

ARMAZENAMENTO NA VIABILIDADE E VIGOR DE SEMENTES DE MILHO-PIPOCA

ANGÉLICA COUTO CORRÊA¹; HENRIQUE DUARTE VIEIRA²; ROSENILDA DE SOUZA³; ANTONIO TEIXEIRA DO AMARAL JUÚNIOR⁴; MARCUS VINICIUS SANDOVAL PAIXÃO⁵

¹ M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; RJ, Brasil.

^{2,3,4} Prof. Dr. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro; RJ, Brasil.

⁵ Prof. Dr. Instituto Federal do Espírito Santo, ES Brasil.

RESUMO

O milho-pipoca (*Zea mays* L.) possui relevância crescente no Brasil, no entanto, ainda carece de cultivares adaptadas ao armazenamento. 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 trabalho foi realizado com o objetivo de estudar o efeito do armazenamento de sementes sob a germinação e desenvolvimento inicial de linhagens de milho-pipoca. 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 as avaliações ocorreram no início e final do armazenamento. Os experimentos foram realizados em blocos casualizados, com quatro repetições de 25 sementes. Foi avaliado a porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação, massa seca da parte aérea e da raiz, largura da parte aérea e largura das raízes, comprimento do coleóptilo e o comprimento total, razão entre a raiz e coleóptilo e comprimento da raiz. 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, 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 variou entre as 24 linhagens, indicando forte influência genética. O genótipo L510 demonstrou elevada tolerância ao armazenamento. 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.

Palavras-chave: Germinação. Vigor de plântulas. *Zea mays* L.

ABSTRACT

Popcorn maize (*Zea mays* L.) is becoming increasingly relevant in Brazil; however, it still lacks cultivars adapted to storage. This factor affects germination and initial seedling development. Furthermore, inadequate storage can accelerate seed deterioration. Furthermore,

inadequate storage can accelerate seed deterioration. To investigate these impacts, this study aimed to investigate the effect of seed storage on the germination and initial development of popcorn lines. 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. The following were calculated: germination percentage, germination speed index, shoot and root dry mass, shoot width and root width, coleoptile length and total length, root-to-coleoptile ratio, and root length. The data were subjected to individual and combined statistical analysis using the Genes software. 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. 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.

Keywords: Germination. Seedling vigor. *Zea mays* L.

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 (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, consequentemente, maior lucratividade (Amaral Júnior et al., 2013). 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). 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) (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).

Atualmente, as mudanças climáticas têm acentuado diversos fatores responsáveis pelos estresses abióticos, como o déficit hídrico, as altas temperaturas, a radiação solar excessiva. 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).

Apesar dos avanços realizados, ainda não foram desenvolvidos estudos detalhados sobre como as sementes de milho-pipoca respondem à interação entre condições de armazenamento.

A pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar o efeito do armazenamento de sementes sobre a germinação e desenvolvimento inicial de linhagens de milho-pipoca (*Zea mays* L.).

MATERIAL E MÉTODOS

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

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 armazenamento na fase inicial de desenvolvimento (Tabela 1).

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.

As sementes das 24 linhagens de milho-pipoca foram avaliadas sob condições de germinação em dois momentos: logo após a colheita (sem armazenamento) e após o armazenamento por 24 meses. Foi umedecido 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. Todos os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições compostas de 25 sementes.

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) (Brasil, 2009).

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):

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

Onde:

IVG = índice de velocidade de germinação;

G = número de plântulas germinadas a cada dia;

N = número de dias de cada contagem.

A avaliação das plântulas foi realizada utilizando o equipamento Groundeye® de análise de imagens. Utilizou-se plântulas provenientes dos ensaios de germinação, sendo avaliadas massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR), largura da parte aérea (LPA) e largura das raízes (LR), comprimento do coleóptilo (CC) e o comprimento total (CT), razão entre a raiz e coleóptilo (RRC) e comprimento da raiz (CR), realizadas em 10 plântulas normais aleatórias de cada repetição.

