observaram que a emergência das plântulas não foi drasticamente afetada pelos tratamentos, mesmo com o aumento da condutividade elétrica da água. A partir do estágio vegetativo V8, verificou-se que a altura das plantas apresentou incremento até o nível de salinidade de $1,1 \text{ dS m}^{-1}$. Além disso, o número de folhas e a massa seca foliar aumentaram com o incremento da salinidade, enquanto a área foliar e a massa seca do caule foram negativamente influenciadas pelos maiores níveis de sais na água de irrigação.

Outro aspecto relevante foi a interação significativa entre os níveis de salinidade e as doses de *A. brasilense* na produção de massa seca de raízes. Os autores relataram que o aumento das doses do inoculante resultou em maior acúmulo de biomassa radicular, evidenciando o potencial do uso de microrganismos promotores de crescimento para mitigar parcialmente os efeitos do estresse salino. Com base nesses resultados, os autores recomendam o uso de água com condutividade elétrica de até $1,1 \text{ dS m}^{-1}$ para o crescimento de milho, bem como a aplicação de doses de 0,32 mL ou 0,48 mL de *A. brasilense*, como estratégia para favorecer o desenvolvimento das plantas mesmo em condições de salinidade moderada.

Portanto, a avaliação de parâmetros morfológicos e morfoagronômicos durante a germinação e o desenvolvimento inicial das plantas é fundamental para a identificação de genótipos mais tolerantes aos estresses abióticos, como a salinidade, além de fornecer subsídios para o melhoramento de cultivares com maior potencial de estabelecimento em campo. Características como germinação, altura

de plântulas, diâmetro do colmo, comprimento radicular, massa seca da parte aérea e das raízes, bem como o número de folhas e a área foliar, são frequentemente utilizadas como indicadores de desempenho fisiológico em condições adversas (Oliveira et al., 2020; Ricardi et al., 2018; Souza et al., 2014). Esses parâmetros permitem avaliar não apenas a capacidade de emergência, mas também a habilidade das plântulas em acumular biomassa e explorar os recursos do solo em ambientes com limitação hídrica ou excesso de sais.

4. METODOLOGIA

4.1 Local da pesquisa

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Fitotecnia, Setor de Produção e Tecnologia de Sementes da UENF, localizado em Campos dos Goytacazes-RJ.

4.2 Material vegetal

Neste estudo foram utilizadas sementes de 24 linhagens endogâmicas de milho-pipoca adquiridas do Banco de Germoplasma da UENF, previamente obtidas pelo Programa de Melhoramento de milho-pipoca da UENF, com foco na identificação de genótipos superiores para tolerância ao estresse salino na fase inicial de desenvolvimento (Souza et al. no prelo) (Tabela 1).

4.3 Armazenamento das sementes

O material vegetal foi colhido em agosto de 2022 e, após secagem, foram feitos o beneficiamento e avaliação quanto à tolerância ao estresse salino na fase inicial de desenvolvimento. Foi armazenado por um período de 24 meses em câmara fria a uma temperatura média de 10°C em condições ambientais precisas e ideais para a preservação da qualidade das sementes.

4.4 Condução experimental

As sementes das 24 linhagens de milho-pipoca foram avaliadas sob duas condições de germinação: sem estresse salino (NS) e com estresse salino (SS); e em dois momentos: logo após a colheita (sem armazenamento) e após o armazenamento por 24 meses. Na condição sem estresse salino, umedeceu-se o substrato, papel germiteste, com água deionizada pura (condutividade elétrica de 0,2847 dS m⁻¹ a 25°C) na proporção de 2,5 vezes o peso do papel. Na condição de estresse salino o substrato foi umedecido com solução de água deionizada com adição de NaCl na concentração de 100,00 mM de NaCl (condutividade elétrica de 9,3 dS m⁻¹ a 25°C). Todos os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições compostas de 25 sementes.

Tabela 1: Identificação (ID) e informações sobre geração, instituição doadora, país de origem e adaptação climática das 24 linhagens de milho-pipoca.

ID	Pedigree	Instituição doadora	Origem	Adaptação climática
L472	SE 013	UEM	Brasil	Tropical
L75	Viçosa	UFV	Brasil	Temperado/Tropical
P7	Híbrido Triplo Zaeli	UEM	Brasil	Temperado/Tropical
L510	PA 170 Roxo	CIMMYT	Paraguai	Temperado
L220	IAC 125	IAC	Brasil	Tropical
L65	BRS Ângela	Embrapa	Brasil	Tropical
L386	SAM	USA	EUA	Temperado
L76	Viçosa	UFV	Brasil	Temperado/Tropical
L213	IAC 125	IAC	Brasil	Tropical
L684	UENF 14	UENF	Brasil	Tropical
L61	BRS Ângela	Embrapa	Brasil	Tropical
L690	UENF 14	UENF	Brasil	Tropical
L203	IAC 125	IAC	Brasil	Tropical
L509	PA 170 Roxo	CIMMYT	Paraguai	Temperado
L358	PR 023	UEM	Brasil	Tropical
L507	PA 170 Roxo	CIMMYT	Paraguai	Temperado
P2	Composto CMS-42	UEM	Brasil	Temperado/Tropical
P3	Composto CMS-42	UEM	Brasil	Temperado/Tropical
L391	SAM	USA	EUA	Temperado
L71	BRS Ângela	Embrapa	Brasil	Tropical
L263	PARA 172	CIMMYT	Paraguai	Temperado
L655	ARZM 13 050	CIMMYT	Argentina	Temperado
L217	IAC 125	IAC	Brasil	Tropical
L501	PA 170 Roxo	CIMMYT	Paraguai	Temperado

UEM – Universidade Estadual de Maringá; Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; UFV – Universidade Federal de Viçosa; IAC – Instituto Agrônomo de Campinas; CIMMYT – Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (México); USA - United States of America; UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Fonte: Torres et al. (2022); Kurosama et al. (2018); Santos et al. (2021).

4.5 Caracteres avaliados

4.5.1 Porcentagem de germinação

Para avaliação da porcentagem de germinação (G), o teste foi realizado seguindo as recomendações determinadas pela Regra de Análises de Sementes (RAS) para a espécie *Zea mays* (BRASIL, 2009). As sementes foram submetidas às duas condições de estresse salino (SS e CS) descritas acima e colocadas para germinar no germinador de câmara vertical, com temperatura de 20 - 30°C e fotoperíodo de 16h de escuro e 8h de luz (BRASIL, 2009).

A manutenção da umidade dos substratos foi verificada diariamente e feita a adição de água deionizada conforme a necessidade, durante todos os dias ao decorrer do teste. As avaliações foram realizadas ao sétimo dia de condução do experimento, conforme a RAS, onde registrou-se a porcentagem de plântulas normais (G), plântulas anormais (PA) e sementes não germinadas (NG) (Brasil, 2009).

4.5.2 Índice de velocidade de germinação

O índice de velocidade de germinação (IVG) foi realizado em conjunto com o teste de germinação, obedecendo às prescrições da RAS (BRASIL, 2009). As avaliações foram realizadas diariamente, a partir da instalação do teste de germinação, até o sétimo dia de experimento. Foram consideradas e contabilizadas como sementes germinadas aquelas que apresentaram protrusão radicular de, pelo menos, 4 mm. O IVG foi calculado de acordo com a metodologia proposta por Maguire (1962):

$$\text{IVG} = \text{G1/N1} + \text{G2/N2} + \text{G3/N3} + \dots + \text{Gn/Nn}$$

Onde:

IVG = índice de velocidade de germinação;

G = número de plântulas germinadas a cada dia;

N = número de dias de cada contagem.

4.5.3 Biometria das plântulas

A biometria de plântulas foi realizada utilizando o equipamento Groundeye® de análise de imagens. Utilizou-se plântulas provenientes dos ensaios de germinação, sendo avaliadas 10 plântulas normais aleatórias de cada repetição. As variáveis extraídas foram: AP: área da plântula (cm²), LPA: largura da parte aérea (cm), LR: largura das raízes (cm), NR: número de ramificações, RRC: razão entre raiz e o coleóptilo, CR: comprimento da raiz primária (cm), CC: tamanho do coleóptilo (cm) e CT: tamanho total da plântula (cm).

4.5.4 Massa seca da parte aérea e da raiz das plântulas

A mensuração do peso da massa seca da parte aérea (PSPA) e da raiz (PSR) foi avaliada a partir das 10 plântulas utilizadas para biometria. A separação entre sistema radicular e parte aérea foi definida como a base do colo. Posteriormente, cada amostra foi armazenada em sacos de papel identificados e levados para estufa de ventilação forçada, com temperatura de 65°C, por 72 horas. Após o período de secagem, os materiais passaram por resfriamento, em dessecador e, em seguida, as amostras foram pesadas em balança de precisão de 0,0001g.

4.5.5 Índice de tolerância ao estresse salino

O índice de tolerância ao estresse salino (ITE) foi determinado de acordo com a metodologia proposta por Fernandez (1992). As variáveis mais afetadas pelo estresse salino (IVG, G, PSPA, PSR, AREA, LPA, CRP, CC e CT) foram utilizadas para determinar o índice de tolerância ao estresse, calculado seguindo a fórmula: $ITE = (Y_c \times Y_s) / Y_c^2$, onde ITE = índice de tolerância ao estresse; Y_c = valor avaliado em ambiente não-salino; Y_s = valor avaliado em ambiente salino. As respostas de tolerância são expressas de 0,0 a 1,0, sendo que, quanto mais próximo de 1,0, maior é a tolerância do genótipo ao estresse salino, e quanto mais próximo de 0,0, menor é a tolerância.

4.5.6 Análise estatística

Os dados foram submetidos às análises individuais e conjunta (genótipo e condição de armazenamento).

As análises individuais foram realizadas considerando o modelo matemático do delineamento em blocos casualizados, dado por:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B_j + E_{ij}$$

Y_{ij} = valor observado do i-ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, 24$) no j-ésimo bloco ($j = 1, 2, 3, 4$);

μ = constante geral;

G_i = efeito do i-ésimo genótipo;

B_j = efeito do j-ésimo bloco;

E_{ij} = erro aleatório.

A análise conjunta para condição de armazenamento (sem e com armazenamento) considerou os efeitos dos genótipos como aleatório e o efeito de armazenamento como fixo, seguindo o modelo estatístico matemático dado por:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + B/CA_{jk} + CA_j + GCA_{ij} + E_{ijk}$$

Onde:

Y_{ijk} = observação referente ao i-ésimo efeito de genótipo na j-ésima repetição na k-ésima condição de armazenamento;

μ = média geral constante;

G_i = efeito do i-ésimo genótipo ($i = 1, 2, \dots, 24$);

B/CA_{jk} = efeito do k-ésimo bloco dentro da j-ésima condição de armazenamento ($k = 1, 2, 3, 4$);

CA_j = efeito da j-ésima condição de armazenamento (1, 2);

GCA_{ij} = efeito da interação do i-ésimo genótipo com a j-ésima condição de armazenamento;

E_{ijk} = erro aleatório.

As variáveis que apresentaram diferenças significativas entre genótipos, ao nível de significância de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) pelo teste F, foram submetidas ao teste de agrupamento de médias de Scott Knott, em mesmo nível de significância. As médias de armazenamento foram submetidas ao teste F em nível de significância de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$).

Todas as análises foram realizadas por meio do software Genes (Cruz, 2016).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Efeito do armazenamento no desempenho das linhagens em ambiente SEM estresse salino

A análise conjunta, sem e com armazenamento, para a condição sem estresse salino identificou diferenças estatísticas significativas pelo teste F ($p \leq 0,05$) para fonte de variação genótipo para todos os caracteres avaliados (Tabela 2).

Para a fonte de variação armazenamento, o teste F foi significativo para IVG, PSPA, área, LPA, RRC e CC. O efeito da interação genótipos x armazenamento (GxA) não foi significativo apenas para PA e PSR.

Com relação ao coeficiente de variação experimental (CV%), os valores foram de baixa magnitude ($< 15\%$) para todas as características, com exceção de PA (119,4%) e (NG 156,1%) (Tabela 2).

- **Germinação – sem estresse salino (SAx CA)**

A germinação das sementes sob condição sem estresse salino apresentou média de 96,8% para as sementes sem armazenamento (SA/2022) e 94,6% para as sementes com armazenamento (CA/2024), sem diferença estatística significativa, indicando estabilidade fisiológica na maioria dos genótipos avaliados (Tabela 3). No entanto, a análise individual por meio do teste de Scott-Knott ($p < 0,05$) revelou genótipos sensíveis ao armazenamento, com reduções expressivas: L220 (97% para 90%), L655 (96% para 90%) e L690 (94% para 86%). Segundo Cruz (2012), o teste de Scott-Knott é eficaz para detectar diferenças sutis entre tratamentos, justificando sua aplicação neste contexto. Esses resultados reforçam a importância de considerar o comportamento individual dos genótipos na seleção para armazenamento prolongado, mesmo quando as médias gerais são elevadas.

Tabela 2: Estimativas dos quadrados médios da análise de variância conjunta para 13 características físicas e fisiológicas de sementes e plântulas de 24 linhagens endogâmicas de milho-pipoca em ambiente sem estresse salino antes e depois do armazenamento.

FV	GL	IVG	G	PA	NG	PSPA	PSR	AP
			<u> %</u>			<u> mg plântula⁻¹</u>		<u> cm²</u>
Genótipos (G)	23	4,06*	128,81**	92,56**	14,76**	36,96**	161,28**	8,86**
Armazenamento (A)	1	108,39**	225,33 ^{ns}	27,0 ^{ns}	96,33 ^{ns}	985,54**	32,67 ^{ns}	22,99**
G X A	23	1,90**	36,46*	18,82 ^{ns}	9,89*	5,64**	7,28 ^{ns}	0,31**
Resíduo	138	0,18	20,87	11,79	5,18	1,20	5,19	0,09
CV (%)		3,94	4,77	119,44	156,11	8,42	13,66	9,14
Média		10,91	95,66	2,87	1,45	13,03	16,67	3,34
		LPA	LR	RRC	CR	CC	CT	
		<u> cm </u>						
Genótipos	23	0,00653**	0,00037**	0,93**	38,01**	9,84**	77,18**	
Armazenamento (A)	1	0,12125**	0,00138 ^{ns}	43,80**	0,01 ^{ns}	218,98**	215,30 ^{ns}	
G X A	23	0,00071*	0,00008**	0,44**	5,12**	0,77**	5,74**	
Resíduo	138	0,00042	0,00004	0,09	1,15	0,17	1,53	
CV (%)		8,71	6,67	14,48	10,86	8,23	8,28	
Média		0,23	9,02	2,15	9,89	5,08	14,97	

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; IVG: índice de velocidade de germinação; G: germinação; PA: plântulas anormais; NG: sementes não germinadas; PSPA: peso seca da parte aérea; PSR: peso seca da raiz, AP: área da plântula; LPA: largura da parte aérea; LR: largura da raiz; RRC: razão entre raiz e coleóptilo; CR: comprimento da raiz; CC: comprimento do coleóptilo; CT: comprimento total. *, **, significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

- **Índice de Velocidade de Germinação – sem estresse salino (SA x CA)**

A análise do Índice de Velocidade de Germinação (IVG) revelou uma diferença estatisticamente significativa, indicando o efeito negativo do armazenamento na velocidade de germinação das sementes de milho-pipoca. Entre os genótipos mais sensíveis, destaca-se L690, cuja redução foi expressiva de (11,75 SA) para (8,11 CA), seguido por L391, L203, L509, L358, L213 entre outros que apresentaram quedas superiores no IVG. Essa perda de vigor pode estar relacionada ao processo natural de deterioração fisiológica da semente durante o armazenamento, mesmo sob condições controladas (Silva et al., 2021; Carvalho et al., 2014). Entretanto, alguns genótipos demonstraram maior estabilidade fisiológica, os genótipos L472, L75, P7 e L507 demonstraram elevada resiliência ao armazenamento, mantendo ou, em alguns casos, até mesmo melhorando suas taxas de IVG de forma não significativa (Tabela 3). Essa resposta pode estar relacionada às características genéticas que conferem maior tolerância à perda de vigor, o que os torna os genótipos supracitados potenciais candidatos para programas de melhoramento visando a maior tolerância ao armazenamento. Esses resultados confirmam a importância de considerar o desempenho fisiológico ao longo do tempo como critério de seleção em cultivares de milho-pipoca, especialmente em regiões onde o armazenamento prolongado é prática comum.

Tabela 3: Médias dos 24 genótipos de milho-pipoca para germinação (G) e índice de velocidade de germinação (IVG) provenientes de sementes germinadas antes (SA) e após o armazenamento (CA) em dois ambientes de salinidade.

Genótipo	G (%)				IVG			
	Sem		Com		Sem		Com estresse	
	estresse salino		estresse salino		estresse salino		salino	
	SA	CA	SA	CA	SA	CA	SA	CA
	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024
L472	100,0 aA	97,0 aA	99,0 aA	94,0 aA	11,43 bA	11,66 aA	10,35 bA	10,40 bA
L75	97,0 aA	95,0 aA	90,0 bA	81,0 cA	9,89 dA	10,44 bA	9,21 dA	8,83 dA
P7	100,0 aA	95,0 aA	97,0 aA	85,0 bB	10,29 dA	10,08 cA	9,68 cB	11,25 aA
L510	97,0 aA	92,0 aA	97,0 aA	98,0 aA	11,41 bA	9,92 cB	8,47 eB	9,48 cA
L220	97,0 aA	90,0 aB	87,0 bA	70,0 dB	10,79 cA	9,03 dB	9,12 dA	7,92 eB
L65	96,0 aA	96,0 aA	88,0 bA	77,0 cB	10,66 cA	9,96 cB	9,43 dA	7,96 eB
L386	99,0 aA	94,0 aA	95,0 aA	78,0 cB	12,08 aA	10,30 bB	10,45 bA	8,51 dB
L76	98,0 aA	95,0 aA	97,0 aA	83,0 cB	11,20 bA	9,18 dB	9,77 cA	8,54 dB
L213	98,0 aA	95,0 aA	94,0 aA	82,0 cB	12,45 aA	10,53 bB	10,54 bA	8,14 eB
L684	95,0 aA	94,0 aA	96,0 aA	88,0 bA	12,37 aA	11,71 aB	11,16 bA	9,65 cB
L61	98,0 aA	94,0 aA	96,0 aA	89,0 bA	12,50 aA	11,71 aB	11,75 aA	9,71 cB
L690	86,0 bA	78,0 bB	69,0 cA	61,0 dA	11,75 aA	8,11 eB	8,58 eA	7,67 eB
L203	99,0 aA	96,0 aA	95,0 aA	89,0 bA	12,33 aA	9,61 cB	9,54 dA	8,10 eB
L509	93,0 aA	91,0 aA	94,0 aA	86,0 bA	11,46 bA	9,17 dB	9,83 cA	7,65 eB
L358	100,0 aA	98,0 aA	100,0 aA	82,0 cB	11,18 bA	9,22 dB	9,36 dA	7,60 eB
L507	98,0 aA	98,0 aA	99,0 aA	88,0 bB	12,16 aA	11,62 aA	11,83 aA	9,75 cB
P2	99,0 aA	99,0 aA	97,0 aA	93,0 aA	11,83 aA	9,92 cB	10,62 bA	8,79 dB
P3	99,0 aA	99,0 aA	91,0 aA	86,0 bA	12,04 aA	10,25 bB	10,33 bA	8,54 dB
L391	98,0 aA	99,0 aA	88,0 bA	75,0 cB	11,50 bA	8,77 dB	8,58 eA	7,92 eB
L71	98,0 aA	98,0 aA	94,0 aA	95,0 aA	12,24 aA	10,67 bB	9,99 cA	8,43 dB
L263	80,0 bB	93,0 aA	85,0 bA	82,0 cA	12,08 aA	11,36 aB	12,21 aA	9,12 cB
L655	100,0 aA	90,0 aB	94,0 aA	86,0 bA	12,37 aA	10,69 bB	11,74 aA	9,53 cB
L217	98,0 aA	98,0 aA	87,0 bA	78,0 cA	11,50 bA	9,58 cB	9,41 dA	8,01 eB
L501	99,0 aA	96,0 aA	97,0 aA	96,0 aA	12,33 aA	10,43 bB	10,75 bA	8,68 dB
Média	96,8 A	94,6 A	92,8 A	84,2 A	11,66 A	10,16 B	10,12 A	8,76 B

Médias seguidas da mesma letra em minúscula na coluna pertencem a um mesmo grupo de acordo com o teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra em maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste F a 5 % de probabilidade.

- **Plântulas Anormais – sem estresse salino (SA x CA)**

A porcentagem de plântulas anormais (PA) apresentou um leve aumento na média geral, passando de 2,5% em sementes sem armazenamento (SA 2022) para 3,25% nas sementes armazenadas (CA 2024). Apesar do acréscimo, o efeito do armazenamento não foi estatisticamente significativo (Tabela 4).

A análise por genótipo, no entanto, revelou comportamentos fisiológicos contrastantes. O genótipo L263, por exemplo, apresentou uma redução de 17,00% (SA) para 6,00% (CA) na PA, sugerindo possível melhora na qualidade fisiológica após o armazenamento. Essa observação pode estar relacionada a mecanismos de tolerância à dessecação ou estabilidade de membranas celulares desse genótipo em específico, ou a ativação de mecanismos de reparo celular durante o armazenamento (Bewley et al., 2013). O genótipo L690 manteve a PA estável em 3,75% nas duas épocas avaliadas. Outros genótipos com baixa incidência de plântulas anormais independentemente do armazenamento, foram L65 (0,0% em ambas as épocas), L507 (1,0% em SA e 1,25% em CA), P2 (1,0% e 1,0%), P3 (0,0% e 1,25%) e L217 (1,0% e 1,0%), evidenciando estabilidade fisiológica e potencial para uso na produção de sementes de alta qualidade.

O comportamento positivo de L263 também justifica investigações futuras sobre possíveis mecanismos fisiológicos de recuperação pós-armazenamento. Com relação à porcentagem de plântulas normais (G), observou-se uma tendência de redução ao longo do tempo de armazenamento, sendo os melhores resultados obtidos na época 0 (sem armazenamento). Genótipos como L220 apresentaram queda de 90,0% para 83,75%, L 358 de 86,25% para 81,25%, e L176 de 90,0% para 83,75%.

Esses dados indicam perda de vigor ao longo do armazenamento, possivelmente relacionada à deterioração das membranas celulares e à redução da atividade metabólica, como relatado por Brasil (2009) e França Neto et al. (2011). A redução na porcentagem de plântulas normais pode comprometer a emergência e o estabelecimento inicial da cultura. Dessa forma, é essencial selecionar genótipos que apresentem baixo percentual de plântulas anormais e alta estabilidade ao longo do armazenamento, como observado em P3, P2 e L217, que mantiveram desempenho consistente mesmo após o armazenamento.

- **Sementes não germinadas – sem estresse salino (SA x CA)**

A análise do número de sementes não germinadas (NG) antes e após o armazenamento (Tabela 4) revelou que, de forma geral, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos, indicando que o armazenamento em condições controladas não comprometeu a viabilidade germinativa das sementes em ambientes sem estresse salino. Esse resultado pode indicar que os genótipos avaliados apresentaram boa estabilidade fisiológica ao longo do período de armazenamento. Genótipos como L472, L75, P7, L220, L65, L386, L76, L213, L684, L203, L358, L507, P2, P3, L391, L71, L263, L217 e L501 apresentaram variações discretas (entre 1% e 2%) no número de sementes não germinadas, sem significância estatística.

Dentre eles, destacam-se L220, L 203, P2, L391 e L71, que mantiveram 0% de sementes não germinadas nas duas condições avaliadas, reforçando seu potencial de conservação fisiológica durante o armazenamento. Por outro lado, genótipos como L510, L61, L690 e L655 apresentaram aumento significativo no número de sementes não germinadas, indicando maior sensibilidade à deterioração, possivelmente relacionada à constituição fisiológica ou à qualidade inicial das sementes. Essas diferenças entre genótipos podem ser explicadas, em parte, pelas características físicas das sementes, como acontece em sementes de milho-doce, que apresentam pericarpo mais fino e maior concentração de açúcares no endosperma.

Essa combinação as torna mais suscetíveis a danos mecânicos, proliferação de microrganismos e, conseqüentemente, à deterioração ao longo do tempo (Waters; Blanchette, 1983; Zucareli et al., 2014). Segundo Antonello et al. (2009), acredita-se que a manutenção da qualidade das sementes depende da interação entre a sua qualidade fisiológica inicial e as condições de armazenamentos, especialmente temperatura e umidade, então acredita-se que quando esses fatores são controlados, a viabilidade das sementes tende a ser mantida por mais tempo. Já Baudet (1996), em seu estudo, afirma que o ritmo de deterioração é diretamente influenciado por essas variáveis, sendo que, sementes com maior vigor inicial são menos suscetíveis à perda de qualidade. Pesquisas relacionadas a estas informações anteriores também são abordadas por Basso (2014), que demonstrou a

perda gradual do efeito benéfico do condicionamento osmótico ao longo do armazenamento, evidenciando a importância do estado fisiológico inicial. Isso demonstra que os testes de vigor são importantes na avaliação da capacidade das sementes de manter sua performance sob diferentes condições. Portanto, mesmo que a germinação final não tenha sido comprometida de forma expressiva, os resultados reforçam a relevância da análise de vigor e da sensibilidade genotípica para orientar estratégias de armazenamento mais eficientes e seguras.

Tabela 4: Médias dos 24 genótipos de milho-pipoca para plântulas anormais (PA) e sementes não germinadas (NG) provenientes de sementes germinadas antes (SA) e após o armazenamento (CA) em dois ambientes de salinidade.

Genótipo	PA				NG			
	Sem		Com		Sem		Com estresse	
	estresse salino		estresse salino		estresse salino		salino	
	SA	CA	SA	CA	SA	CA	SA	CA
	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024
L472	0,00 bA	2,00 aA	1,00 cA	3,00 dA	0,00 bA	1,00 bA	0,00 aA	3,00 bA
L75	1,00 bA	2,00 aA	40,0 bA	17,00 bA	2,00 aA	2,00 bA	0,00 aA	2,00 bA
P7	0,00 bA	3,00 aA	3,00 cA	10,00 cA	0,00 bA	2,00 bA	0,00 aB	5,00 aA
L510	2,00 bA	4,00 aA	2,00 cA	1,00 dA	1,00 bA	4,00 aA	1,00 aA	1,00 bA
L220	3,00 bA	10,00 aA	13,00 bB	27,00 aA	0,00 bA	0,00 bA	0,00 aA	3,00 bA
L65	1,00 bA	1,00 aA	11,00 bA	18,00 bA	3,00 aA	3,00 bA	1,00 aA	5,00 aA
L386	1,00 bA	3,00 aA	4,00 cB	19,00 bA	0,00 bA	3,00 bA	1,00 aA	3,00 bA
L76	2,00 bA	3,00 aA	3,00 cB	14,00 cA	0,00 bA	2,00 bA	0,00 aA	3,00 bA
L213	2,00 bA	3,00 aA	6,00 cB	16,00 bA	0,00 bA	2,00 bA	0,00 aA	2,00 bA
L684	4,00 bA	4,00 aA	4,00 cA	5,00 dA	1,00 bA	2,00 bA	0,00 aB	7,00 aA
L61	2,00 bA	1,00 aA	3,00 cA	8,00 cA	0,00 bB	5,00 aA	1,00 aA	3,00 bA
L690	14,00 aA	15,00 aA	28,00 aA	33,00 aA	0,00 bB	7,00 aA	3,00 aA	6,00 aA
L203	1,00 bA	4,00 aA	4,00 cA	10,00 cA	0,00 bA	0,00 bA	1,00 aA	1,00 bA
L509	3,00 bA	2,00 aA	1,00 cA	4,00 dA	4,00 aA	7,00 aA	5,00 aB	10,00 aA
L358	0,00 bA	1,00 aA	0,00 cB	12,00 cA	0,00 bA	1,00 bA	0,00 aB	6,00 aA
L507	1,00 bA	1,00 aA	1,00 cB	11,00 cA	1,00 bA	1,00 bA	0,00 aA	1,00 bA
P2	1,00 bA	1,00 aA	1,00 cA	5,00 dA	0,00 bA	0,00 bA	2,00 aA	2,00 bA
P3	0,00 bA	1,00 aA	8,00 cA	12,00 cA	1,00 bA	0,00 bA	1,00 aA	2,00 bA
L391	2,00 bA	1,00 aA	12,00 bB	23,00 bA	0,00 bA	0,00 bA	0,00 aA	2,00 bA
L71	2,00 bA	2,00 aA	5,00 cA	3,00 dA	0,00 bA	0,00 bA	1,00 aA	2,00 bA
L263	17,00 aA	6,00 aB	15,00 bA	11,00 cA	3,00 aA	1,00 bA	0,00 aB	7,00 aA
L655	0,00 bA	4,00 aA	5,00 cA	7,00 dA	0,00 bB	6,00 aA	1,00 aB	7,00 aA
L217	0,00 bA	1,00 aA	12,00 bA	14,00 cA	2,00 aA	1,00 bA	1,00 aB	8,00 aA
L501	1,00 bA	2,00 aA	3,00 cA	3,00 dA	0,00 bA	2,00 bA	0,00 aA	1,00 bA
Média	2,5 A	3,25 A	6,46 A	11,92 A	0,75 A	2,17 A	0,79 A	3,83 A

Médias seguidas da mesma letra em minúscula na coluna pertencem a um mesmo grupo de acordo com o teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra em maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste F a 5 % de probabilidade.

- **Peso seco da parte aérea – sem estresse salino (SA x CA)**

A média geral da massa seca da parte aérea das plântulas (PSPA) apresentou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, evidenciando que o armazenamento afeta negativamente a capacidade das sementes de milho-pipoca de originar plântulas vigorosas, mesmo em condições sem estresse salino. A análise individual revelou respostas variáveis entre os genótipos, com predominância de redução do PSPA após o armazenamento. Quase todos os genótipos, com exceção do genótipo L510, apresentaram reduções significativas no PSPA após o armazenamento (Tabela 5). Dentre os genótipos mais impactados, L213, L690, L655, L217 e L263 registraram reduções superiores a 35% no PSPA sem estresse salino. Embora os genótipos P2 e P3 tenham apresentado maiores valores de PSPA antes do armazenamento (20,50 e 20,07, respectivamente), ambos sofreram reduções significativas de 35% e 33% após o armazenamento.

Tais observações podem indicar que mesmo os genótipos inicialmente vigorosos podem estar sujeitos a sofrerem perdas de vigor em condições de armazenamento, e que a estabilidade pós-armazenamento é um atributo independente do desempenho inicial (Mariucci et al., 2018). O armazenamento (CA 2024) reduziu significativamente a massa seca da parte aérea (PSPA), tanto em condições normais quanto sob estresse salino, indicando que o armazenamento teve um efeito negativo expressivo neste parâmetro. A massa seca das raízes (PSR) manteve-se estável, mas a parte aérea foi claramente impactada.

Segundo Marcos-Filho (2015), plântulas com maior acúmulo de matéria seca tendem a apresentar melhor desempenho fisiológico, refletindo maior capacidade fotossintética e maior produção de biomassa. Essa relação é amplamente reconhecida em sementes de milho: unidades com alto vigor originam plântulas com crescimento mais acelerado, inclusive com desenvolvimento radicular mais eficiente, o que favorece a absorção de nutrientes e o estabelecimento no campo (Ghassemi-Golezani, Dalil, 2014). Isso contribui diretamente para a formação de plântulas mais desenvolvidas. Por outro lado, a absorção de água durante a germinação é outro fator determinante. De acordo com algumas pesquisas, o comprimento da raiz primária pode ser limitado pela disponibilidade hídrica e pela temperatura do substrato. Kerbauy (2008) também observa que uma menor

absorção de água resulta em plântulas com menor crescimento e, conseqüentemente, menor acúmulo de matéria seca.

No contexto do milho-pipoca, determinadas linhagens demonstram maior vigor e mantêm sua viabilidade fisiológica por períodos prolongados quando armazenadas sob condições ambientais controladas, o que pode refletir na importância da composição das sementes para o desempenho germinativo e a conservação durante o armazenamento (Sharma, 2018), explicando também o desempenho consistente de L510. Já Abadia et al. (2024) ressalta que o uso de atmosferas modificadas no armazenamento contribui para a manutenção do vigor e da germinação, reforçando a necessidade de estratégias adequadas de conservação. Dessa forma, os dados obtidos neste estudo reforçam a utilidade do PSPA como indicador sensível e confiável para avaliação do vigor e da qualidade fisiológica das sementes, especialmente no que se refere aos efeitos do armazenamento. Sementes mais vigorosas demonstram maior eficiência na mobilização de reservas, o que favorece o crescimento inicial e o estabelecimento de plântulas mais robustas (Andrade et al., 2019).

- **Peso seco da raiz – sem estresse salino (SA x CA)**

A análise do peso seco da raiz (PSR) das plântulas de milho-pipoca, cultivadas em condição sem estresse salino, demonstrou que o armazenamento não provocou efeito estatisticamente significativo na média geral dos genótipos avaliados (SA: 16,27 A; CA: 17,09 A) (Tabela 5). Essa estabilidade sugere que, de modo geral, o armazenamento em ambiente controlado manteve a integridade fisiológica das sementes no que se refere à alocação de biomassa para o sistema radicular.

A maior parte dos genótipos apresentou manutenção dos níveis de PSR após o armazenamento, como observado nos materiais L75, P7, L510, L65, L76, L213, L61, L509, L507, L391, L263 e L501, cujos valores médios não diferiram estatisticamente entre SA e CA.

Esse comportamento indica tolerância fisiológica ao armazenamento e capacidade de manter o vigor radicular, característica essencial para o estabelecimento inicial das plântulas (Marcos-Filho, 2015). Por outro lado, alguns genótipos apresentaram aumento significativo no PSR após o armazenamento em

condição sem estresse salino, como L358 (de 19,55 cB para 22,85 bA), P2 (de 20,87 cB para 25,07 aA) e P3 (de 16,37 dB para 21,27 bA).

Esse resultado aponta para um possível efeito benéfico do armazenamento, no qual as sementes, ao passarem por um período de repouso fisiológico, podem ter ativado mecanismos de reparo celular ou ajustado o metabolismo que favoreceu o desenvolvimento radicular em condições ideais de germinação (Vieira et al., 2001; Carvalho, Nakagawa, 1983).

A diferença de comportamento entre os genótipos evidencia a influência do fator genético na resposta ao armazenamento. Segundo Baudet (1996), sementes com maior vigor inicial tendem a apresentar melhor desempenho após o armazenamento, enquanto materiais mais sensíveis podem sofrer perda de qualidade fisiológica, ainda que em condições controladas. Neste estudo, genótipos como L510, L213 e L509 apresentaram valores consistentemente baixos de PSR (entre 10,50 g e 13,62 g), independentemente do armazenamento, o que pode estar relacionado às limitações intrínsecas ao desenvolvimento radicular desses materiais.

Portanto, os resultados obtidos reforçam a importância do monitoramento individualizado dos genótipos, visto que, embora o efeito médio do armazenamento sobre o PSR não tenha sido significativo, algumas linhagens se beneficiaram da condição de repouso, enquanto outras mantiveram ou reduziram sua capacidade de formação de raiz.

Tabela 5: Médias dos 24 genótipos de milho-pipoca para peso seco da parte aérea (PSPA) e peso seco da raiz (PSR) provenientes de sementes germinadas antes (SA) e após o armazenamento (CA) em dois ambientes de salinidade.

Genótipo	PSPA				PSR			
	Sem		Com		Sem		Com estresse	
	estresse salino		estresse salino		estresse salino		salino	
	SA	CA	SA	CA	SA	CA	SA	CA
	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024
L472	17,52 bA	13,85 aB	12,50 aA	7,22 aB	17,62 cA	18,77 cA	16,30 bA	13,92 bB
L75	17,52 bA	13,12 aB	10,90 bA	5,57 aB	28,10 aA	26,47 aA	21,10 aA	19,25 aA
P7	16,97 bA	13,35 aB	10,45 bA	7,07 aB	24,05 bA	26,87 aA	19,70 aA	17,82 aA
L510	12,85 dA	12,82 aA	6,47 eA	6,67 aA	11,00 eA	13,45 eA	7,95 eA	7,62 dA
L220	13,25 cA	10,27 cB	5,52 eA	3,95 bB	12,87 eA	15,02 dA	9,12 eA	9,37 dA
L65	17,65 bA	12,10 bB	9,03 cA	7,00 aB	16,30 dA	17,05 cA	11,87 dA	11,62 dA
L386	13,97 cA	10,02 cB	6,93 dA	6,37 aA	14,20 dA	15,30 dA	12,92 dA	11,77 dA
L76	14,27 cA	10,80 cB	7,43 dA	5,07 bB	20,40 cA	22,40 bA	17,45 bA	17,72 aA
L213	14,32 cA	8,02 dB	5,75 eA	4,60 bA	13,62 dA	13,17 eA	10,90 dA	10,42 dA
L684	12,12 dA	8,62 dB	7,88 d A	6,45 aB	17,50 cA	15,92 dA	11,12 dA	12,20 dA
L61	11,10 dA	8,97 dB	5,85 eA	5,00 bA	11,85 eA	12,82 eA	8,70 eA	9,30 dA
L690	13,60 cA	7,10 dB	5,80 eA	4,40 bB	13,12 eA	14,27 dA	9,10 eA	11,22 dA
L203	11,25 dA	8,20 dB	4,78 eA	4,10 bA	12,95 eA	14,92 dA	10,60 dA	11,92 dA
L509	14,80 cA	10,65 cB	8,75 cA	5,97 aB	10,50 eA	10,67 eA	7,55 eA	8,72 dA
L358	16,90 bA	12,10 bB	13,15 aA	5,70 aB	19,55 cB	22,85 bA	15,92 bA	15,97 dA
L507	15,97 bA	11,25 bB	9,78 cA	6,07 aB	14,50 dA	14,60 dA	10,87 eA	12,47 cA
P2	20,50 aA	13,25 aB	10,78 bA	7,10 aB	20,87 cB	25,07 aA	16,40 bA	16,00 bA
P3	20,07 aA	13,52 aB	10,45 bA	6,37 aB	16,37 dB	21,27 bA	14,95 cA	15,87 bA
L391	14,52 cA	9,65 cB	7,85 dA	5,00 bB	17,57 cA	17,95 cA	12,25 dA	12,65 cA
L71	19,15 aA	11,77 bB	10,93 bA	5,00 bB	18,22 cA	16,95 cA	14,32 cA	11,72 cB
L263	14,17 cA	9,22 dB	9,38 cA	4,52 bB	11,20 eA	10,55 eA	9,47 eA	9,50 dA
L655	13,15 cA	8,52 dB	7,30 dA	4,35 bB	14,60 dA	14,35 dA	11,12 eA	9,97 dA
L217	16,65 bA	10,72 cB	6,28 eA	3,52 bB	20,30 cA	17,97 cA	14,55 cA	11,87 cB
L501	14,92 cA	10,55 cB	7,55 dA	4,62 bB	13,07 eA	11,45 eA	9,27 eA	8,45 dA
Média	15,30 A	10,77 B	8,39 A	5,49 B	16,27 A	17,09 A	12,65 A	12,39 A

Médias seguidas da mesma letra em minúscula na coluna pertencem a um mesmo grupo de acordo com o teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra em maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste F a 5 % de probabilidade.