A mensuração do peso da massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR) 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.

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, ..., 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, ..., 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, em 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, 2012).

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.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta, sem e com armazenamento, 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.

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%).

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. 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 2).

A média geral da massa seca da parte aérea das plântulas (MSPA) apresentou diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos, evidenciando que o armazenamento afeta negativamente a capacidade das sementes de milho-pipoca de originar plântulas vigorosas. 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 na MSPA após o armazenamento (Tabela 2).

O armazenamento (CA 2024) reduziu significativamente a massa seca da parte aérea (MSPA), indicando que o armazenamento teve um efeito negativo expressivo neste parâmetro. A massa seca das raízes (MSR) manteve-se estável, mas a parte aérea foi claramente impactada.

Segundo Marcos-Filho (2015), plântulas com maior acúmulo de massa seca tendem a apresentar melhor desempenho fisiológico, refletindo maior capacidade fotossintética e maior produção de biomassa. Isso contribui diretamente para a formação de plântulas mais desenvolvidas. A absorção de água durante a germinação é outro fator determinante, o

comprimento da raiz primária pode ser limitado pela disponibilidade hídrica e pela temperatura do substrato. Kerbaui (2008) observa que uma menor absorção de água resulta em plântulas com menor crescimento e, menor acúmulo de massa seca.

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).

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 2). 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 MSR após o armazenamento, 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). 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, 2000).