- **Área da plântula – sem estresse salino (SA x CA)**

A área da plântula (AP) sob condição sem estresse salino apresentou redução significativa na média geral após o armazenamento das sementes (SA 2022: 3,69 A; CA 2024: 2,99 B), evidenciando a sensibilidade desse parâmetro ao tempo de estocagem (Tabela 6). Esse comportamento está associado ao processo de deterioração fisiológica, que afeta a integridade celular e compromete o crescimento inicial (Marcos-Filho, 2015).

Os L213, L203, L386, L220, L65, L76, L61, L690, L509, L507, L391, L71, L655, L217 e L501 tiveram reduções significativas na AP, indicando maior susceptibilidade ao armazenamento. Por outro lado, os genótipos P7, L510, L684, P2, P3 e L263 mantiveram estabilidade na AP após o armazenamento, sem diferença estatística entre SA e CA, o que sugere que esses genótipos podem apresentar maior tolerância à perda de vigor. Dentre os genótipos supracitados, P2 (5,05 aA), P3 (4,40 aA) e P7 (4,75 aA) apresentaram as maiores médias de AP após o armazenamento, sendo potenciais candidatos para programas de melhoramento voltados à longevidade e desempenho fisiológico de sementes (Tabela 6).

Esses resultados corroboram estudos como os de Antonello et al. (2009), que relacionam a manutenção da área foliar à capacidade da semente em preservar vigor durante o armazenamento.

Tabela 6: Médias dos 24 genótipos de milho-pipoca para área da plântula (AP) provenientes de sementes germinadas antes (SA) e após o armazenamento (CA) em dois ambientes de salinidade.

Genótipo	AP			
	Sem		Com	
	estresse salino		estresse salino	
	SA	CA	SA	CA
	2022	2024	2022	2024
L472	4,82 cA	3,93 bB	3,05 bA	2,17 aB
L75	5,74 aA	4,50 aB	3,26 aA	2,22 aB
P7	4,89 cA	4,75 aA	2,66 cA	2,11 aB
L510	2,35 fA	2,13 eA	1,11 gA	1,08 dA
L220	3,58 dA	3,05 dB	1,45 fA	1,15 dB
L65	3,70 dA	3,03 dB	1,63 eA	1,45 cA
L386	2,82 fA	1,98 fB	1,58 eA	1,18 dB
L76	3,49 dA	3,03 dB	2,02 dA	1,79 bB
L213	2,96 eA	1,73 fB	1,39 fA	1,07 dB
L684	2,22 eA	1,95 fA	1,40 fA	1,23 dA
L61	3,08 eA	2,43 eB	1,18 gA	1,06 dA
L690	3,25 eA	2,28 eB	1,43 fA	1,15 dB
L203	2,50 fA	1,85 fB	1,525 gA	0,95 dB
L509	3,69 dA	2,25 eB	1,47 fA	1,15 dB
L358	5,13 cA	4,68 aB	2,79 cA	2,35 aB
L507	4,90 cA	3,83 bB	1,18 dA	1,45 cB
P2	5,29 bA	5,05 aA	2,53 cA	1,90 bB
P3	4,55 cA	4,40 aA	2,13 dA	1,75 bB
L391	3,34 eA	2,80 dB	1,65 eA	1,30 cB
L71	3,45 dA	2,65 dB	1,79 eA	1,30 cB
L263	2,28 fA	1,85 fA	1,25 gA	1,18 dA
L655	2,40 fA	1,93 fB	1,35 fA	0,96 dB
L217	4,95 cA	3,43 cB	2,03 dA	1,45 cB
L501	3,15 eA	2,40 eB	1,33 fA	1,11 dB
Média	3,69 A	2,99 B	1,83 A	1,44 B

Médias seguidas da mesma letra em minúscula na coluna pertencem a um mesmo grupo de acordo com o teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra em maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste F a 5 % de probabilidade.

- **Largura da parte aérea – sem estresse salino (SA x CA)**

A média geral da largura da parte aérea (LPA) das plântulas apresentou redução estatisticamente significativa após o armazenamento das sementes, mesmo em ambiente sem estresse salino, passando de 0,26 (SA 2022) para 0,21 (CA 2024) (Tabela 7). O resultado evidencia que o armazenamento afetou negativamente o desenvolvimento lateral da parte aérea das plântulas, indicando perda de vigor fisiológico ao longo do tempo, como também observado por Marcos-Filho (2015) e Baudet (1996), que associam a deterioração das sementes à redução da capacidade de crescimento das estruturas vegetativas.

Apesar da tendência geral de queda, alguns genótipos demonstraram maior tolerância ao armazenamento, mantendo a LPA sem reduções estatisticamente significativas. O genótipo P7 se destacou pela notável estabilidade, com LPA de 0,27 (SA) para 0,24 (CA). Da mesma forma, os genótipos L510 (0,23 para 0,22), L655 (0,24 para 0,21), L501 (0,27 para 0,22) e L71 (0,25 para 0,21) mantiveram suas médias sem diferença estatística, evidenciando excelente estabilidade fisiológica. Esses resultados são desejáveis em programas de melhoramento, pois indicam maior longevidade, vigor e potencial de desempenho das sementes armazenadas.

- **Largura das raízes – sem estresse salino (SA x CA)**

A média geral da largura das raízes (LR) das plântulas sob condição sem estresse salino não apresentou diferença estatisticamente significativa após o armazenamento, com médias de 0,09 A (SA) e 0,08 A (CA) (Tabela 7). Isso indica que, de modo geral, o armazenamento em ambiente controlado não comprometeu essa variável morfológica, demonstrando relativa estabilidade fisiológica no conjunto dos genótipos.

Entretanto, alguns genótipos apresentaram redução significativa na LR após o armazenamento, indicando maior sensibilidade à deterioração. São eles: L386, L76, L213, L684, L690, L203, P2 e L391. Essa resposta negativa sugere menor resistência fisiológica ao armazenamento prolongado (Baudet, 1996). Por outro lado, a maioria dos genótipos manteve a LR estável, sem diferenças estatísticas, incluindo L75, P7, L510, L220, L65, L61, L507, L509, P3, L71, L263, L655, L217, L501 e L358. Destacam-se L75, P7, L655 e L71, que apresentaram as maiores larguras de raiz

(0,09 a 0,10) após o armazenamento, indicando potencial para maior capacidade de absorção hídrica e vigor inicial. O genótipo L358 mostrou melhoria significativa, saindo de 0,07 eB (SA) para 0,08 bA (CA), sugerindo um benefício do armazenamento para este material.

Tabela 7: Médias dos 24 genótipos de milho-pipoca para largura da parte aérea (LPA) e largura das raízes (LR) provenientes de sementes germinadas antes (SA) e após o armazenamento (CA) em dois ambientes de salinidade.

Genótipo	LPA				LR			
	Sem		Com		Sem		Com estresse	
	estresse salino		estresse salino		estresse salino		salino	
	SA	CA	SA	CA	SA	CA	SA	CA
	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024
L472	0,27 bA	0,23 bB	0,15 cA	0,13 bB	0,07 dB	0,07 bA	0,085 dA	0,07 dB
L75	0,26 cA	0,20 cB	0,18 cA	0,15 bB	0,09 bA	0,09 aA	0,10 bA	0,09 aA
P7	0,27 bA	0,24 bA	0,19 cA	0,15 bB	0,09 bA	0,09 aA	0,09 cA	0,08 bB
L510	0,23 dA	0,22 cA	0,20 bA	0,18 aA	0,08 cA	0,08 bA	0,10 bA	0,08 bB
L220	0,25 cA	0,21 cB	0,18 cA	0,15 bB	0,09 bA	0,09 aA	0,09 cA	0,07 cB
L65	0,27 bA	0,21 cB	0,24 aA	0,19 aB	0,08 cA	0,09 aA	0,10 bA	0,09 aB
L386	0,23 dA	0,18 dB	0,21 bA	0,19 aA	0,09 bA	0,08 aB	0,09 cA	0,09 aB
L76	0,23 dA	0,18 dB	0,20 bA	0,15 bB	0,10 aA	0,09 aB	0,10 bA	0,09 aB
L213	0,23 dA	0,18 dB	0,17 cA	0,15 bA	0,09 bA	0,07 bB	0,08 dA	0,07 dB
L684	0,21 dA	0,17 dB	0,20 bA	0,15 bB	0,10 aA	0,08 bB	0,09 cA	0,08 cB
L61	0,24 cA	0,21 cB	0,18 cA	0,15 bB	0,08 cA	0,07 bA	0,09 dA	0,08 cB
L690	0,25 cA	0,17 dB	0,21 bA	0,16 bB	0,10 aA	0,08 aB	0,09 cA	0,08 bB
L203	0,20 dA	0,15 dB	0,19 cA	0,15 bB	0,09 bA	0,08 bB	0,09 cA	0,07 cB
L509	0,27 bA	0,20 cB	0,19 cA	0,14 bB	0,08 cA	0,07 bA	0,08 dA	0,06 eB
L358	0,25 cA	0,19 cB	0,17 cA	0,14 bB	0,07 eB	0,08 bA	0,08 dA	0,07 dB
L507	0,30 aA	0,26 aB	0,19 cA	0,14 bB	0,09 bA	0,09 aA	0,10 bA	0,08 bB
P2	0,29 aA	0,26 aB	0,20 bA	0,19 aA	0,08 cA	0,07 bB	0,09 cA	0,08 bA
P3	0,33 aA	0,26 aB	0,21 bA	0,14 bB	0,09 bA	0,08 aA	0,10 bA	0,08 cB
L391	0,26 bA	0,17 dB	0,19 cA	0,14 bB	0,09 bA	0,08 bB	0,10 bA	0,08 bB
L71	0,25 cA	0,21 cB	0,24 aA	0,20 aB	0,10 aA	0,09 aA	0,11 aA	0,08 bB
L263	0,23 dA	0,19 cB	0,20 bA	0,15 bB	0,08 cA	0,07 bA	0,07 eA	0,07 dA
L655	0,24 cA	0,21 cB	0,22 aA	0,21 aB	0,10 aA	0,10 aA	0,10 aA	0,09 aA
L217	0,30 aA	0,21 cB	0,18 cA	0,16 bB	0,09 bA	0,09 aA	0,09 cA	0,08 bA
L501	0,27 bA	0,22 cB	0,20 bA	0,16 bA	0,09 bA	0,09 aA	0,09 cA	0,08 bB
Média	0,26 A	0,21 B	0,20 A	0,16 B	0,09 A	0,88 A	0,10 A	0,08 B

Médias seguidas da mesma letra em minúscula na coluna pertencem a um mesmo grupo de acordo com o teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra em maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste F a 5 % de probabilidade.

- **Comprimento do coleóptilo – sem estresse salino (SA x CA)**

A análise do comprimento do coleóptilo (CC) revelou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (Tabela 8), indicando que o armazenamento das sementes reduziu essa característica, o que, conseqüentemente, reduziu o vigor fisiológico. Entre os genótipos avaliados, o genótipo P2 se destacou por manter o CC superior mesmo após o período de estocagem, o que demonstra maior tolerância ao estresse provocado pelo armazenamento.

Embora o efeito negativo tenha sido evidente na média geral, é possível observar que algumas linhagens mostraram maior resistência ao preservar comprimentos superiores aos demais (Tabela 8). Resultados semelhantes foram descritos por Baudet (1996), que associou a velocidade de deterioração das sementes ao vigor inicial, destacando que sementes mais vigorosas apresentam maior estabilidade fisiológica durante o armazenamento.

Nesse sentido, Marcos-Filho (2015) ressalta que o comprimento do coleóptilo é um importante indicador do potencial de crescimento da plântula, diretamente ligado à qualidade fisiológica da semente e à sua capacidade de emergência no campo.

Sob condições de estresse salino (Tabela 8), o impacto do armazenamento foi ainda mais evidente. Além disso, o CC foi a característica mais afetada entre as avaliadas. Logo, essa significativa redução no comprimento do coleóptilo é especialmente preocupante, pois essa estrutura é essencial para que ocorra a normal emergência da plântula e o posterior estabelecimento inicial da cultura.

Dessa forma, a diminuição do comprimento do coleóptilo pode ser um fator que pode limitar sua capacidade de emergir do solo para alcançar a luz. Essa resposta é uma confirmação de que o milho-pipoca apresenta sensibilidade às condições adversas e reforça a necessidade de selecionar genótipos mais tolerantes para ambientes salinos (Naseer et al., 2022).

Ademais, a variação observada entre as linhagens estudadas evidencia o potencial de identificar materiais mais resistentes, que sejam capazes de mitigar os efeitos negativos causados pelo armazenamento e pelo estresse salino.

- **Comprimento total – sem estresse salino (SA x CA)**

A média geral do comprimento total (CT) das plântulas apresentou redução estatisticamente significativa entre as duas condições avaliadas: sementes sem armazenamento (SA) e sementes com armazenamento (CA) (Tabela 8). SA: 16,03 A; CA: 13,92 B. Esse resultado evidencia que o armazenamento impactou negativamente o desenvolvimento inicial das plântulas de milho-pipoca, com redução no vigor inicial, mesmo em ambiente sem estresse salino (Tabela 8). Apesar do efeito negativo geral, alguns genótipos demonstraram resistência fisiológica ao armazenamento, mantendo o grupo estatístico de Scott-Knott entre SA e CA.

Destacam-se os genótipos L510, L220, L65, L684, L358, P2, P3, L391 e L263, com destaque para o L358, que manteve o maior CT absoluto em ambas as condições (21,74 cm em SA e 20,75 cm em CA)'. Os genótipos P2 e P3 também apresentaram bom desempenho, embora P2 tenha mudado do grupo "a" para "b". L684 e L263 mantiveram-se no grupo "e" e "d", respectivamente, com valores baixos (em torno de 9-12 cm), indicando que a estabilidade nesses casos reflete baixo vigor, não resistência ao armazenamento.

Por outro lado, a maioria dos genótipos foi significativamente afetada pelo armazenamento, evidenciando sensibilidade à deterioração. Entre eles, destacam-se: L472, L75, P7, L61, L509, L507 e L217. O genótipo L507, por exemplo, apresentou alto desempenho inicial (20,05 cm), mas sofreu redução acentuada no CT após o armazenamento (17,85 cm), além de mudança significativa (A para B).

Esses resultados são consistentes com os encontrados por Félix et al. (2017), que, ao estudarem sementes de *Adonidia merrillii*, observaram redução progressiva no comprimento de plântulas em função do tempo de armazenamento, o que se relaciona diretamente à deterioração fisiológica das sementes. Os maiores comprimentos foram observados antes do armazenamento, reforçando que o tempo de armazenamento influencia negativamente o vigor das plântulas, conforme já descrito por Queiroz et al. (2011).

Nesse estudo, as sementes apresentaram redução média no comprimento de plântulas de 7,22 cm ao longo das etapas de beneficiamento, indicando que tanto o beneficiamento quanto o armazenamento podem atuar de forma cumulativa na redução do vigor. De modo geral, os dados demonstram que o armazenamento afeta

negativamente o comprimento total das plântulas de milho-pipoca, embora alguns genótipos apresentem maior tolerância fisiológica a essa condição, sendo potenciais candidatos para uso em programas de melhoramento voltados à qualidade fisiológica e durabilidade das sementes.

Tabela 8: Médias dos 24 genótipos de milho-pipoca para o comprimento do coleóptilo (CC) e o comprimento total (CT) provenientes de sementes germinadas antes (SA) e após o armazenamento (CA) em dois ambientes de salinidade.

Genótipo	CC				CT			
	Sem		Com		Sem		Com estresse	
	estresse salino		estresse salino		estresse salino		salino	
	SA	CA	SA	CA	SA	CA	SA	CA
	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024
L472	7,12 cA	5,40 aB	3,75 aA	1,96 aB	18,48 bA	15,37 cB	11,49 aA	9,05 bB
L75	6,89 cA	4,95 aB	3,10 bA	1,47 bB	19,42 aA	16,28 cB	10,48 bA	7,57 cB
P7	6,55 dA	4,97 aB	2,50 cA	1,58 bB	20,15 aA	16,42 cB	9,69 cA	8,28 bB
L510	5,25 fA	4,07 bB	1,90 dA	1,82 aA	13,19 cA	13,48 dA	6,57 fA	6,36 dA
L220	7,02 cA	5,20 aB	2,07 cA	1,26 cB	16,19 bA	16,36 cA	7,91 dA	6,50 dB
L65	6,21 dA	4,20 bB	2,09 cA	1,60 bB	17,98 bA	16,82 cA	7,57 eA	7,48 cA
L386	4,53 gA	2,55 dB	1,78 dA	1,21 cB	12,52 dA	9,60 eB	6,60 fA	5,71 eB
L76	5,00 fA	3,41 cB	1,78 dA	1,16 cB	14,13 cA	11,99 dB	7,40 eA	7,42 cA
L213	5,55 eA	3,13 cB	2,03 dA	1,33 cB	13,68 cA	9,38 eB	6,87 fA	5,93 eB
L684	4,13 gA	2,59 dB	2,22 cA	1,51 bB	10,11 eA	9,45 eA	6,94 fA	6,36 dA
L61	6,40 dA	4,25 bB	1,66 dA	1,25 cA	17,50 bA	14,95 cB	7,08 fA	6,36 dA
L690	5,98 eA	2,55 dB	1,82 dA	1,17 cB	14,41 cA	11,16 eB	6,06 gA	5,76 eA
L203	5,41 fA	3,11 cB	1,58 dA	0,87 cB	13,92 cA	9,77 eB	5,96 gA	5,16 fA
L509	7,77 bA	4,83 aB	3,07 bA	1,57 bB	17,87 bA	12,47 dB	8,41 dA	7,30 cB
L358	6,93 cA	4,74 aB	3,71 aA	1,61 bB	21,74 aA	20,75 aA	12,28 aA	11,23 aB
L507	7,70 bA	5,25 aB	3,76 aA	2,05 aB	20,05 aA	17,85 bB	10,81 bA	7,71 cB
P2	8,85 aA	5,30 aB	3,61 aA	2,12 aB	20,28 aA	18,72 bA	10,52 bA	7,97 cB
P3	7,43 bA	5,00 aB	3,05 bA	1,65 bB	17,70 bA	18,68 bA	9,45 cA	8,35 bB
L391	5,15 fA	3,30 cB	2,11 cA	1,20 cB	13,80 cA	13,83 dA	8,07 dA	6,90 dB
L71	6,51 dA	4,00 cB	2,360 cA	1,30 cB	14,80 cA	12,76 dB	8,34 dA	6,58 dB
L263	4,41 gA	2,90 dB	1,655 dA	1,32 cA	12,77 dA	11,97 dA	6,34 gB	7,29 cA
L655	3,81 gA	2,90 dB	2,765 bA	1,05 cB	11,80 dA	9,42 eB	6,22 gA	4,79 fB
L217	7,19 cA	4,50 bB	2,765 bA	1,34 cB	18,14 bA	13,82 dB	8,47 dA	6,67 dB
L501	5,81 eA	4,10 bB	2,012 cA	1,52 bB	15,12 cA	12,63 dB	7,35 eA	6,44 dB
Média	6,15 A	4,01 B	2,41 A	1,46 B	16,03 A	13,92 B	8,21 A	7,05 B

Médias seguidas da mesma letra em minúscula na coluna pertencem a um mesmo grupo de acordo com o teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra em maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste F a 5 % de probabilidade.

- **largura da raiz primária – sem estresse salino (SA x CA)**

A média geral da largura da raiz primária (CRP) manteve-se estável entre os tratamentos, indicando que a diferença observada não foi estatisticamente significativa para o conjunto dos genótipos avaliados (Tabela 9). Esse resultado sugere que, em média, o armazenamento das sementes não compromete a capacidade das plântulas de desenvolver raízes primárias com comprimento adequado em condições ideais de cultivo.

A maioria dos genótipos analisados não apresentou variações significativas no CRP após o armazenamento. O genótipo L358 destacou-se por manter sua média estatisticamente estável e por apresentar o maior comprimento radicular primário entre todos os genótipos avaliados. Por outro lado, os genótipos L213, L203, L509, L217 e P7 apresentaram reduções significativas no CRP, indicando sensibilidade ao armazenamento.

Em contrapartida, os genótipos L220, L65, P2, P3 e L391 mostraram aumento significativo na largura da raiz primária após o armazenamento, sugerindo uma resposta positiva ao período de estocagem (Tabela 9). Resultados semelhantes foram encontrados por Nerling et al. (2015), que observaram aumento na largura da radícula em sementes de milho após o beneficiamento, especialmente com a utilização de mesa densimétrica, devido à remoção de sementes danificadas ou malformadas, resultando em lotes com maior vigor. Além disso, Kerbauy (2008) afirma que a absorção insuficiente de água limita o crescimento das plântulas e o acúmulo de matéria seca, o que pode interferir diretamente no desenvolvimento da raiz primária.

- **Razão entre a raiz e o coleóptilo – sem estresse salino (SA x CA)**

Com relação ao parâmetro razão entre raiz e coleóptilo (RRC) observou-se diferença estatística significativa entre as médias gerais: CA 2024 apresentou média de RRC de 2,63 A, enquanto SA 2022 registrou 1,68 B (Tabela 9). Essa diferença evidencia a influência do armazenamento na morfologia inicial das plântulas. A análise individual dos genótipos revela ampla variabilidade nos dois períodos, o que representa um potencial positivo para a seleção de materiais com maior desempenho morfofisiológico (Carvalho e Nakagawa, 2012).

Em SA 2022, os genótipos P7 (2,17 aA), L358 (2,21 aA) e L655 (2,24 aA) apresentaram as maiores RRC, enquanto os menores valores foram observados nos genótipos L509 (1,31 cA), L71 (1,31 cA), L220 (1,34 cA) e P2 (1,34 cA). Essa diversidade pode indicar estratégias diferenciadas de alocação de recursos entre raiz e parte aérea, mesmo sem estresse abiótico. Na avaliação CA 2024, destacaram-se os genótipos L690 (3,85 aA), L358 (3,45 bA), L391 (3,32 bA), L263 (3,17 bA), L65 (3,16 bA) e L655 (3,11 bA), indicando incremento na RRC. Por outro lado, os genótipos L509 (1,63 eA) e L472 (1,90 eA) mantiveram os menores valores.

A maioria dos genótipos apresentou aumento significativo na RRC após armazenamento, exceto os genótipos L509 e L472. Alguns materiais, como L358 e L655, mantiveram RRC elevada em ambos os anos, mas não necessariamente estável. Já os genótipos L690 e L65 demonstraram expressiva elevação na RRC em CA 2024, o que pode refletir maior plasticidade fenotípica (Taiz et al., 2017).

A interpretação da RRC deve considerar o objetivo da seleção. Valores mais elevados podem indicar vantagem em ambientes com limitações hídricas e nutricionais, devido ao maior desenvolvimento do sistema radicular (Bewley et al., 2013). No entanto, em determinadas situações, um coleóptilo mais longo pode ser desejável para favorecer a emergência em solos compactados ou profundos (Carvalho e Nakagawa, 2012).

A diferença observada entre as avaliações, aliada à reclassificação do desempenho de diversos genótipos, reforça a importância de testar os materiais em diferentes épocas e ambientes, mesmo sem estresse explícito. Isso contribui para uma avaliação mais precisa da expressão genética e fenotípica dos genótipos. Genótipos como L358 e L655 mantiveram RRC elevada, mas com mudança significativa, sendo candidatos promissores em programas de melhoramento voltados ao vigor inicial e estabelecimento de plântulas.

Tabela 9: Médias dos 24 genótipos de milho-pipoca para razão entre a raiz e coleóptilo (RRC) e comprimento da raiz (CR) provenientes de sementes germinadas antes (SA) e após o armazenamento (CA) em dois ambientes de salinidade.

Genótipo	RRC				CR			
	Sem		Com		Sem		Com estresse	
	estresse salino		estresse salino		estresse salino		salino	
	SA	CA	SA	CA	SA	CA	SA	CA
	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024
L472	1,62 cA	1,90 eA	2,24 bB	3,99 cA	11,35 cA	9,97 eA	7,73 bA	7,08 bA
L75	1,88 bB	2,44 cA	2,68 aB	4,78 bA	12,53 bA	11,33 dA	7,39 cA	6,10 cB
P7	2,17 aA	2,45 cA	3,16 aB	4,75 bA	13,61 aA	11,45 dB	7,20 cA	6,69 bA
L510	1,56 cB	2,38 cA	2,61 aA	2,92 dA	7,95 dA	9,41 eA	4,68 eA	4,53 dA
L220	1,34 cB	2,25 dA	3,08 aB	4,74 bA	9,17 dB	11,17 dA	5,83 dA	5,25 cA
L65	1,77 bB	3,16 bA	2,77 aB	3,97 cA	10,76 cB	12,62 cA	5,48 dA	5,88 cA
L386	1,81 bB	2,93 bA	2,79 aB	3,89 cA	8,00 dA	7,06 fA	4,82 eA	4,50 dA
L76	1,85 bB	2,64 cA	3,44 aB	5,81 aA	9,13 dA	8,57 eA	5,61 dA	6,18 cA
L213	1,50 cB	2,08 dA	2,52 aB	3,98 cA	8,13 dA	6,25 fB	4,84 eA	4,59 dA
L684	1,50 cB	2,71 cA	2,25 bB	3,45 dA	5,99 eA	6,86 fA	4,71 eA	4,85 dA
L61	1,77 bB	2,64 cA	3,48 aB	4,53 bA	11,09 cA	10,71 dA	5,42 dA	5,10 dA
L690	1,48 cB	3,85 aA	2,55 aB	4,32 cA	8,43 dA	8,61 eA	4,24 eA	4,59 dA
L203	1,62 cB	2,33 cA	3,00 aB	5,27 bA	8,50 dA	6,65 fB	4,38 eA	4,29 dA
L509	1,31 cA	1,63 eA	1,88 bB	4,99 bA	10,10 dA	7,63 fB	5,34 dA	5,72 cA
L358	2,21 aB	3,45 bA	2,57 aB	6,35 aA	14,81 aA	16,01 aA	8,56 aA	9,61 aA
L507	1,62 cB	2,47 cA	2,00 bB	3,30 dA	12,36 bA	12,59 cA	7,05 cA	5,66 cB
P2	1,34 cB	2,57 cA	2,13 bB	3,08 dA	11,45 cB	13,41 bA	6,40 cA	5,84 cB
P3	1,45 cB	2,66 cA	2,32 bB	4,76 bA	10,26 cB	13,68 bA	6,40 cA	6,70 bA
L391	1,75 bB	3,32 bA	2,98 aB	5,15 bA	8,64 dB	10,52 dA	5,96 dA	5,70 cA
L71	1,31 cB	2,67 cA	2,61 aB	4,30 cA	8,29 dA	9,16 eA	5,98 dA	5,28 cA
L263	1,96 bB	3,17 bA	1,81 bB	4,83 bA	8,35 dA	9,07 eA	4,69 eA	5,97 cA
L655	2,24 aB	3,11 bA	3,05 aA	3,87 cA	7,99 dA	6,98 fA	4,69 eA	3,74 dB
L217	1,53 cB	2,21 dA	2,68 aB	4,25 cA	10,99 cA	9,32 eB	5,71 dA	5,33 cA
L501	1,62 cB	2,11 dA	2,82 aB	3,93 cA	9,31 dA	8,52 eA	5,34 dA	4,91 dA
Média	1,68 B	2,63 A	2,65 B	4,39 A	9,89 A	9,90 A	5,79 A	5,59 A

Médias seguidas da mesma letra em minúscula na coluna pertencem a um mesmo grupo de acordo com o teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra em maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste F a 5 % de probabilidade.

5.2 Efeito do armazenamento no desempenho das linhagens em ambiente COM estresse salino

A análise conjunta evidencia que houve diferença estatística significativa ($p \leq 0,01$) para a fonte de variação genótipos (G) em todos os 13 caracteres avaliados no estudo, conforme indicado pelo teste F (Tabela 10). Tais resultados demonstram que há variabilidade genética expressiva entre os genótipos de milho-pipoca quanto à resposta ao estresse salino, tanto antes quanto após o armazenamento das sementes. Essa variabilidade é um fator essencial para programas de melhoramento, pois permite ao melhorista a identificação de genótipos com desempenho superior sob condições adversas (Carvalho; Nakagawa, 2012; Bewley et al., 2013).

Para a fonte de variação armazenamento (A), foram observadas diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,01$) para índice de velocidade de germinação, germinação, sementes não germinadas, peso seco da parte aérea, área da plântula, largura da parte aérea, largura da raiz, comprimento do coleóptilo e razão raiz/coleóptilo. Por outro lado, o armazenamento não teve efeito significativo ($p > 0,05$) sobre plântulas anormais, peso seco da raiz, comprimento da raiz (CR) e comprimento total (CT). Esses resultados indicam que o armazenamento influenciou de forma seletiva o desempenho fisiológico e morfológico das plântulas sob estresse salino.

A interação entre genótipo e armazenamento ($G \times A$) foi significativa ($p < 0,05$) para IVG, PSPA, AP, LR, RRC, CR, CC e CT. Não foi significativa para G, PA, NG, PSR e LPA. A significância desta interação para várias variáveis indica que os genótipos responderam de maneira diferenciada ao armazenamento quando submetidos ao estresse salino. Tal interação reforça a importância de se considerar múltiplos ambientes e condições de armazenamento nas avaliações, a fim de obter estimativas mais precisas do potencial genético (Marcos-Filho, 2015).

A presença de diferenças significativas para RRC (razão entre raiz e coleóptilo), com destaque para a influência tanto dos genótipos quanto do armazenamento, é especialmente relevante. A RRC é uma variável associada à estratégia de crescimento inicial da plântula, podendo indicar maior alocação de recursos ao sistema radicular em ambientes de estresse, o que favorece a adaptação em solos com baixa disponibilidade hídrica ou salinizados (Taiz et al., 2017). Esses resultados, somados aos CV% aceitáveis e às médias observadas,

revelam que os dados obtidos são consistentes e confiáveis para subsidiar a seleção de genótipos mais adaptados ao estresse salino, mesmo após períodos de armazenamento.

Tabela 10: Estimativas dos quadrados médios da análise de variância conjunta para 13 características físicas e fisiológicas de sementes e plântulas de 24 linhagens endogâmicas de milho-pipoca em ambiente com estresse salino antes e depois do armazenamento.

FV	GL	IVG	G	PA	NG	PSPA	PSR	AP
			%		mg plântula ⁻¹			cm ²
Genótipos (G)	23	5,83**	411,65**	369,70**	21,53**	19,57**	93,28**	2,17**
Armazenamento (A)	1	88,47**	3468,0**	1430,08 ^{ns}	444,08**	404,84**	3,12 ^{ns}	7,34**
G X A	23	2,24**	56,0 ^{ns}	52,17 ^{ns}	10,69 ^{ns}	7,18**	3,62 ^{ns}	0,12**
Resíduo	138	0,16	41,08	35,56	8,98	0,75	2,29	0,02
CV (%)		4,29	7,24	64,92	129,60	12,46	12,08	8,80
Média		9,44	88,5	9,19	2,31	6,94	12,52	1,63
			LPA	LR	RRC	CR	CC	CT
			cm					
Genótipos	23	0,00305**	0,00048**	2,22**	10,18**	2,03**	19,02**	
Armazenamento (A)	1	0,06486**	0,00844**	145,80**	1,95 ^{ns}	43,93**	63,98 ^{ns}	
G X A	23	0,00042 ^{ns}	0,00005**	1,30**	0,90**	0,58**	1,81**	
Resíduo	138	0,00028	0,00002	0,37	0,33	0,09	0,33	
CV (%)		9,17	5,41	17,33	10,11	15,94	7,57	
Média		0,18	0,09	3,51	5,70	1,93	7,62	

FV: fonte de variação; GL: graus de liberdade; CV: coeficiente de variação; IVG: índice de velocidade de germinação; G: germinação; PA: plântulas anormais; NG: sementes não germinadas; PSPA: peso seca da parte aérea; PSR: peso seca da raiz, AP: área da plântula; LPA: largura da parte aérea; LR: largura da raiz; RRC: razão entre raiz e coleóptilo; CR: comprimento da raiz; CC: comprimento do coleóptilo; CT: comprimento total. *, **, significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

- **Germinação – com estresse salino (SA x CA)**

A média geral da germinação (G) sob estresse salino apresentou redução estatisticamente significativa a 5% de probabilidade após o armazenamento, passando de 92,8% (SA) para 84,2% (CA) (Tabela 3). No entanto, a resposta ao armazenamento variou significativamente entre os genótipos. Alguns mostraram sensibilidade acentuada, com queda significativa na germinação após o armazenamento, especialmente sob estresse salino. Entre eles destacam-se: P7, L220, L65, L386, L76, L213, L358, L507 e L391, sendo os genótipos L220 (87% bA para 70% dB), L358 (100% aA para 82% cB) e L386 (95% aA para 78% cB) os mais afetados.

Por outro lado, diversos genótipos mantiveram estabilidade na germinação mesmo sob estresse salino. Entre esses, destacam-se L472, L510, L684, L61, L690, L203, L509, P2, P3, L71, L263, L655, L217 e L501. É crucial notar que genótipos como L690, L263 e L217, apesar de estáveis, já possuíam germinação inicial (SA) baixa (<90%). Dentre os estáveis, os genótipos L472, L510, L71 e L501 mantiveram percentuais elevados ($\geq 94\%$) mesmo após o armazenamento.

A manutenção da germinação em ambiente salino é um indicativo de tolerância ao estresse, já que a salinidade reduz a disponibilidade hídrica para embebição e prejudica processos fisiológicos essenciais à germinação (Hussain; Kumar, 2022). Além disso, o excesso de íons, como o Cl^- , pode comprometer o metabolismo celular, afetando a atividade enzimática e a produção de energia, o que prejudica a emergência de plântulas (Larcher, 2006). A salinidade em sementes afeta negativamente a germinação, o estande das plantas, o desenvolvimento vegetativo das culturas, a produtividade e, nos casos mais graves, causa a morte das plântulas (Silva e Pruski, 1997).

A alta concentração de sais é um fator de estresse para as plantas, pois reduz o potencial osmótico, retraindo água, além da ação dos íons sobre o protoplasma. Algumas espécies, tais como sorgo, milho, feijão e trigo, são menos afetadas durante a fase inicial de seu ciclo (François et al., 1984; Maas et al., 1986).

- **Índice de velocidade de germinação – com estresse salino (SA x CA)**

A análise do Índice de Velocidade de Germinação (IVG) sob estresse salino evidenciou uma redução significativa na média geral após o armazenamento das sementes (Tabela 3). Esse comportamento indica que o armazenamento influencia negativamente a velocidade de germinação, comprometendo o desempenho fisiológico das sementes em ambientes com salinidade (Conus et al., 2009). A maioria dos genótipos apresentou quedas estatisticamente significativas no IVG, o que demonstra a sensibilidade do milho-pipoca à combinação de armazenamento prolongado e salinidade.

Entre os mais afetados, destacam-se L220, L65, L386, L76, L213, L684, L61, L690, L203, L509, L358, P2, P3, L391, L71, L655, L217 e L501, que tiveram reduções significativas. Os genótipos L61 (11,75 aA para 9,71 cB), L263 (12,21 aA para 9,12 cB) e L655 (11,74 aA para 9,53 cB) foram os mais afetados. Por outro lado, alguns genótipos revelaram estabilidade frente às condições impostas.

O genótipo L472 manteve o IVG estável (10,35 bA para 10,40 bA), o que o torna um material promissor para ambientes salinos. O genótipo L75 também apresentou estabilidade (9,21 dA para 8,83 dA), embora com valores mais baixos. Esses resultados reforçam a importância da variabilidade genética quanto à tolerância ao estresse em sementes armazenadas (Krzyzanowski et al., 2020).

Comportamentos diferentes foram observados nos genótipos P7 (9,68 cB para 11,25 aA) e L510 (8,47 eB para 9,48 cA), que apresentaram aumento significativo no IVG após o armazenamento. Essa resposta pode sugerir que exista a possibilidade de que o armazenamento tenha promovido ou induzido mecanismos fisiológicos que favoreceram a velocidade de germinação sob salinidade nestes materiais. A redução média no IVG devido ao armazenamento sob salinidade foi de 13,4%. O que pode estar associada à menor velocidade de absorção de água pelas sementes, provocada pelo aumento do potencial osmótico do substrato, dificultando o processo de embebição (Dias; Blanco, 2010; Taiz et al., 2017).

De forma geral, o efeito combinado entre genótipo, armazenamento e salinidade teve impacto negativo sobre o IVG para a maioria dos materiais, o que reflete diretamente na velocidade de emergência e estabelecimento das plântulas. Esses achados ressaltam a importância da seleção de materiais geneticamente mais

estáveis e adaptados, sobretudo em regiões sujeitas à salinização dos solos e à necessidade de armazenamento prolongado.

- **Plântulas anormais – com estresse salino (SA x CA)**

A média geral de plântulas anormais (PA) foi ligeiramente superior nas sementes armazenadas em comparação àquelas sem armazenamento, porém, essa diferença não foi estatisticamente significativa. Esse resultado sugere que o armazenamento, de forma isolada, não promoveu um aumento expressivo na formação de plântulas anormais sob estresse salino. Apesar disso, a análise individual dos genótipos revela que um número considerável apresentou aumentos significativos no percentual de plântulas anormais após o armazenamento, o que indica que a combinação entre armazenamento e estresse salino pode comprometer a formação de plântulas normais.