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. Genótipos como L510, L213 e L509 apresentaram valores consistentemente baixos de MSR, 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 a MSR não tenha sido significativo, algumas linhagens se beneficiaram da condição de repouso, enquanto outras mantiveram ou reduziram sua capacidade de formação de raiz (Tabela 2).

Tabela 2 - Médias dos 24 genótipos de milho-pipoca para germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) provenientes de sementes germinadas antes (SA) e após o armazenamento (CA)

Genótipo	G SA	G CA	IVG SA	IVG CA	MSPA SA	MSPA CA	MSR SA	MSR CA
	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024
L472	100,0 aA	97,0 aA	11,43 bA	11,66 aA	17,52 bA	13,85 aB	17,62 cA	18,77 cA
L75	97,0 aA	95,0 aA	9,89 dA	10,44 bA	17,52 bA	13,12 aB	28,10 aA	26,47 aA
P7	100,0 aA	95,0 aA	10,29 dA	10,08 cA	16,97 bA	13,35 aB	24,05 bA	26,87 aA
L510	97,0 aA	92,0 aA	11,41 bA	9,92 cB	12,85 dA	12,82 aA	11,00 eA	13,45 eA
L220	97,0 aA	90,0 aB	10,79 cA	9,03 dB	13,25 cA	10,27 cB	12,87 eA	15,02 dA
L65	96,0 aA	96,0 aA	10,66 cA	9,96 cB	17,65 bA	12,10 bB	16,30 dA	17,05 cA
L386	99,0 aA	94,0 aA	12,08 aA	10,30 bB	13,97 cA	10,02 cB	14,20 dA	15,30 dA
L76	98,0 aA	95,0 aA	11,20 bA	9,18 dB	14,27 cA	10,80 cB	20,40 cA	22,40 bA
L213	98,0 aA	95,0 aA	12,45 aA	10,53 bB	14,32 cA	8,02 dB	13,62 dA	13,17 eA
L684	95,0 aA	94,0 aA	12,37 aA	11,71 aB	12,12 dA	8,62 dB	17,50 cA	15,92 dA
L61	98,0 aA	94,0 aA	12,50 aA	11,71 aB	11,10 dA	8,97 dB	11,85 eA	12,82 eA
L690	86,0 bA	78,0 bB	11,75 aA	8,11 eB	13,60 cA	7,10 dB	13,12 eA	14,27 dA
L203	99,0 aA	96,0 aA	12,33 aA	9,61 cB	11,25 dA	8,20 dB	12,95 eA	14,92 dA
L509	93,0 aA	91,0 aA	11,46 bA	9,17 dB	14,80 cA	10,65 cB	10,50 eA	10,67 eA
L358	100,0 aA	98,0 aA	11,18 bA	9,22 dB	16,90 bA	12,10 bB	19,55 cB	22,85 bA
L507	98,0 aA	98,0 aA	12,16 aA	11,62 aA	15,97 bA	11,25 bB	14,50 dA	14,60 dA
P2	99,0 aA	99,0 aA	11,83 aA	9,92 cB	20,50 aA	13,25 aB	20,87 cB	25,07 aA
P3	99,0 aA	99,0 aA	12,04 aA	10,25 bB	20,07 aA	13,52 aB	16,37 dB	21,27 bA
L391	98,0 aA	99,0 aA	11,50 bA	8,77 dB	14,52 cA	9,65 cB	17,57 cA	17,95 cA
L71	98,0 aA	98,0 aA	12,24 aA	10,67 bB	19,15 aA	11,77 bB	18,22 cA	16,95 cA
L263	80,0 bB	93,0 aA	12,08 aA	11,36 aB	14,17 cA	9,22 dB	11,20 eA	10,55 eA
L655	100,0 aA	90,0 aB	12,37 aA	10,69 bB	13,15 cA	8,52 dB	14,60 dA	14,35 dA
L217	98,0 aA	98,0 aA	11,50 bA	9,58 cB	16,65 bA	10,72 cB	20,30 cA	17,97 cA
L501	99,0 aA	96,0 aA	12,33 aA	10,43 bB	14,92 cA	10,55 cB	13,07 eA	11,45 eA
Média	96,8 A	94,6 A	11,66 A	10,16 B	15,30 A	10,77 B	16,27 A	17,09 A