Entre os genótipos mais afetados destacam-se: L220, que quase duplicou o percentual de anormalidades; L386, com aumento expressivo; L76, L213, e L358, que passou de ausência para presença significativa de plântulas anormais; além de L507 e L391. Esses materiais demonstram maior vulnerabilidade aos efeitos combinados dos dois fatores avaliados. Em contrapartida, alguns genótipos mantiveram baixos percentuais de plântulas anormais mesmo após o armazenamento em ambiente salino, indicando maior resiliência fisiológica. Entre eles, destacam-se L472, L510, L684, L509, P2, L71 e L501, todos com diferenças estatisticamente significativas, evidenciando melhor tolerância ao estresse e estabilidade fisiológica (Tabela 4).

De acordo com Carvalho e Nakagawa (2000), sementes com alto vigor apresentam maior capacidade de suportar estresses ambientais, o que pode explicar o bom desempenho de alguns genótipos mesmo após o armazenamento. França-Neto, Krzyzanowski e Henning (2010) ressaltam que sementes de médio ou baixo vigor geram plântulas frágeis, com baixa probabilidade de estabelecerem-se adequadamente no campo.

O aumento da concentração salina no substrato está diretamente associado ao maior percentual de plântulas anormais, em decorrência do efeito tóxico dos sais sobre os tecidos embrionários (Campos; Assunção, 1990; Lima et al., 2005). A germinação em substrato salino é amplamente utilizada para avaliar a tolerância das

sementes ao estresse, sendo que a redução do vigor germinativo, quando comparado ao ambiente não salino, reflete o grau de sensibilidade da espécie à salinidade (Oliveira et al., 2017).

- **Sementes não germinadas – com estresse salino (SAx CA)**

A média geral de sementes não germinadas (NG) foi inferior nas amostras sem armazenamento e superior nas sementes armazenadas (Tabela 4). No entanto, essa diferença não foi estatisticamente significativa quando se considera o conjunto dos genótipos. Isso indica que, embora o armazenamento tenda a aumentar o percentual de sementes que não germinam sob estresse salino, esse efeito não se manifesta de maneira uniforme entre os genótipos.

Alguns genótipos apresentaram aumento estatisticamente significativo no percentual de sementes não germinadas após o armazenamento, sugerindo perda de viabilidade em função da combinação entre estresse salino e tempo de armazenamento. Entre eles, destacam-se P7, L684, L509, L358, L263, L655 e L217, nos quais a capacidade de germinação foi significativamente comprometida. Por outro lado, a maioria dos genótipos demonstrou maior estabilidade fisiológica. Genótipos como L472, L75, L510, L220, L65, L386, L76, L213, L61, L609, L203, L507, P2, P3, L391, L71 e L501 mantiveram percentuais de sementes não germinadas, baixos e sem variação significativa entre as condições de armazenamento. Dentre esses, L510, L203 e P2 apresentaram os melhores resultados, mantendo a viabilidade germinativa mesmo sob estresse salino após o armazenamento, o que evidencia maior tolerância às condições adversas.

Braccini et al. (1996) reforçam que a toxicidade dos sais pode provocar inibição da germinação ao limitar a disponibilidade hídrica. Além disso, Larcher (2006) aponta que o excesso de íons, como o cloreto (Cl^-), causa distúrbios fisiológicos, como intumescência protoplasmática e inibição enzimática, resultando em falhas no metabolismo energético e na assimilação de nutrientes, o que compromete o processo germinativo.

Portanto, a resposta das sementes de milho-pipoca ao armazenamento em condições salinas varia significativamente entre os genótipos, sendo essencial considerar essa interação na seleção de materiais mais adaptados aos ambientes com estresse abiótico. Tais efeitos estão associados à menor absorção de água

pelas sementes em ambientes salinos, devido à redução do potencial hídrico, o que retarda a embebição e, conseqüentemente, o início da germinação (Wu et al., 2015; Nasri et al., 2016).

- **Peso seco da parte aérea – com estresse salino (SA x CA)**

O peso seco da parte aérea (PSPA) das plântulas apresentou diferença estatisticamente significativa entre as médias das duas condições avaliadas: sementes sem armazenamento (SA) e sementes com armazenamento (CA) (Tabela 5). Esse resultado evidencia que o armazenamento, quando associado ao estresse salino, intensifica os efeitos negativos sobre o vigor inicial das plântulas, tornando-se um fator limitante para o acúmulo de biomassa na parte aérea.

A análise individual dos genótipos sob essa condição de estresse combinado revelou que a maioria apresentou reduções significativas no PSPA após o armazenamento, indicando perda de vigor inicial. Entre os genótipos mais afetados destacam-se: L358, que possuía o maior PSPA em SA e sofreu uma das maiores reduções após o armazenamento; além de L472, L75, P7, L220, L65, L76, L684, L690, L509, L507, P2, P3, L391, L71, L263, L655, L501 e L217. Este último apresentou o menor PSPA entre todos os genótipos após o armazenamento, demonstrando alta sensibilidade à condição de duplo estresse (Tabela 5).

Embora a raiz seja o primeiro órgão a entrar em contato com o sal no solo, é na parte aérea que se observam os maiores danos fisiológicos, com reduções de até 57,3% no comprimento do caule (SL) e 45,8% na massa seca da parte aérea (Munns; Sharp, 1993). Temoteo et al. (2015) também relataram efeitos negativos da salinidade sobre o crescimento de mudas de café conilon, mesmo em níveis moderados de condutividade elétrica, com reduções na altura, diâmetro do caule, número de ramos e massa seca.

De forma semelhante, Leite et al. (2022), estudando sementes de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), observaram que a salinidade a partir de 25 mM de NaCl já compromete significativamente a germinação e o acúmulo de biomassa aérea e radicular. Em milho-pipoca, Souza et al. (no prelo) verificaram redução expressiva no desenvolvimento das plântulas a partir de 50 mM de NaCl, reforçando que a salinidade compromete diretamente a fase inicial de crescimento.

Portanto, os resultados indicam que a interação entre armazenamento e estresse salino tem efeito prejudicial marcante sobre o crescimento da parte aérea, sendo este um parâmetro sensível e eficaz para a detecção de perda de vigor em sementes armazenadas sob condição de estresse salino.

- **Peso seco da raiz – com estresse salino (SA x CA)**

A média geral do peso seco da raiz (PSR) sob estresse salino não apresentou diferença estatisticamente significativa entre SA (12,65 A) e CA (12,39 A) (Tabela 5). Esse resultado indica que, de forma geral, o armazenamento não comprometeu significativamente o desenvolvimento do sistema radicular das plântulas mesmo sob estresse salino, contrastando com o que foi observado para o peso seco da parte aérea, onde os efeitos negativos do armazenamento foram mais evidentes.

A análise individual revelou que apenas os genótipos L472, L75, P7, L358, L507, P2, P3, L71 e L217 apresentaram alterações significativas. Desses, L472, L71 e L217 tiveram reduções. Enquanto L507 e P3 demonstraram maior sensibilidade ao estresse combinado no que se refere ao desenvolvimento radicular. Tais efeitos estão associados à menor absorção de água pelas sementes em ambientes salinos, devido à redução do potencial hídrico, o que retarda a embebição e, conseqüentemente, o início da germinação (Wu et al., 2015; Nasri et al., 2016). Por outro lado, a maioria dos genótipos manteve o PSR estável entre as condições SA e CA, indicando tolerância fisiológica ao armazenamento e à salinidade.

Destacam-se os genótipos L75 e P7, pois eles mantiveram seus valores no grupo de maior vigor sem variação significativa, e os genótipos P2 e L507, que apresentaram mudanças significativas, sendo que o L507 teve aumento. Esses resultados indicam que o sistema radicular, em comparação com a parte aérea, foi menos afetado pela combinação entre armazenamento e salinidade. A maior estabilidade observada pode estar relacionada à maior resistência das raízes ao estresse osmótico, o que tem sido relatado em estudos anteriores.

- **Área da plântula – com estresse salino (SA x CA)**

A área da parte aérea (AP) das plântulas apresentou redução significativa na média geral após o armazenamento das sementes, evidenciando um impacto negativo no desenvolvimento inicial sob estresse salino (Tabela 6). A diminuição da

área foliar está associada a menor vigor e menor capacidade de crescimento inicial em ambientes adversos, como apontam estudos de Munns e Tester (2008), que destacam a salinidade como um dos principais fatores que limitam o crescimento vegetal, principalmente, por reduzir a expansão celular e afetar o equilíbrio hídrico das plântulas.

A maioria dos genótipos avaliados sofreu queda estatisticamente significativa na AP após o armazenamento em condição salina, indicando maior sensibilidade à combinação dos dois fatores (Tabela 6).

Entre os genótipos mais afetados, destacam-se L472 e L75, com reduções expressivas na área foliar, além de L76, P2 e P3, que também apresentaram perdas significativas. Esses dados reforçam a ideia de que o armazenamento pode agravar os efeitos da salinidade, comprometendo o estabelecimento inicial das plântulas. Por outro lado, um pequeno grupo de genótipos manteve a área da parte aérea estável, sem diferenças estatísticas significativas entre as condições com e sem armazenamento. Essa estabilidade pode indicar maior capacidade adaptativa, sendo observada nos genótipos L510, L65, L684, L61 e L263.

Embora esses materiais tenham mantido áreas relativamente menores, a constância frente ao estresse é um indicativo positivo de tolerância fisiológica. Genótipos com essa característica são preferíveis em regiões com alta salinidade e necessidade de armazenamento de sementes, como destacam Ashraf e Foolad (2005), ao abordarem a importância da seleção de materiais tolerantes em fases iniciais do desenvolvimento. Uma resposta diferenciada foi observada no genótipo L507, que apresentou aumento estatisticamente significativo na área da parte aérea após o armazenamento, mesmo sob estresse salino.

Esse resultado sugere a possibilidade de um efeito positivo do armazenamento nesse genótipo, possivelmente relacionado à ativação de mecanismos adaptativos. Assim, os dados evidenciam que a área da parte aérea é uma variável sensível à interação entre armazenamento e salinidade, sendo útil para identificar genótipos mais estáveis ou promissores para ambientes adversos.

- **Largura da parte aérea – com estresse salino (SA x CA)**

A média geral da largura da parte aérea (LPA) apresentou redução significativa nas sementes armazenadas (Tabela 7), indicando que o

armazenamento impacta negativamente a capacidade das sementes de produzir plântulas com desenvolvimento lateral adequado, efeito que é agravado pelo estresse salino.

Essa diminuição na largura da parte aérea reflete menor vigor e desenvolvimento inicial menos robusto das plântulas. A maioria dos genótipos apresentou queda significativa na LPA após o armazenamento sob condições salinas, demonstrando que o armazenamento compromete o crescimento lateral da parte aérea em ambientes com salinidade. Entre os genótipos mais afetados destacam-se L65, L71 e P3, que tiveram reduções significativas após o armazenamento (Tabela 7). Em ambientes salinos, o crescimento da parte aérea é mais prejudicado que o das raízes (Teermaat; Munns, 1986).

De acordo com Taiz e Zeiger (2017), a razão entre raiz e parte aérea é regulada pelo equilíbrio entre a absorção de água pelas raízes e a fotossíntese na parte aérea. Assim, quando a absorção de água pelas raízes diminui devido aos estresses abióticos, como a salinidade, a expansão da parte aérea também é reduzida. Essa resposta minimiza o consumo de carbono e energia, permitindo que uma maior proporção dos assimilados seja direcionada ao crescimento do sistema radicular, aumentando a razão raiz: parte aérea.

- **Largura da raiz – com estresse salino (SAx CA)**

A média geral da largura da raiz (LR) apresentou redução estatisticamente significativa após o armazenamento das sementes (Tabela 7), indicando impacto negativo na capacidade das sementes de desenvolver raízes laterais mais largas sob estresse salino.

Essa diminuição pode refletir menor vigor e desenvolvimento menos robusto do sistema radicular em condições adversas, conforme apontam Taiz e Zeiger (2017), que destacam que o estresse salino reduz a expansão celular e o crescimento radicular, comprometendo a absorção hídrica e nutricional.

A maioria dos genótipos apresentou queda significativa na LR após o armazenamento em ambiente salino, evidenciando que o armazenamento agrava os efeitos do estresse sobre o desenvolvimento lateral das raízes. Por outro lado, um pequeno grupo de genótipos manteve a LR estável após o armazenamento, mesmo sob estresse salino.

Genótipos como L75, P2, L263, L655 e L217 demonstraram resistência ao duplo estresse, preservando a robustez inicial das raízes, o que é essencial para o estabelecimento e a sobrevivência da planta em ambientes desafiadores. Essa estabilidade pode indicar mecanismos fisiológicos adaptativos que mitigam os efeitos da salinidade e do armazenamento.

- **Comprimento do coleóptilo – com estresse salino (SA x CA)**

A média geral do comprimento do coleóptilo (CC) após o armazenamento (CA) sob estresse salino apresentou redução estatisticamente significativa (SA: 2,41 A; CA: 1,46 B), indicando que a condição de armazenamento das sementes contribuiu para a perda de vigor, o que afetou a capacidade de alongamento dessa estrutura (Tabela 8).

O encurtamento do coleóptilo pode dificultar a emergência das plântulas, especialmente em condições adversas como a salinidade. Dos 24 genótipos estudados, 19 apresentaram redução significativa no CC após o armazenamento sob salinidade. Genótipos como L203, L655, L386, L690 e L217 destacaram-se pelas maiores perdas, o que sugere maior sensibilidade do coleóptilo à interação entre estresse salino e tempo de armazenamento.

Em contrapartida, genótipos como L510, L61 e L263 mantiveram comprimentos estáveis, mesmo após o armazenamento, demonstrando maior tolerância fisiológica.

- **Comprimento total – com estresse salino (SA x CA)**

A análise do comprimento total (CT) das plântulas revelou uma diferença estatisticamente significativa entre as duas condições de estresse salino, com a média geral indicando que a condição com armazenamento (CA) foi, em média, mais restritiva ao desenvolvimento das plântulas do que a condição sem armazenamento (SA) (Tabela 8). Este resultado sugere que o armazenamento das sementes, possivelmente por afetar o vigor inicial, intensifica os efeitos negativos do estresse salino sobre o crescimento das plântulas.

A maioria dos genótipos apresentou redução significativa no comprimento total sob a condição CA. É o caso dos genótipos L472, L75 e P7, que, apesar de

apresentarem bom desenvolvimento em SA, sofreram quedas expressivas em CA. O genótipo L358, embora tenha mantido o maior valor absoluto de CT em condição de armazenamento, também teve redução significativa em relação ao seu desempenho em SA.

Outros genótipos como L386, L213 e L655, que já apresentavam baixos valores de CT em SA, tiveram seu crescimento ainda mais comprometido em CA, evidenciando maior sensibilidade ao armazenamento associado ao estresse salino. Por outro lado, alguns genótipos mostraram estabilidade fisiológica, sem diferença estatisticamente significativa entre as duas condições. Entre eles destacam-se L510, L65, L76, L684 e L61, cujos desempenhos foram mantidos mesmo após o armazenamento. Também fazem parte deste grupo L690 e L203, que, embora tenham apresentado baixos valores de CT em ambas as condições, demonstraram constância nos resultados, o que pode indicar uma tolerância basal ao estresse. Esses dados reforçam a ideia de que o vigor das sementes é um fator determinante para o estabelecimento das plântulas em ambientes salinos, especialmente após o armazenamento.

- **Comprimento da raiz primária – com estresse salino (SA x CA)**

A análise do comprimento da raiz primária (CR) sob estresse salino indicou que, em termos médios, o armazenamento não exerceu efeito estatisticamente significativo sobre os genótipos avaliados (SA: 5,79 A; CA: 5,59 A) (Tabela 9). Este resultado é relevante, pois sugere que, de forma geral, a capacidade das sementes em originar plântulas com raízes adequadas foi preservada, mesmo sob condições de estresse salino.

Entretanto, análises individuais revelaram que os genótipos L75, L507, P2, L655, L213, L203 e L509 apresentaram redução significativa no CR após o armazenamento. O genótipo L655, por exemplo, teve uma das maiores reduções (4,69 eA para 3,74 dB). Por outro lado, 17 dos 24 genótipos estudados mostraram resistência, mantendo o desenvolvimento radicular estável mesmo após o armazenamento. O genótipo L358, por exemplo, apresentou os maiores valores de CR em ambas as condições (SA: 8,56 aA; CA: 9,61 aA) e não sofreu redução, destacando-se pela estabilidade fisiológica.

Genótipos como L76, P3 e L263 apresentaram aumento significativo no CR após o armazenamento, sugerindo possível efeito benéfico desse fator. Outros genótipos L472, P7, L510, L220, L65, L386, L684, L61, L690, L391, L71, L217 e L501 também mantiveram o comprimento da raiz sem diferenças estatisticamente significativas, mesmo sob salinidade, o que reforça sua tolerância fisiológica ao estresse em estudo.

A redução do crescimento radicular em alguns genótipos está associada aos efeitos da salinidade sobre os tecidos dos vegetais, especialmente as raízes e sementes. Segundo Cavalcante et al. (2019), a exposição às concentrações elevadas de sais pode comprometer o desenvolvimento inicial das plântulas e reduzir a produção de massa seca tanto do hipocótilo quanto do sistema radicular, como foi evidenciado no presente estudo.

- **Razão entre a raiz e o coleóptilo – com estresse salino (SA x CA)**

A média geral da razão entre raiz e coleóptilo (RRC) aumentou significativamente em sementes armazenadas (CA 2024) em comparação às sementes sem armazenamento (SA 2022) sob estresse salino (Tabela 9). Este aumento sugere que o armazenamento promoveu uma maior alocação de recursos para o desenvolvimento radicular em detrimento do coleóptilo, o que pode ser uma resposta adaptativa das plantas para aumentar a exploração do solo em busca de água e nutrientes em ambientes salinos (Munns e Tester, 2008). Observa-se que praticamente todos os genótipos apresentam incremento na RRC após o armazenamento, com destaques para L358, L76, L509 e L203, que apresentaram aumentos expressivos, alcançando valores de RRC superiores a 2,5 em CA 2024, com valores próximos ou abaixo de 2,2 em SA 2022.

Esses genótipos mostram maior aptidão para desenvolver sistemas radiculares mais extensos sob estresse salino, o que pode conferir maior tolerância. Em contrapartida, genótipos como L510, L684, L507 e P2 apresentaram aumento mais modesto na RRC após o armazenamento, mantendo-se entre os grupos de menor razão raiz: coleóptilo, com valores próximos a 2,0 em CA 2024. Essa resposta sugere que esses genótipos alocam os recursos de forma menos intensa para o crescimento radicular sob estresse combinado de armazenamento e salinidade. O aumento da RRC alinha-se às estratégias de adaptação em que as

plantas limitam o crescimento do coleóptilo para favorecer o sistema radicular, que é crucial para a absorção de água e nutrientes em ambientes estressantes (Taiz e Zeiger, 2017).

Além disso, o processo de armazenamento pode ter desencadeado mecanismos de pós-maturação que alteram a dinâmica hormonal da semente, influenciando o padrão de crescimento da plântula (Carvalho e Nakagawa, 2000). Portanto, os resultados indicam que o armazenamento pode favorecer a plasticidade morfológica das plântulas, promovendo um sistema radicular mais desenvolvido frente ao estresse salino, o que é uma característica desejável para o cultivo em ambientes adversos.

5.3 Índice de Tolerância ao Estresse – Salino (sem armazenamento e com armazenamento)

As figuras 1 e 2 representam o índice de tolerância ao estresse salino (ITES) dos genótipos avaliados nas condições sem armazenamento e com armazenamento.

Na condição sem armazenamento (Figura 1), os genótipos L684 (0,76), L472 (0,73) e L263 (0,72) apresentaram os maiores ITES, enquanto L690 (0,57), L220 (0,58) e L217 (0,58) tiveram os menores índices. A maioria dos genótipos concentrou-se na faixa de 0,60 a 0,70, indicando tolerância moderada ao estresse salino em sementes recém-colhidas.

Após o armazenamento (Figura 2), L684 manteve o maior índice (0,76), demonstrando estabilidade fisiológica. L386 (0,72) e L213 (0,70) também se destacaram positivamente, enquanto L220 (0,55), P3 (0,57) e L217 (0,58) permaneceram com os menores valores. Nota-se uma leve redução média no ITES pós-armazenamento, sugerindo que este fator pode comprometer a tolerância ao estresse salino em alguns genótipos. A estabilidade de genótipos como L684, L263, L472 e L213 está possivelmente relacionada à integridade das membranas celulares e à eficiência do sistema antioxidante, conforme discutido por Maia et al. (2020). Esses materiais são promissores para programas de melhoramento visando tolerância à salinidade e conservação pós-colheita.

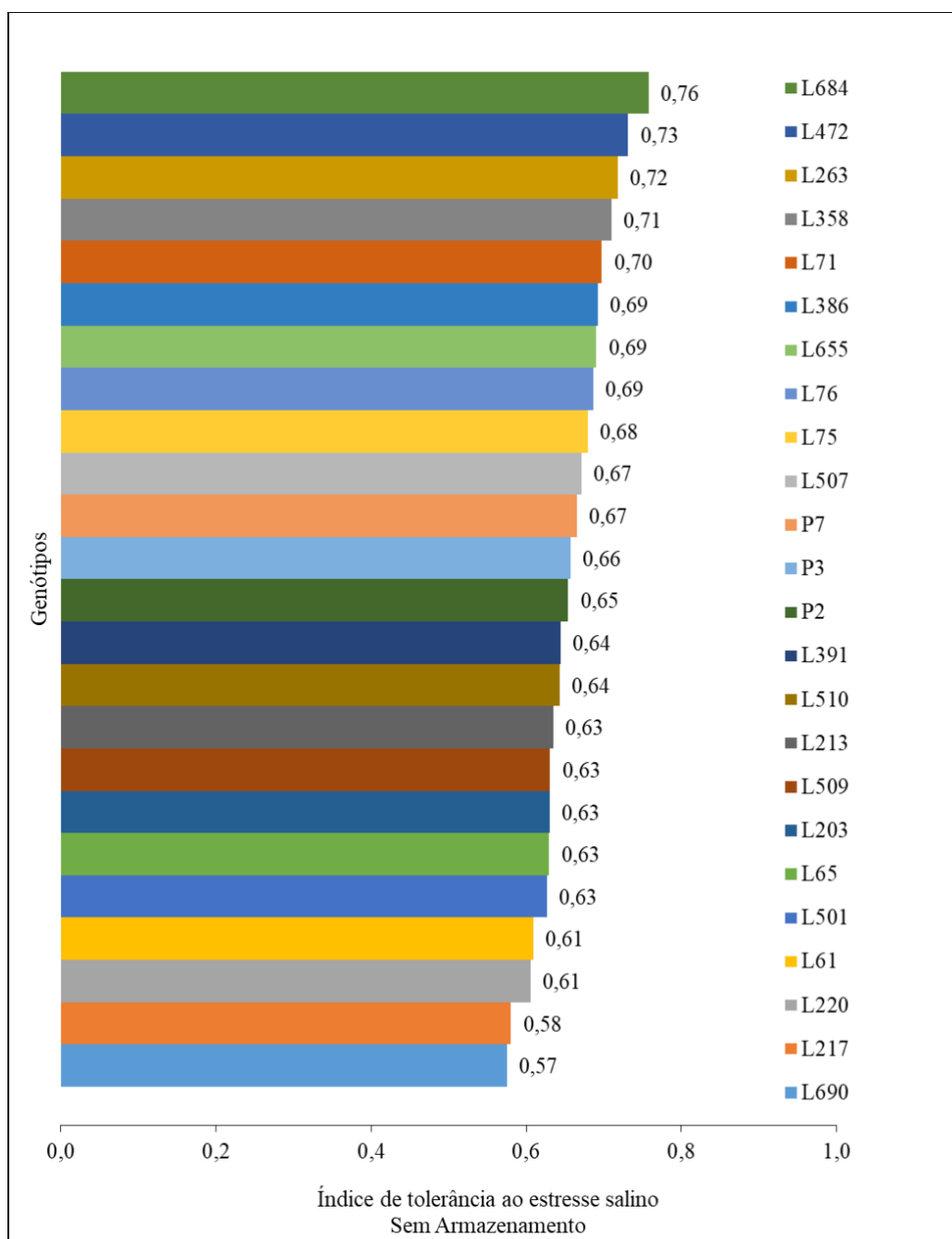


Figura 1: Índice de tolerância dos genótipos de *Zea mays* L. ao estresse salino na fase inicial do desenvolvimento sem armazenamento.

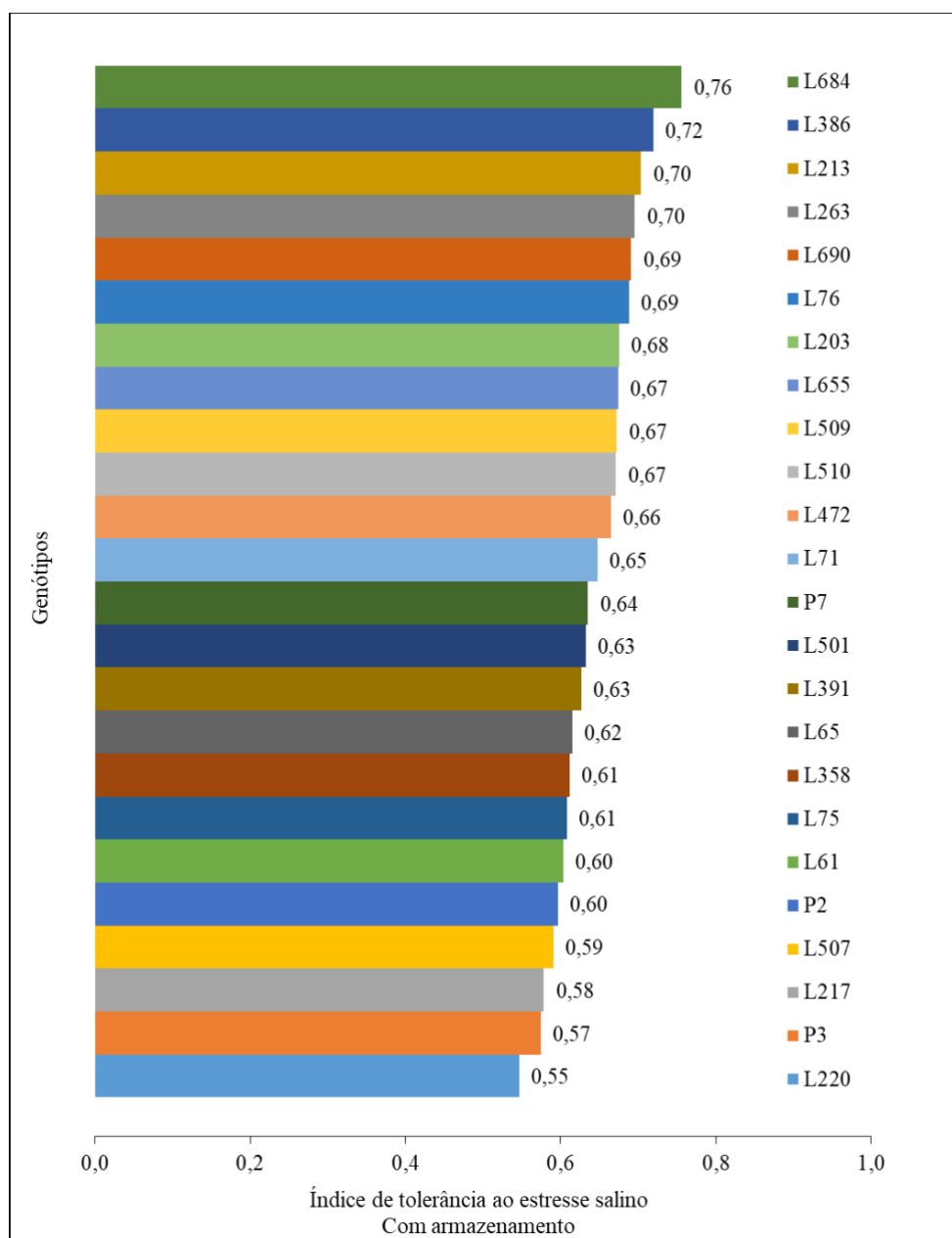


Figura 2: Índice de tolerância dos genótipos de *Zea mays* L. ao estresse salino na fase inicial do desenvolvimento com armazenamento.

5.4. Índice de Tolerância ao Estresse – Armazenamento (sem estresse salino e com estresse salino)

As figuras 3 e 4 de índice de tolerância ao armazenamento (ITA) apresentam genótipos de milho-pipoca, avaliados sob as condições sem estresse salino e com estresse salino. Em ambas as Figuras, os genótipos foram organizados em ordem decrescente de ITA, permitindo visualizar com clareza aqueles que demonstraram maior capacidade de tolerar os efeitos do armazenamento.

Observou-se que o genótipo L510 se destacou por apresentar uma elevada tolerância ao armazenamento em ambas as condições, sem e com estresse salino. Determinar a estabilidade fisiológica, é um indicativo de boa qualidade de sementes, conforme discutido por Marcos-Filho (2015), que destaca a importância da manutenção da viabilidade durante o armazenamento como um critério de seleção para programas de melhoramento. Em contrapartida, o genótipo P3 foi um dos que apresentaram uma queda na classificação, revelando maior sensibilidade às condições de armazenamento da presença do estresse salino, quando comparado com a condição anterior sem estresse salino (Figura 3 e D).

Essa variação pode estar relacionada às características genéticas e à integridade fisiológica das sementes, como já discutido por Bewley et al. (2013), que apontam a composição bioquímica e a integridade das membranas como fatores determinantes na longevidade das sementes. Na Figura 4, que avalia a tolerância ao armazenamento sob estresse salino, novamente o genótipo L510 manteve-se como o mais tolerante, seguido por L263 e L690, que demonstraram desempenho consistente em ambiente salino, melhorando e aumentando seu desempenho em condições salinas após armazenamento, resultando em mudanças na classificação do índice.

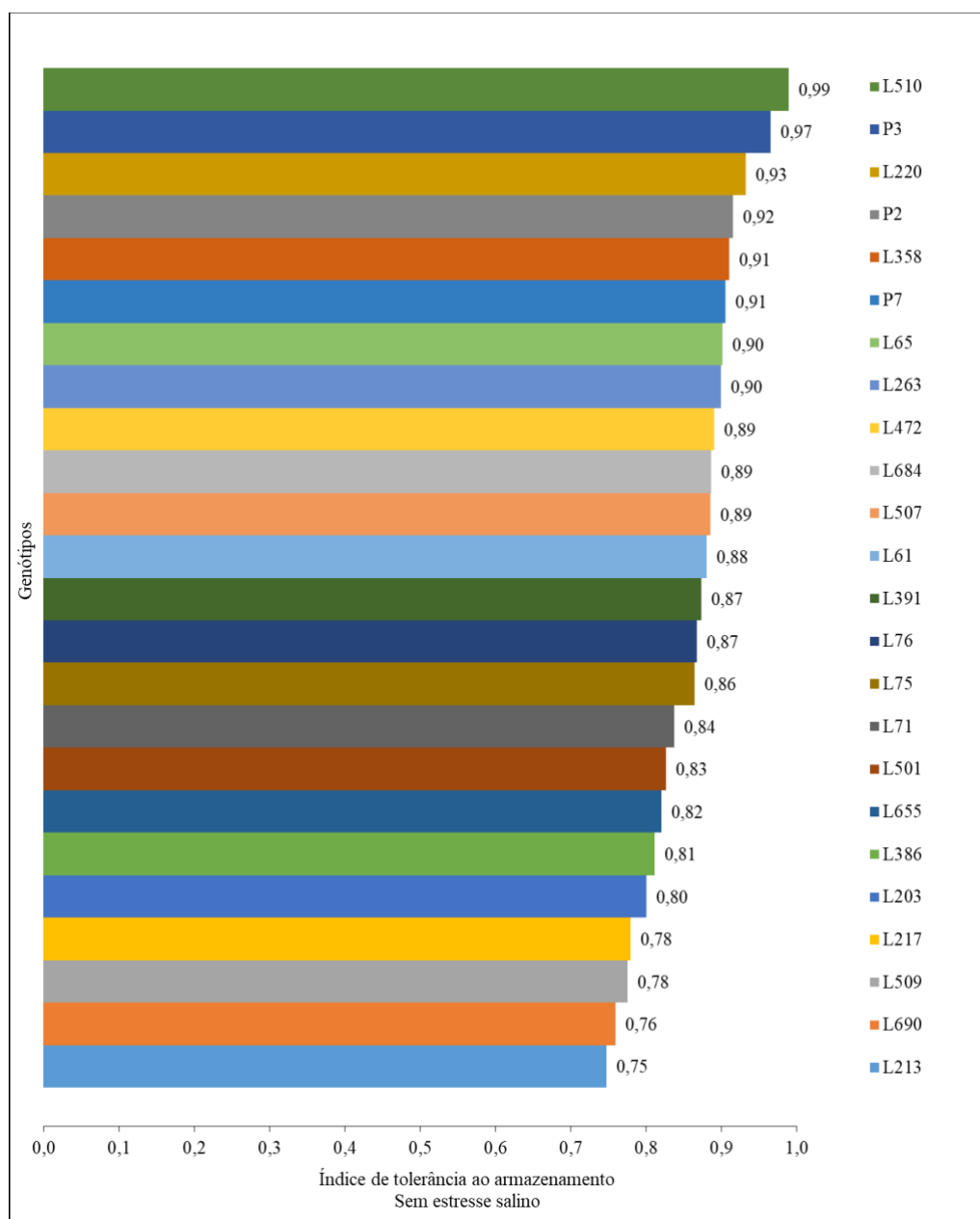


Figura 3: Índice de tolerância dos genótipos de *Zea mays* L. ao armazenamento na fase inicial do desenvolvimento sem estresse salino.

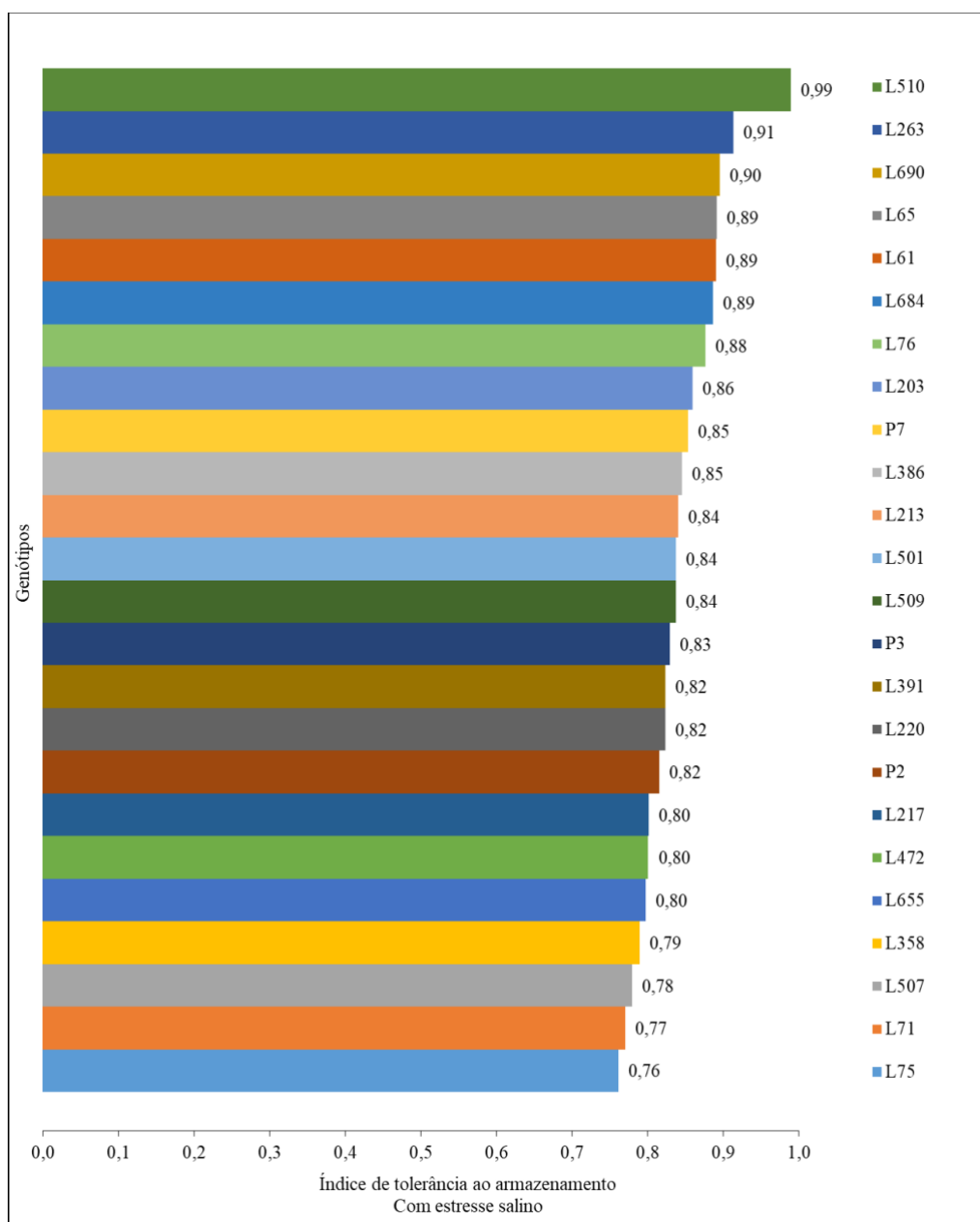


Figura 4: Índice de tolerância dos genótipos de *Zea mays* L. ao armazenamento na fase inicial do desenvolvimento com estresse salino.

A manutenção dessa performance, mesmo sob estresse, indica que esses genótipos possuem mecanismos fisiológicos e bioquímicos eficientes tanto ao armazenamento quanto à salinidade, havendo mudanças na classificação de alguns genótipos, o que é coerente com estudos de Sellani-Júnior (2021), que destacam a importância da plasticidade fisiológica na superação de estresses abióticos. Outro ponto relevante é que, sob estresse salino, mais genótipos apresentaram queda na ITA, exemplo do genótipo P3, o que sugere que o acúmulo de danos fisiológicos durante o armazenamento é potencializado em ambientes salinos, conforme apontado por Maia et al. (2020), que relatam que o estresse salino pode acentuar a perda de viabilidade e vigor de sementes mal armazenadas, por comprometer a absorção de água e o equilíbrio iônico.