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

A área da plântula (AP) sob condição sem estresse salino apresentou redução significativa na média geral após o armazenamento das sementes, 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. 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 3).

A média geral da largura da parte aérea (LPA) das plântulas apresentou redução estatisticamente significativa após o armazenamento das sementes, passando de 0,26 (SA 2022) para 0,21 (CA 2024) (Tabela 3). 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).

Esses resultados são desejáveis em programas de melhoramento, pois indicam maior longevidade, vigor e potencial de desempenho das sementes armazenadas.

A média geral da largura das raízes (LR) das plântulas não apresentou diferença estatisticamente significativa após o armazenamento, com médias de 0,09 A (SA) e 0,08 A (CA) (Tabela 3). 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).

Tabela 3 - Médias dos 24 genótipos de milho-pipoca para área da plântula (AP), largura da parte aérea (LPA) e largura das raízes (LR) provenientes de sementes germinadas antes (SA) e após o armazenamento (CA)

Genótipo	AP SA 2022	AP CA 2024	LPA SA 2022	LPA CA 2024	LR SA 2022	LR CA 2024
L472	4,82 cA	3,93 bB	0,27 bA	0,23 bB	0,07 dB	0,07 bA
L75	5,74 aA	4,50 aB	0,26 cA	0,20 cB	0,09 bA	0,09 aA
P7	4,89 cA	4,75 aA	0,27 bA	0,24 bA	0,09 bA	0,09 aA
L510	2,35 fA	2,13 eA	0,23 dA	0,22 cA	0,08 cA	0,08 bA
L220	3,58 dA	3,05 dB	0,25 cA	0,21 cB	0,09 bA	0,09 aA
L65	3,70 dA	3,03 dB	0,27 bA	0,21 cB	0,08 cA	0,09 aA
L386	2,82 fA	1,98 fB	0,23 dA	0,18 dB	0,09 bA	0,08 aB
L76	3,49 dA	3,03 dB	0,23 dA	0,18 dB	0,10 aA	0,09 aB
L213	2,96 eA	1,73 fB	0,23 dA	0,18 dB	0,09 bA	0,07 bB
L684	2,22 eA	1,95 fA	0,21 dA	0,17 dB	0,10 aA	0,08 bB
L61	3,08 eA	2,43 eB	0,24 cA	0,21 cB	0,08 cA	0,07 bA
L690	3,25 eA	2,28 eB	0,25 cA	0,17 dB	0,10 aA	0,08 aB
L203	2,50 fA	1,85 fB	0,20 dA	0,15 dB	0,09 bA	0,08 bB
L509	3,69 dA	2,25 eB	0,27 bA	0,20 cB	0,08 cA	0,07 bA
L358	5,13 cA	4,68 aB	0,25 cA	0,19 cB	0,07 eB	0,08 bA
L507	4,90 cA	3,83 bB	0,30 aA	0,26 aB	0,09 bA	0,09 aA
P2	5,29 bA	5,05 aA	0,29 aA	0,26 aB	0,08 cA	0,07 bB
P3	4,55 cA	4,40 aA	0,33 aA	0,26 aB	0,09 bA	0,08 aA
L391	3,34 eA	2,80 dB	0,26 bA	0,17 dB	0,09 bA	0,08 bB
L71	3,45 dA	2,65 dB	0,25 cA	0,21 cB	0,10 aA	0,09 aA
L263	2,28 fA	1,85 fA	0,23 dA	0,19 cB	0,08 cA	0,07 bA
L655	2,40 fA	1,93 fB	0,24 cA	0,21 cB	0,10 aA	0,10 aA
L217	4,95 cA	3,43 cB	0,30 aA	0,21 cB	0,09 bA	0,09 aA
L501	3,15 eA	2,40 eB	0,27 bA	0,22 cB	0,09 bA	0,09 aA
Média	3,69 A	2,99 B	0,26 A	0,21 B	0,09 A	0,88 A

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

A análise do comprimento do coleóptilo (CC) revelou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (Tabela 4), indicando que o armazenamento das sementes reduziu essa característica, o que, consequentemente, 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 4). 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.

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.

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).

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 4). Apesar do efeito negativo geral, alguns genótipos demonstraram resistência fisiológica ao armazenamento, mantendo o grupo estatístico de Scott-Knott entre SA e CA.

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) (Tabela 4).

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.

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 4). 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 (Tabela 4).

Com relação ao parâmetro razão entre raiz e coleótilo (RRC) observa-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 4). 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, L358 e L655 apresentaram as maiores RRC. Essa diversidade pode indicar estratégias diferenciadas de alocação de recursos entre raiz e parte aérea. Na avaliação CA 2024, destacaram-se os genótipos L690, L358, L391, L263, L65 e L655, indicando incremento na RRC. A maioria dos genótipos apresentaram aumento significativo na RRC após armazenamento, exceto os genótipos L509 e L472.

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 coleótilo mais longo pode ser desejável para favorecer a emergência em solos compactados ou profundos (Carvalho e Nakagawa, 2000).

A diferença observada entre as avaliações, aliada ao desempenho de diversos genótipos, reforça a importância de testar os materiais em diferentes épocas e ambientes. 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.

Tabela 4 - Médias dos 24 genótipos de milho-pipoca para o comprimento do coleóptilo (CC) e o comprimento total (CT), razão entre a raiz e coleóptilo (RRC) e comprimento da raiz (CR) provenientes de sementes germinadas antes (SA) e após o armazenamento (CA)