Em síntese, o genótipo L684 se mostrou o mais tolerante ao estresse salino, com ou sem armazenamento, enquanto o genótipo L510 demonstrou ser o mais tolerante à condição de armazenamento, estando ou não sob estresse salino. Tais observações são favoráveis e justificam a utilização desses genótipos em programas de melhoramento genético visando a produção em ambientes com risco de salinização e, também, períodos de armazenamento. Já os genótipos com baixo ITA em ambas as condições demandam atenção, podendo ser excluídos de futuras seleções.

5.5. Comportamento das características sob estresse salino e de armazenamento

As Figuras 5 e 6 apresentam gráficos do tipo radar que comparam o comportamento de diferentes características fisiológicas e morfológicas de sementes e plântulas de milho-pipoca, em dois cenários: sem estresse salino (Figura 5) e com estresse salino (Figura 6), ambos avaliando as condições com e sem armazenamento.

A perda de percentual das características das linhagens de milho-pipoca, nas distintas condições, apresenta um comportamento das variáveis após o armazenamento, sendo os efeitos mais acentuados na presença de salinidade. Na condição sem estresse salino, algumas características mantiveram-se mais estáveis, como germinação (G) e comprimento da raiz primária (CRP), indicando que o armazenamento não comprometeu significativamente a viabilidade inicial das sementes.

Por outro lado, a variável PSPA, em especial, apresentou uma perda proporcional, revelando um efeito direto do armazenamento sobre a integridade morfofisiológica das plântulas. Um aumento no percentual das características PA, RRC e NG revela negativamente o efeito do armazenamento, obtendo um aumento no número de plântulas anormais e sementes não germinadas. Sob condição de estresse salino, os efeitos deletérios do armazenamento foram intensificados. As maiores reduções percentuais foram observadas nas variáveis relacionadas ao crescimento e desenvolvimento da plântula, confirmando que o estresse salino acentua os danos fisiológicos causados pelo armazenamento.

Além disso, características relacionadas ao desenvolvimento radicular, como PSR, CRP, mantiveram o percentual mesmo após o armazenamento na condição de estresse salino. A elevação da porcentagem de plântulas anormais (PA) e sementes mortas (NG) nesse cenário reforça a hipótese de que a combinação de estresse salino e armazenamento compromete severamente o desempenho inicial das sementes. Segundo Bewley et al. (2013), ambientes salinos afetam negativamente o metabolismo das sementes, dificultando a absorção de água e o equilíbrio iônico, o que pode agravar os danos acumulados durante o armazenamento.

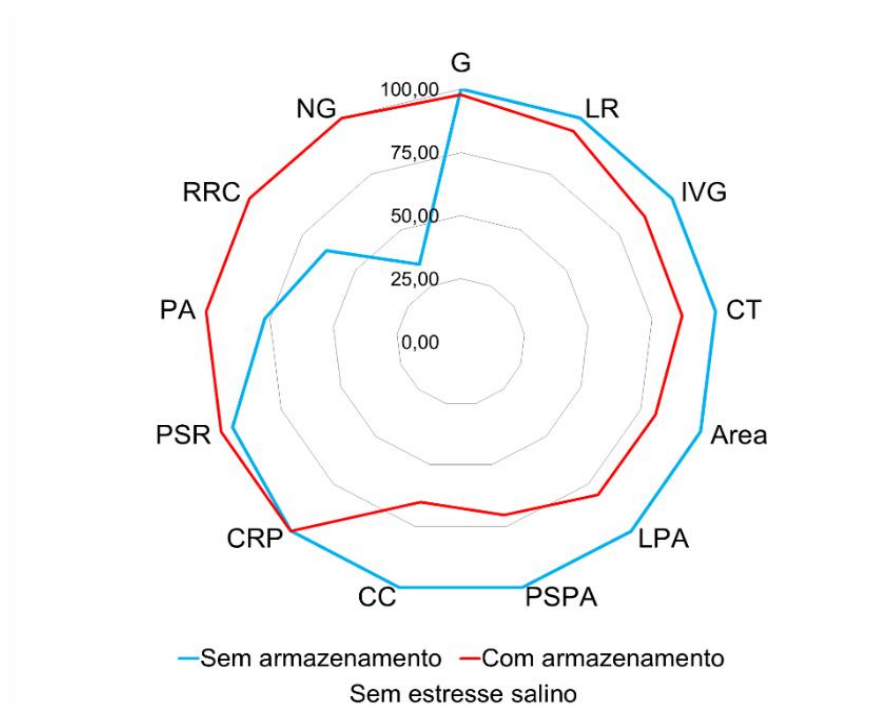


Figura 5: Perda percentual das características índice de velocidade de germinação (IVG), germinação (G), plântulas anormais (PA), sementes não germinadas (NG), peso seco da parte aérea (PSPA), peso seco da raiz (PSR), área da plântula (Area), largura da raiz (LR), largura da parte aérea (LPA), razão raiz:coleóptilo (RRC), comprimento da raiz (CR), comprimento do coleóptilo (CC) e comprimento total (CT) dos genótipos de *Zea mays* L. em condição sem e com armazenamento sem estresse salino.

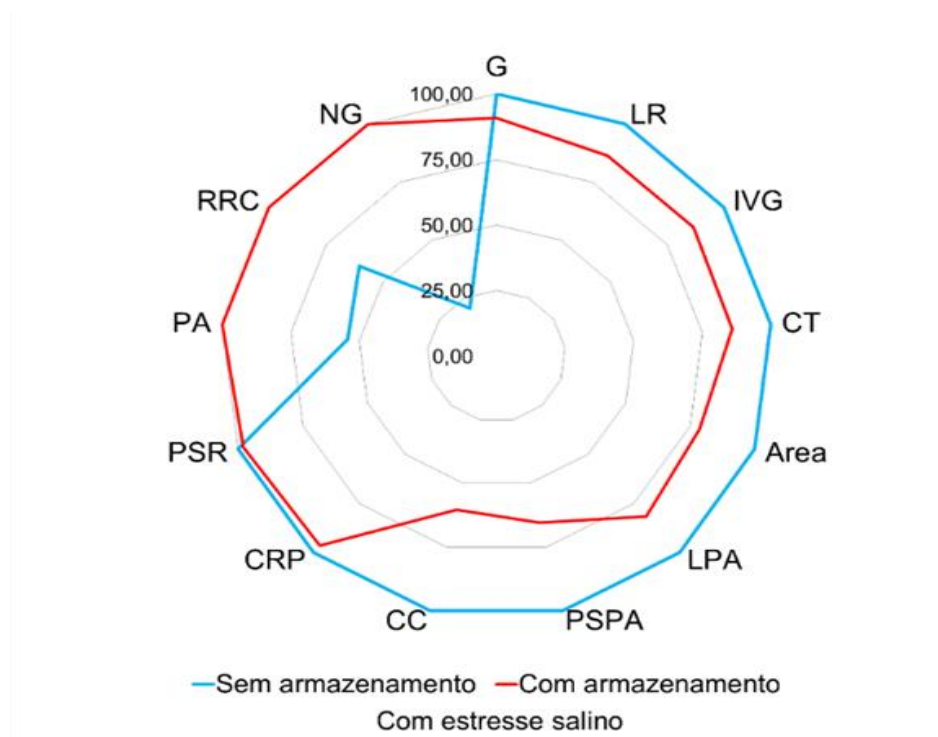


Figura 6: Perda percentual das características índice de velocidade de germinação (IVG), germinação (G), plântulas anormais (PA), sementes não germinadas (NG), peso seco da parte aérea (PSPA), peso seco da raiz (PSR), área da plântula (Area), largura da raiz (LR), largura da parte aérea (LPA), razão raiz:coleóptilo (RRC), comprimento da raiz (CR), comprimento do coleóptilo (CC) e comprimento total (CT) dos genótipos de *Zea mays* L. em condição sem e com armazenamento COM estresse salino.

Em ambos os ambientes, a variável CC foi uma das mais afetadas, revelando-se sensível ao armazenamento independentemente da presença de salinidade. Isso reforça sua importância como indicador de vigor e qualidade morfológica em sementes de milho-pipoca. Por outro lado, variáveis como largura da parte aérea (LPA) e área da plântula (AP) mostraram pouca variação entre as condições, especialmente sob estresse salino, o que pode indicar menor sensibilidade dessas características às condições avaliadas.

Portanto, a análise conjunta evidencia que o armazenamento impacta negativamente a maioria das variáveis fisiológicas e morfológicas das plântulas, com prejuízos acentuados em ambientes salinos. A característica de sementes não germinadas (NG) apresenta entre as demais uma maior sensibilidade aos efeitos do tempo de armazenamento e à salinidade. Esse entendimento é fundamental para

subsidiar programas de melhoramento voltados à produção de sementes com maior estabilidade e desempenho sob estresses abióticos.

6. CONCLUSÃO

O armazenamento por 24 meses em condições controladas (10 °C) preserva a viabilidade das sementes de milho-pipoca, embora também possa comprometer variáveis fisiológicas associadas ao vigor, especialmente quando combinado ao estresse salino, onde a germinação média geral foi significativamente reduzida.

Além disso, a deterioração fisiológica progressiva é indicada pela redução em características como índice de velocidade de germinação, comprimento total das plântulas e massa seca da parte aérea, sendo o comprimento do coleóptilo uma das variáveis mais sensíveis.

A resposta das sementes ao armazenamento e ao estresse salino variou significativamente entre as 24 linhagens avaliadas, demonstrando forte influência genética sobre esses fatores. O genótipo L510 destacou-se pela sua elevada tolerância ao armazenamento em ambas as condições (com e sem estresse salino), enquanto L684 mostrou-se o mais tolerante ao estresse salino.

Embora os genótipos P2, P3 e L358 apresentaram desempenho satisfatório em algumas variáveis, também apresentaram sensibilidade em outras, especialmente sob estresse salino, indicando que a estabilidade é variável e dependente da característica e da condição de estresse. Os resultados reforçam a importância de considerar tanto a qualidade fisiológica inicial das sementes quanto sua estabilidade durante o armazenamento na seleção de genótipos para uso comercial.

Além disso, pode-se destacar a relevância de estudos voltados à interação entre fatores ambientais e genéticos na definição do desempenho inicial da cultura, especialmente em um cenário de crescente salinização dos solos e necessidade de conservação de sementes de alto desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abadía, M. B., Castillo, L. A., Alonso, Y. N., Monterubbianesi, M. G., Maciel, G., Bartosik, R. E. (2024) Germination and vigor of maize seeds: Pilot-scale comparison of low-oxygen and traditional storage methods. *Agriculture*, 14(8):1268. <https://doi.org/10.3390/agriculture14081268/s1>
- Amaral Júnior, A. T. do, Gonçalves, L. S. A., Paiva Freitas Júnior, S. de, Candido, L. S., Vittorazzi, C., Pena, G. F., Ribeiro, R. M., Conceição Silva, T. R. da, Pereira, M. G., Scapim, C. A., Viana, A. P., Carvalho, G. F. de. (2013) UENF 14: A new popcorn cultivar. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 13(3):218–220. <https://doi.org/10.1590/S1984-70332013000300013>
- Andrade, G. C. D., Coelho, C. M. M., Padilha, M. S. (2019) Seed reserves reduction rate and reserves mobilization to the seedling explain the vigour of maize seeds. *Journal of Seed Science*, 41(4):488–497.
- Angelovič, M., Krištof, K., Jobbágy, J., Findura, P., Križan, M. (2018) The effect of conditions and storage time on course of moisture and temperature of maize grains. *BIO Web of Conferences*, 10, 02001. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20181002001>
- Antonello, L. M., Muniz, M. F. B., Brand, S. C., Rodrigues, J., Menezes, N. L., Kulczynski, S. M. (2009) Influência do tipo de embalagem na qualidade fisiológica de sementes de milho crioulo. *Revista Brasileira de Sementes*, 31(4):75–86. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222009000400009>
- Athar, H. U. R., Zulfiqar, F., Moosa, A., Ashraf, M., Zafar, Z. U., Zhang, L., Ahmed, N., Kalaji, H. M., Nafees, M., Hossain, M. A., Islam, M. S., El Sabagh, A., Siddique, K. H. M. (2022) Salt stress proteins in plants: An overview. *Frontiers in Plant Science*, 13, 999058. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.999058>
- Aydinoglu, F., Kahriman, T. Y., Balci, H. (2023) Seed bio-priming enhanced salt stress tolerance of maize (*Zea mays* L.) seedlings by regulating the antioxidant system and miRNA expression. *3 Biotech*, 13(11):378. <https://doi.org/10.1007/s13205-023-03802-w>
- Barboza Bispo, R., Teixeira do Amaral, A., Pinto, V. B., de Oliveira Santos, T., Jário de Lima, V., Rohem Simão, B., Fischer, A., Naldrett, M. J., Alvarez, S. (2024) Unraveling the mechanisms of efficient phosphorus utilization in popcorn (*Zea mays* L. var. everta): Insights from proteomic and metabolite analysis. *Journal of Proteome Research*, 23(8):3108–3123. <https://doi.org/10.1021/acs.jproteome.3c00772>
- Basso, D. P. (2014) Condicionamento osmótico e qualidade de sementes de milho doce durante o armazenamento (Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista). Universidade Estadual Paulista. 103p
- Baudet, L. M. B. (1996) Produção técnico-científica em sementes – Volume I. UFPel. p. 435–460.
- Beling, R. R. (2024) Anuário Brasileiro do Milho 2024. 80p.
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. M., Nonogaki, H. (2013) Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy. Springer. 405p.

<https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4>

Bhandari, G., Ghimire, T. B., Kaduwal, S., Shrestha, J., Acharya, R. (2017) Effects of storage structures and moisture contents on seed quality attributes of quality protein maize. *Journal of Maize Research and Development*, 3(1):77–85. <https://doi.org/10.3126/jmrd.v3i1.18924>

Braccini, A. L., Ruiz, H. A., Braccini, M. C. L., Reis, M. S. (1996) Germinação e vigor de sementes de soja sob estresse hídrico induzido por soluções de cloreto de sódio, manitol e polietileno glicol. *Revista Brasileira de Sementes*, 18(1):10–16.

Brasil (2009) Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. MAPA/ACS. 398p.

Capilheira, A. F., da Silva, J. G., Von Ahn Pinto, K., Gadotti, G. I., de Carvalho, I. R. (2024) Corn seeds stored under varying storage conditions. *Engenharia Agrícola*, 44:e20220136. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v44e20220136/2024>

Caranhato, A. L. H., Trindade, R. W. R., Uhdre, R. S., Pinto, R. J. B., Scapim, C. A., Paterniani, M. E. A. G. Z. (2022) Genetic improvement in popcorn. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 21:e1272. <https://doi.org/10.18512/rbms2022v21e1272>

Carvalho, C. M., Khan, S., Teixeira do Amaral Junior, A., de Lima, V. J., de Souza Silva, J. G., Catarino Fuly, L. M., Leite, J. T., Santos Junior, D. R. dos, Viana, F. N., de Souza, R., Vieira, H. D., Kamphorst, S. H. (2023) Early selection for drought tolerance in popcorn based on gene effects estimated in seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 14:1203972. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1203972>

Carvalho, E. R., Mavaieie, D. P. R., Oliveira, J. A., Carvalho, M. V., Vieira, A. R. (2014) Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão envelhecidas artificialmente. *Journal of Seed Science*, 36(2):134-142. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v32n2926>

Carvalho, N. M., Nakagawa, J. (2000) Sementes: Ciência, tecnologia e produção (4. ed.). FUNEP. 588p.

Conab. (2024) Safra brasileira: grãos – milho pipoca – safra 2023/2024. Companhia Nacional de Abastecimento. 123p.

Conus, L. A., Cardoso, P. C., Venturoso, L. R., Scalón, S. P. Q. (2009) Germinação de sementes e vigor de plântulas de milho submetidas ao estresse salino induzido por diferentes sais. *Revista Brasileira de Sementes*, 31(4):67–74. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222009000400008>

Coradi, P. C., Milane, L. V., Camilo, L. J., Andrade, M. G. D. O., Lima, R. E. (2015) Qualidade de grãos de milho após secagem e armazenamento em ambiente natural e resfriamento artificial. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 14(3):420-432.

Corrêa, C. C. G., Barroso, T. S., Xavier, L. R., Pinto, V. B., Reis, R. S., Pena, G. F., Santa-Catarina, C., Vivas, M., do Amaral Júnior, A. T., Silveira, V. (2025) Comparative proteomic analysis of popcorn genotypes identifies differentially accumulated proteins associated with resistance pathways to southern leaf blight disease. *Plants*, 14(3):426. <https://doi.org/10.3390/plants14030426>

Costa, F. M., Vidal, R., de Almeida Silva, N. C., Veasey, E. A., de Oliveira Freitas, F.,

Zucchi, M. I. (2024) Archaeological findings show the extent of primitive characteristics of maize in South America. *Science Advances*, 10(36):e1466. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adn1466>

Cruz, C. D. (2012) Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético (4. ed.). UFV. 514p.

Da Cruz, R. M. S. da, Silva, T. I., Ribeiro, M. C. C., Nascimento, R. do, Dias, T. J. (2019) Crescimento inicial e resposta estomática de milho pipoca (*Zea mays* everta) sob estresse salino. *Colloquium Agrariae*, 15(4):15–26. <https://doi.org/10.5747/ca.2019.v15.n4.a299>

Dalla-Costa, D. A., Colognese, I. C., Pereira, S. R., Rodrigues, A. P. D. C. (2018) Physiological seed quality of creole popcorn. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 13, 255–259.

De Lima, V. J., Amaral Júnior, A. T., Kamphorst, S. H., Bispo, R. B., Leite, J. T., De Oliveira Santos, T., Medeiros Schmitt, K. F., Chaves, M. M., De Oliveira, U. A., Araújo Diniz Santos, P. H., Bernardo Gonçalves, G. M., Khan, S., Moreira Guimarães, L. J. (2019) Combined dominance and additive gene effects in trait inheritance of drought-stressed and full irrigated popcorn. *Agronomy*, 9(12):782. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120782>

De Lima, V. J., Amaral Júnior, A. T., Kamphorst, S. H., Dos Santos, A., Schmidt, K. F. M., Azeredo, V. C., Leite, J. T., Junior, D. R. D. S., Santos, T. de O., Bispo, R. B., Carvalho, C. M., de Souza, Y. P., de Oliveira, F. T., Chaves, M. M., de Oliveira, U. A., Mafrá, G. S., Santos, P. H. A. D. (2021) UENF WS01: Popcorn hybrid with water use efficiency for the State of Rio de Janeiro. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 21(4):e375821411. <https://doi.org/10.1590/1984-70332021v21n4c60>

Santos, T. O., Teixeira do Amaral Junior, A., Batista Pinto, V., Barboza Bispo, R., Campostrini, E., Glowacka, K., Rohem Simão, B., de Paula Bernardo, W., Nicácio Viana, F., Silveira, V., Apolinário de Souza Filho, G. (2025) Morphophysiological and proteomic profiling unveiling mechanisms underlying nitrogen use efficiency in popcorn (*Zea mays* var. everta). *Plant Physiology and Biochemistry*, 221:109581. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2025.109581>

De Oliveira, F. D. A., De Medeiros, J. F., Da Cunha, R. C., Souza, M. W. D. L., Lima, L. A. (2016) Uso de bioestimulante como agente amenizador do estresse salino na cultura do milho pipoca. *Revista Ciência Agronômica*, 47(2):307–315. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160036>

De Souza, A. L. T. M., Cheim, L. M. G., Rossignoli, P. A., Rodrigues, L. J., da Silva, F. F., Takeuchi, K. P., de Melo Faria, A. M. (2021) Características físico-químicas e reológicas de amido de milho (*Zea mays* L.) de pipoca crioulo. *Research, Society and Development*, 10(13):e402101321394. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i13.21394>

de Souza, W. C. L., da Silva, L. G., Silva, L. E. B., da Silva, R. L. V., Lima, L. L. C., Brito, D. R. (2020) Aspectos comparativos entre milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench): diferenças e semelhanças. *Diversitas Journal*, 5(4):2337–2357.