Genótipo	CC SA	CC CA	CT SA	CT CA	RRC SA	RRC CA	CR SA	CR CA
	2022	2024	2022	2024	2022	2024	2022	2024
L472	7,12 cA	5,40 aB	18,48 bA	15,37 cB	1,62 cA	1,90 eA	11,35 cA	9,97 eA
L75	6,89 cA	4,95 aB	19,42 aA	16,28 cB	1,88 bB	2,44 cA	12,53 bA	11,33 dA
P7	6,55 dA	4,97 aB	20,15 aA	16,42 cB	2,17 aA	2,45 cA	13,61 aA	11,45 dB
L510	5,25 fA	4,07 bB	13,19 cA	13,48 dA	1,56 cB	2,38 cA	7,95 dA	9,41 eA
L220	7,02 cA	5,20 aB	16,19 bA	16,36 cA	1,34 cB	2,25 dA	9,17 dB	11,17 dA
L65	6,21 dA	4,20 bB	17,98 bA	16,82 cA	1,77 bB	3,16 bA	10,76 cB	12,62 cA
L386	4,53 gA	2,55 dB	12,52 dA	9,60 eB	1,81 bB	2,93 bA	8,00 dA	7,06 fA
L76	5,00 fA	3,41 cB	14,13 cA	11,99 dB	1,85 bB	2,64 cA	9,13 dA	8,57 eA
L213	5,55 eA	3,13 cB	13,68 cA	9,38 eB	1,50 cB	2,08 dA	8,13 dA	6,25 fB
L684	4,13 gA	2,59 dB	10,11 eA	9,45 eA	1,50 cB	2,71 cA	5,99 eA	6,86 fA
L61	6,40 dA	4,25 bB	17,50 bA	14,95 cB	1,77 bB	2,64 cA	11,09 cA	10,71 dA
L690	5,98 eA	2,55 dB	14,41 cA	11,16 eB	1,48 cB	3,85 aA	8,43 dA	8,61 eA
L203	5,41 fA	3,11 cB	13,92 cA	9,77 eB	1,62 cB	2,33 cA	8,50 dA	6,65 fB
L509	7,77 bA	4,83 aB	17,87 bA	12,47 dB	1,31 cA	1,63 eA	10,10 dA	7,63 fB
L358	6,93 cA	4,74 aB	21,74 aA	20,75 aA	2,21 aB	3,45 bA	14,81 aA	16,01 aA
L507	7,70 bA	5,25 aB	20,05 aA	17,85 bB	1,62 cB	2,47 cA	12,36 bA	12,59 cA
P2	8,85 aA	5,30 aB	20,28 aA	18,72 bA	1,34 cB	2,57 cA	11,45 cB	13,41 bA
P3	7,43 bA	5,00 aB	17,70 bA	18,68 bA	1,45 cB	2,66 cA	10,26 cB	13,68 bA
L391	5,15 fA	3,30 cB	13,80 cA	13,83 dA	1,75 bB	3,32 bA	8,64 dB	10,52 dA
L71	6,51 dA	4,00 cB	14,80 cA	12,76 dB	1,31 cB	2,67 cA	8,29 dA	9,16 eA
L263	4,41 gA	2,90 dB	12,77 dA	11,97 dA	1,96 bB	3,17 bA	8,35 dA	9,07 eA
L655	3,81 gA	2,90 dB	11,80 dA	9,42 eB	2,24 aB	3,11 bA	7,99 dA	6,98 fA
L217	7,19 cA	4,50 bB	18,14 bA	13,82 dB	1,53 cB	2,21 dA	10,99 cA	9,32 eB
L501	5,81 eA	4,10 bB	15,12 cA	12,63 dB	1,62 cB	2,11 dA	9,31 dA	8,52 eA
Média	6,15 A	4,01 B	16,03 A	13,92 B	1,68 B	2,63 A	9,89 A	9,90 A

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

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, com a germinação média geral significativamente reduzida.

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, 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.

Os resultados reforçam a importância de considerar tanto a qualidade fisiológica inicial das sementes quanto sua estabilidade durante o armazenamento.

REFERÊNCIAS

- AMARAL JÚNIOR, A. T. DO; GONÇALVES, L. S. A.; PAIVA FREITAS JÂNIO, 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. A new popcorn cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.13, n.3, p.218–220, 2013.
- BAUDET, L. M. B. **Produção técnico-científica em sementes**, UFPel, v.1, p.435–460. 1996.
- BELING, R. R. **Anuário Brasileiro do Milho 2024**. 2024. 80p.
- BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. Springer. 2013. 405p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. MAPA/ACS. 2009. 398p.
- CARVALHO, E. R.; MAVAIEIE, D. P. R.; OLIVEIRA, J. A.; CARVALHO, M. V.; VIEIRA, A. R. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de feijão envelhecidas artificialmente. **Journal of Seed Science**, v. 36, n.2, p.134-142, 2014.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, tecnologia e produção**, 4.ed. FUNEP. 2000. 588p.
- CRUZ, C. D. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4.ed. Viçosa: UFV. 2012. 514p.
- 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. Características físico-químicas e reológicas de amido de milho (*Zea mays* L.) de pipoca crioulo. **Research, Society and Development**, v.10, n.13, e402101321394, 2021.
- DE SOUZA, W. C. L.; SILVA, L. G.; SILVA, L. E. B.; SILVA, R. L. V.; LIMA, L. L. C.; BRITO, D. R. Aspectos comparativos entre milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench): diferenças e semelhanças. **Diversitas Journal**, v.5, n.4, p.2337-2357, 2020.
- FAO. FAOSTAT. **Crops and livestock products Trade**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2025. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/>. Acesso: 25/9/25.

FÉLIX, F. C.; DOS SANTOS, A. F.; DOS SANTOS, F. C., PACHECO, M. V. Dessecação e armazenamento de sementes de *Adonidia merrillii* (Becc.) Becc. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.12, n.1, p.86–91, 2017

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. Conservation and use of Latin American maize diversity: Pillar of nutrition security and cultural heritage of humanity. **Agronomy**, v.11, n.1, p.172, 2021

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2.ed., Guanabara: Koogan. 2008. 452p

KIST, B. B.; SANTOS, C. E. DOS; CARVALHO, C.; RUVIARO, C. F.; OLIVEIRA, M. DE (Eds.). **Anuário brasileiro do milho 2024**. Gazeta: Santa Cruz, 2024. 43p.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. ABRATES. 2015.

NASEER, M. N.; HUSSAIN, S. Z.; IKHLAQ, A.; MUSHTAQ, Z.; IQBAL, T. Effect of salinity stress on germination, seedling growth, mineral uptake and chlorophyll contents of three cucurbitaceae species. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.65, e22210213, 2022.

PARAGINSKI, R. T. **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. 2014. 123p.

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

SHARMA, V. **Seed composition and its relation with vigour and storage behaviour in maize** [Tese de doutorado, ICAR-Indian Agricultural Research Institute]. Krishikosh Institutional Repository. 2018. 213p.

SILVA, F. F.; PINHO, E. V. R. V.; VEIGA, A. D.; PEREIRA, P. H. A. R. Deterioração controlada para avaliação do vigor de sementes de milho pipoca. **Revista Ciência Agronômica**, v.52, n.4, e.20207535. 2021

SOUZA, G. M., BARBOSA, A. de M. Fatores de estresse no milho são diversos e exigem monitoramento constante. **Visão Agrícola**, v.13, n.1, p.30–34. 2015.

SWARNAKAR, A. K.; MOHAPATRA, M.; DAS, S. K. A review on processes, mechanisms, and quality influencing parameters for puffing and popping of grains. **Journal of Food Processing and Preservation**, v.46, n.10, p.16891, 2022.

VIEIRA, R. D., BITTENCOURT, S. R. M., PANOBIANCO, M. Vigor: um componente da qualidade de sementes. **Informativo ABRATES**, v.11, n.2, p.199, 2001.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Estadual Norte Fluminense pelo apoio na construção e publicação deste artigo.