Dias, N. S., Blanco, F. F. (2010) Efeitos dos sais no solo e na planta. In H. R. Gheyi,

N. S. Dias, C. F. Lacerda, Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. 530p.

Embrapa. (2021, 13 de junho) Importância socioeconômica do milho. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica>. Acesso em 20 de set de 2025.

FAO. (2025) FAOSTAT: Crops and livestock products – Trade. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/>. Acesso em: 25 de set de 2025.

Farooq, M., Hussain, M., Wakeel, A., Siddique, K. H. M. (2015) Salt stress in maize: Effects, resistance mechanisms, and management. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2):461–481. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0287-0>

Félix, F. C., dos Santos Araújo, F., dos Santos Ferrari, C., Pacheco, M. V. (2017) Dessecação e armazenamento de sementes de *Adonidia merrillii* (Becc.) Becc. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 12(1):86–91. <https://doi.org/10.5039/agraria.v12i1a5421>

Filipe, J. C., Ahrens, C. C., Byrne, M., Hardy, G., Rymer, P. D. (2023) Germination temperature sensitivity differs between co-occurring tree species and climate origins resulting in contrasting vulnerability to global warming. *Plant-Environment Interactions*, 4(3):146–162. <https://doi.org/10.1002/pei3.10108>

França Neto, J. B., Kryzanowski, F. C., Henning, A. A. (2011) Teste de vigor em sementes de soja: Conceitos e aplicações. Embrapa Soja. 601p.

França Neto, J. B., Krzyzanowski, F. C., Henning, A. A. (2010) A importância do uso de semente de soja de alta qualidade. Circular Técnica, 72. Embrapa Soja. 2p.

François, L. E., Donovan, T., Maas, E. V. (1984) Salinity effect on seed yield, growth, and germination in sorghum. *Agronomy Journal*, 76(5):741–744.

García-Lara, S., García-Jaimes, E., Ortiz-Islas, S. (2020) Field effectiveness of improved hermetic storage technologies on maize grain quality in Central Mexico. *Journal of Stored Products Research*, 87:101585. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101585>

Ghassemi-Golezani, K., Dalil, B. (2014) Effects of seed vigor on growth and grain yield of maize. *Plant Breeding and Seed Science*, 70:81–90. <https://doi.org/10.1515/plass-2015-0015>

Ghosh, T., Atta, K., Mondal, S., Bandyopadhyay, S., Singh, A. P., Jha, U. C., Kumar, R., Gujjar, R. S. (2025) Hormonal signaling at seed germination and seedling stage of plants under salinity stress. In *Plant Growth Regulation*. Springer, 105:583–600. <https://doi.org/10.1007/s10725-025-01305-7>

Guimarães, A. G., Do Amaral Júnior, A. T., Pena, G. F., Filho, J. E. D. A., Pereira, M. G., Santos, P. H. A. D. (2019) Genetic gains in the popcorn population UENF-14: Developing the ninth generation of intrapopulation recurrent selection. *Revista Caatinga*, 32(3):625–633. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n307rc>

Guimarães, L. J. M., Santana, D. P., Vasconcellos, J. H. (2025) Milho pipoca: Origem, características, produção e perspectivas. Embrapa Milho e Sorgo. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/sistemas-diferenciais-de-cultivo/milho-pipoca>. Acesso em: 20 de set de 2025.

Guzzon, F., Walquer, L., Rios, A., Mario, G., Cepeda, C., Polo, M. C., Cabrera, A. C., Figueroa, J. M., Medina Hoyos, A. E., Wladimir, T., Calvo, J., Molnar, T. L., Alberto, L., León, N., Patricio, T., Luis, S., Kerguelén, M., Gabriel, J., Rojas, O., Pixley, K. V. (2021) Conservation and use of Latin American maize diversity: Pillar of nutrition security and cultural heritage of humanity. *Agronomy*, 11(1):172. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010172>

Hannachi, S., Van Labeke, M. C. (2018) Salt stress affects germination, seedling growth and physiological responses differentially in eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). *Scientia Horticulturae*, 228:56–65. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.002>

Hussain, M., Kumar, A. (2022) Germination and seedling growth of sesame cultivars under salinity stresses. *Current Agricultural Research Journal*, 10(3):366–374. <https://doi.org/10.12944/carj.10.3.20>

Idikut, L., Dumlupinar, Z., Kara, S. N., Çölkesen, M. (2012) The effect of different temperatures and salt concentrations on some popcorn landraces and hybrid corn genotype germinations. *Pakistani Journal of Botany*, 44(2):579-582.

Islam, F., Yasmeen, T., Ali, S., Ali, B., Farooq, M. A., Gill, R. A. (2015) Priming-induced antioxidative responses in two wheat cultivars under saline stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37(8):153. <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1897-5>

Islam, M. S., Islam, M. R., Hasan, M. K., Hafeez, A. S. M. G., Chowdhury, M. K., Pramanik, M. H., Iqbal, M. A., Erman, M., Barutcular, C., Konuşkan, Ö., Dubey, A., Kumar, A., El Sabagh, A. (2024) Salinity Stress in Maize: Consequences, Tolerance Mechanisms, and Management Strategies. *OBM Genetics*, 8(2):1-39. <https://doi.org/10.21926/obm.genet.2402232>

Kamphorst, S. H., de Lima, V. J., do Amaral Júnior, A. T., Schmitt, K. F. M., Leite, J. T., Carvalho, C. M., Silva, R. M. R., Xavier, K. B., Ferreira, F. R. A., Santos, P. H. A. D., Campostrini, E. (2018) Popcorn breeding for water-stress tolerance or for agronomic water-use efficiency. *Genetics and Molecular Research*, 17(4):gmr18184. <https://doi.org/10.4238/gmr18184>

Katta, S. K., Bullerman, L. B. (1995) Effects of High Temperature and Relative Humidity on Mold Content and Quality of Stored Popcorn. *Journal of Food Protection*, 58(9):1018–1022. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-58.9.1018>

Kerbaui, G. B. (2008) *Fisiologia vegetal* (2a ed.). Guanabara Koogan. 452p

Khan, M. O., Irfan, M., Muhammad, A., Ullah, I., Nawaz, S., Khalil, M. K., Ahmad, M. (2022) A practical and economical strategy to mitigate salinity stress through seed priming. *Frontiers in Environmental Science*, 10:991977. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.991977>

Kist, B. B., Santos, C. E. dos, Carvalho, C., Ruviano, C. F., Oliveira, M. de (Eds.)

- (2024) Anuário brasileiro do milho 2024. Editora Gazeta Santa Cruz. 43p.
- Krzyzanowski, F. C., Dias, D. C. F. dos S., França-Neto, J. de B. (2022) Deterioração e vigor da semente. Embrapa. 19p.
- Krzyzanowski, F. C., Vieira, R. D., França-Neto, J. de B., Marcos-Filho, J. (2020) Vigor de sementes: conceitos e testes. Abrates. 601p.
- Labrot-Rhodes, L., Campo, E., Poujaud, P. (2025) Review of monitoring systems for stored grains in a modified atmosphere. *Heliyon*, 11:e42347. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42347>
- Larcher, W. (2006) *Ecofisiologia vegetal*. RiMa. São Carlos, SP. 531p.
- Leite, J. T., Amaral Junior, A. T. do, Kamphorst, S. H., Lima, V. J. de, Santos Junior, D. R. dos, Alves, U. O., Azeredo, V. C., Pereira, J. L., Bispo, R. B., Schmidt, K. F. M., Viana, F. N., Viana, A. P., Vieira, H. D., Ramos, H. C. C., Ribeiro, R. M., Campostri, E. (2022) All Are in a Drought, but Some Stand Out: Multivariate Analysis in the Selection of Agronomic Efficient Popcorn Genotypes. *Plants*, 11(17):2275. <https://doi.org/10.3390/plants11172275>
- Lima, V. J. de, Do Amaral Júnior, A. T., Kamphorst, S. H., Bispo, R. B., Leite, J. T., De Oliveira Santos, T., Medeiros Schmitt, K. F., Chaves, M. M., De Oliveira, U. A., Araújo Diniz Santos, P. H., Bernardo Gonçalves, G. M., Khan, S., Moreira Guimarães, L. J. (2019) Combined Dominance and Additive Gene Effects in Trait Inheritance of Drought-Stressed and Full Irrigated Popcorn. *Agronomy*, 9(12):782. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120782>
- Maia, G. D. S., Pinheiro, W. L., Almeida e Almeida, F. D., Silva e Silva, J. R. D., e Silva, M. A. P. D. (2020) Qualidade Física e Fisiológica de Sementes de Milho (*Zea mays* L.) Após armazenamento. *Energia na Agricultura*, 35(2):276–286. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2020v35n2p276-286>
- Mariucci, G. E. G., Suzukawa, A. K., Braccini, A. L., Scapim, C. A., Lima, L. H. D. S., Angelotti, P., ... e Marteli, D. C. V. (2018) Physiological potential of maize seeds submitted to different treatments and storage periods. *Journal of Seed Science*, 40:60-66.
- Marcos-Filho, J. (2015) *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas* (2ª ed.). ABRATES. 659p.
- Marcos-Filho, J. (2015) Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. *Scientia Agricola*, 72(4):363-374. <https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007>
- Medeiros, A. C. S., Da Eira, M. T. S. (2006) *Comportamento Fisiológico, Secagem e Armazenamento de Sementes Florestais Nativas*. Documentos EMBRAPA Florestas. 13p.
- Moterle, L. M., Lopes, P. D. C., Braccini, A. D. L., Scapim, C. A. (2006) Germinação de sementes e crescimento de plântulas de cultivares de milho-pipoca submetidas ao estresse hídrico e salino. *Revista Brasileira de Sementes*, 28(3):169–176. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222006000300024>
- Munns, R., Sharp, R. E. (1993) Involvement of abscisic acid in controlling plant

growth in soils of low water potential. *Australian Journal of Plant Physiology*, 20(4):425–437.

Munns, R., Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59:651–681.

NASEER, Muhammad Noman, Hussain, S. Z., Ikhtlaq, A., Mushtaq, Z., Iqbal, T. (2022) Effect of salinity stress on germination, seedling growth, mineral uptake and chlorophyll contents of three cucurbitaceae species. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 65:e22210213. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2022210213>

Nerling, D. (2017) Qualidade fisiológica de sementes na obtenção de linhagens e híbridos de milho [Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina]. 204p.

Oliveira, G. R. F., Cicero, S. M., Novembre, A. D. L. C. (2020) Vigor de sementes de milho durante o armazenamento: avaliação pelo teste de envelhecimento acelerado. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 19:e1174. <https://doi.org/10.18512/rbms2020v19e1174>

Oliveira, H., Do Nascimento, R., Santos Nascimento, E. C., Felipe De Lima, R., Vailan, C., Bezerra, C. (2020) Emergence and growth of maize submitted to inoculant doses associated with saline water irrigation. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 50:e66102. <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5066102>

Paraginski, R. T. (2014) Efeitos da secagem e da incidência de defeitos na qualidade de grãos de milho, e do processamento na qualidade de grãos de milho pipoca [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Pelotas]. Repositório UFPel. 123p.

PARAGINSKI, R. T.; ROCKENBACH, B. A.; SANTOS, R. F.; ELIAS, M. C.; OLIVEIRA, M. (2015) Qualidade de grãos de milho armazenados em diferentes temperaturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(4):358–363.

Reed, R. C., Bradford, K. J., Khanday, I. (2022) Seed germination and vigor: ensuring crop sustainability in a changing climate. *Heredity*, 128(6):450–459. <https://doi.org/10.1038/s41437-022-00497-2>

Ricardi, M., Helton, Rosa, A. (2018) Desenvolvimento inicial do milho submetido a estresse salino. *Revista de Agricultura Neotropical*, 174–184.

Rodrigues, A. P. D. A. C., Dalla-Costa, D. A., Colognese, I. C., Pereira, S. R. (2018) Qualidade Fisiológica de Sementes Crioulas de Milho Pipoca. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 13(5):255-259.

Salomão, A. N., Gimenes, M. A., Brasileiro, A. C. de M. (2021) Armazenamento e conservação de sementes convencionais e transgênicas. In *Circular Técnica 95. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia*. 24p.

Santos, T. de O., Amaral Junior, A. T., Bispo, R. B., de Lima, V. J., Kamphorst, S. H., Leite, J. T., Dos Santos Júnior, D. R., Santos, P. H. A. D., de Oliveira, U. A., Schmitt, K. F. M., Campostrini, E., Moulin, M. M., Viana, A. P., de Amaral Gravina, G., Corrêa, C. C. G., Gonçalves, G. M. B. (2021) Phenotyping latin american open-pollinated varieties of popcorn for environments with low water availability. *Plants*, 10(6):1211.

<https://doi.org/10.3390/plants10061211>

Santos, V. L. M., Calil, A. C., Ruiz, H. A., Alvarenga, E. M., Santos, C. M. (1992) Efeito do estresse salino e hídrico na germinação e vigor de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, 14(2):189–194.

Sawazaki, E. (2001) A cultura do milho pipoca no Brasil. *O Agrônomo*, 53:11–13.

Schmitt, K. F. M., do Amaral Junior, A. T., Kamphorst, S. H., Pinto, V. B., de Lima, V. J., de Oliveira, U. A., Viana, F. N., Leite, J. T., Gomes, L. P., Silva, J. G. de S., Lamêgo, D. L., Bernardo, W. de P., de Souza, G. A. R., de Almeida, F. A., de Souza Filho, G. A., Silveira, V., Campostrini, E. (2024) Decoding the effects of drought stress on popcorn (*Zea mays* var. everta) flowering combining proteomics and physiological analysis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 208:108444. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108444>

Shalaby, N., Shahein, A. (2021) Longevity of maize seed (*Zea mays* L.) under different storage conditions. *Journal of Sustainable Agricultural Sciences*, 47(4):1–9. <https://doi.org/10.21608/jsas.2021.88439.1300>

Sharma, Vishwanath. (2018) Seed composition and its relation with vigour and storage behaviour in maize [Tese de doutorado, ICAR-Indian Agricultural Research Institute]. Krishikosh Institutional Repository. 213p. <http://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/5810086238>

Silva, D., Pruski, F. F. (1997) Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. MMA/ SBH/ABEAS. 252p.

Silva, F. F., Pinho, E. V. R. V., Veiga, A. D., Pereira, P. H. A. R. (2021). Deterioração controlada para avaliação do vigor de sementes de milho pipoca. *Revista Ciência Agronômica*, 52(4):e20207535. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20210035>

Silva, W. J., Vidal, B. C., Martins, M. L. L., Vargas, H., Pereira, A. C., Zerbetto, M., Miranda, L. C. M. (1993) What makes popcorn pop? *Nature*, 362(6419):417. <https://doi.org/10.1038/362417a0>

Souza, G. M., Barbosa, A. de M. (2015) Fatores de estresse no milho são diversos e exigem monitoramento constante. *Visão Agrícola*, 13(1):30–34.

Souza, M. W. de L., Cunha, R. C. da, Costa, P. A. de A., Moura, I. B. M. de, Bezerra, F. M. S., Lima, L. A., Pereira, L. A. F., Oliveira, F. de A. (2014) Desenvolvimento inicial de milho doce e milho pipoca sob estresse salino. *Agropecuária Científica No Semiárido*, 10(3):65–72.

Souza, Y. P., Gonçalves, G. M. B., Saluci, J. C. G., Almeida, R. N., Santos, J. S., Pereira, H. S., Souza, R. F., Souza, A. L. R., Vasconcelos, L. C., Andrade, M. S., Amaral, A. T., Vivas, M. (2025) Selecting South American Popcorn Germplasm for *Bipolaris maydis* Resistance at Contrasting Nitrogen Levels. *Plants*, 14(3):302. <https://doi.org/10.3390/plants14030302>

Suma, A., Sreenivasan, K., Singh, A. K., Radhamani, J. (2013) Role of Relative Humidity in Processing and Storage of Seeds and Assessment of Variability in Storage Behaviour in Brassica spp. and *Eruca sativa*. *The Scientific World Journal*, 2013, 504141. <https://doi.org/10.1155/2013/504141>

- Swarnakar, A. K., Mohapatra, M., Das, S. K. (2022) A review on processes, mechanisms, and quality influencing parameters for puffing and popping of grains. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(10):e16891. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16891>
- Taiz, L., Zeiger, E. (2017) *Fisiologia vegetal* (6. ed.). Artmed. 888p.
- Teermaat, A., Munns, R. (1986) Use of concentrated macronutrient solutions to separate osmotic from NaCl-specific effects on plant growth. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13(4):509–522.
- Viana, F. N., Chaves, M. M., Kamphorst, S. H., Do Amaral Junior, A. T., de Lima, V. J., Leite, J. T., Schmidt, K. F. M., de Oliveira, U. A., Lamego, D. L., Pereira, J. L., Pena, G. F., Vieira, H. D., de Oliveira, J. G., Daher, R. F., Campostrini, E., Bressan-Smith, R. (2022) Heritability of Morphophysiological Traits in Popcorn for Drought Tolerance and Their Use as Breeding Indicators of Superior Genotypes. *Agronomy*, 12(7):1517. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071517>
- Vieira, R. A., Rodovalho, M. de A., Scapim, C. A., Tessmann, D. J., do Amaral Júnior, A. T., Bignotto, L. S. (2009) Desempenho agrônomo de novos híbridos de milho-pipoca no noroeste do Estado do Paraná, Brasil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 31(1):29–36. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i1.4142>
- Vieira, R. D., Bittencourt, S. R. M., Panobianco, M. (2001) Vigor: um componente da qualidade de sementes. *Informativo ABRATES*, 11(2):199.
- Wang, B., Li, Y., Zhang, Y., Wang, Y., Li, Y. (2022) Evaluation of biochemical and physiological changes in sweet corn seeds under natural aging and artificial accelerated aging. *Agronomy*, 12(5):1028. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051028>
- Waters, D. R., Blanchette, R. A. (1983) Seed storage and viability of sweet corn hybrids. *Journal of Seed Technology*, 8(1):11–19.
- Williams, S. B., Murdock, L. L., Baributsa, D. (2017) Storage of Maize in Purdue Improved Crop Storage (PICS) Bags. *PLOS ONE*, 12(1):e0168624. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168624>
- Zaidi, P. H., Vinayan, M. T., Patil, S. B. (2022) Genomic regions associated with salinity stress tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). *Frontiers in Plant Science*, 13:869270. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.869270>
- Ziegler, V., Paraginski, R. T., Ferreira, C. D. (2021) Grain storage systems and effects of moisture, temperature and time on grain quality-A review. *Journal of Stored Products Research*, 91:101770. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2021.101770>
- Zucareli, C., Brzezinski, C. R., Guissem, J. M., Henning, F. A., Nakagawa, J. (2014) Qualidade fisiológica de sementes de milho doce classificadas pela espessura e largura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 44(1):71–78.