



Qualidade fisiológica de sementes de milho tratadas com água ativada por plasma frio

Physiological quality of millet seeds treated with cold plasma activated water

DOI: 10.55905/rdelosv16.n50-013

Recebimento dos originais: 24/11/2023

Aceitação para publicação: 27/12/2023

Alexandre Martins Abdão dos Passos

Doutor em Agronomia (Fitotecnia)

Instituição: Embrapa Milho e Sorgo

Endereço: Sete Lagoas – MG, Brasil

E-mail: alexandre.abdao@embrapa.br

João Gabriel Cristofano Camargo

Graduando em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei - campus CSL

Endereço: Sete Lagoas – MG, Brasil

E-mail: joaocristofano@gmail.com

Gabriel Alves de Carvalho

Graduando em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei - campus CSL

Endereço: Sete Lagoas – MG, Brasil

E-mail: alvesgc741@gmail.com

Yann Andrade de Carvalho

Graduando em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de São João del-Rei - campus CSL

Endereço: Sete Lagoas – MG, Brasil

E-mail: yannandrade866@gmail.com

Taís Felix

Doutora em Química

Instituição: Glow Tecnologia

Endereço: Curitiba - PR, Brasil

E-mail: contato@glowtecnologia.com

RESUMO

A manutenção da qualidade fisiológica e sanitária é uma premissa nos bancos ativos de germoplasma de espécies com sementes ortodoxas. A utilização do plasma frio no tratamento de sementes pode promover germinação, vigor e sanitização. Este estudo objetivou avaliar o efeito da água ativada por plasma frio sobre a qualidade fisiológica de sementes de genótipos de milho (IPC 000076, ICMV 87901, SADCWGC e SDMV 92021). Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, com três níveis de exposição da água ao plasma (0, 60 e 90 minutos),



avaliando-se a germinação das sementes e a dinâmica da emergência das plântulas em canteiro com solo agrícola. Observou-se variação significativa nas respostas dos diferentes genótipos aos tratamentos de plasma. Genótipos como ICMV 87901 e IPC 000076 apresentaram melhor emergência e vigor com maior tempo de exposição ao plasma, com incrementos médios significativos na emergência das plântulas de 24,4% e 30%, respectivamente. Contudo, o genótipo SADCWGC mostrou sensibilidade a exposições mais longas, com um aumento na taxa de sementes mortas de 0,67% para 9,33%. O genótipo ICMV 87901 apresentou os maiores benefícios na qualidade de emergência, com melhorias na velocidade, uniformidade e sincronização. O efeito do plasma é dependente do vigor inicial do lote de semente e do genótipo de milho. A utilização de água ativada por plasma frio pode ser uma técnica promissora para aumentar a qualidade fisiológica de sementes de milho.

Palavras-chave: plasma não térmico, recursos genéticos, tratamento de sementes.

ABSTRACT

Appropriate physiological and sanitary quality is a premise in active germplasm banks for orthodox seed species. The use of non-thermal plasma in seed treatment can promote germination, vigor, and sanitization. This study aimed to evaluate the effect of non-thermal plasma-activated water (PAW) on the physiological quality of millet genotypes seeds (IPC 000076, ICMV 87901, SADCWGC, and SDMV 92021). A completely randomized design was used, with three levels of water exposure to plasma (0, 60, and 90 minutes), assessing seed germination and the dynamics of seedling emergence in beds with agricultural soil. Significant variation in the responses of different genotypes to plasma treatments was observed. Genotypes such as ICMV 87901 and IPC 000076 showed improved emergence and vigor with longer plasma exposure, with significant average increases in seedling emergence of 24.4% and 30%, respectively. However, the SADCWGC genotype showed sensitivity to longer exposures, with an increase in the dead seed rate from 0.67% to 9.33%. The ICMV 87901 genotype exhibited the greatest benefits in emergency quality, with improvements in speed, uniformity, and synchronization. The effect of plasma-activated water is dependent on the initial vigor of the seed lot and the genotype of millet. The use of non-thermal plasma-activated water may represent a promising technique to enhance the physiological quality of millet seeds.

Keywords: non-thermal plasma, genetic resources, seed treatment

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a ciência e tecnologia agrícola têm experimentado avanços significativos, introduzindo métodos inovadores para aprimorar a qualidade das sementes, um pilar fundamental para a agricultura sustentável. Entre essas inovações, destaca-se o plasma frio, também conhecido como plasma não térmico (PNT), que pode ser atmosférico ou não. Este estado da matéria, condição predominantemente no Universo, se divide em plasma quente (em equilíbrio termodinâmico) e PNT (em não equilíbrio), podendo ser utilizado na agricultura de

diversas formas (Sivachandiran et al. 2017; Bourke et al. 2018; Bafoil et al. 2019; Rifna et al. 2019).

O plasma frio tem demonstrado resultados promissores no tratamento de sementes, influenciando positivamente aspectos como germinação, vigor e sanitização. Estudos como os de Ling et al. (2014) em sementes de soja, utilizando plasma em diferentes potências e tempos de exposição, mostraram melhorias na germinação e no crescimento das plântulas. Contudo, ainda há fatores a serem refinados para melhor posicionamento da tecnologia na agricultura, como o efeito da genética das plantas.

Além de fatores intrínsecos ao plasma, variação nas geometrias dos reatores de plasma, potência, natureza dos gases além das espécies (Randeniya e Groot, 2015), que bem equacionados promovem efeitos positivos em sementes como o aumento do vigor e taxa de germinação. Por sua vez, o efeito do PNT nas superfícies e seres vivos é dependente de diversos fatores, como a espécie a ser tratada, do tempo e potência da descarga luminescente (Braşoveanu et al., 2015). Além do plasma em gás rarefeito, o plasma atmosférico também apresenta aplicabilidade em sementes, com a vantagem de menor investimento em equipamentos. Em sementes de soja, Ling et al. (2014), utilizando potências entre 60 e 120 W e tempo de descarga de apenas 15 percebeu melhora na germinação, vigor e crescimento das plântulas.

O PNT tem sido citado como tecnologia de descontaminação de sementes (Los et al., 2018; Adhikari et al., 2020) sem alterar o poder germinativo das plantas, o que é desejável. Outros fatores benéficos ainda têm sido relatados, como Zhou et al. (2020), que ao tratarem sementes de milho, verificaram a campo o aumento no número de espigas por planta e da resistência a doenças.

A qualidade sanitária dos lotes de sementes ortodoxas é crucial para a preservação eficaz do acervo em bancos de germoplasma (Arif et al., 2022). Fungos, bactérias, vírus e nematoides, que podem ser transmitidos tanto pelas sementes quanto pelas impurezas presentes, representam um risco significativo para os usuários desses bancos. Além disso, a aplicação inadequada de tratamentos químicos convencionais, embora eficazes no controle de doenças, pode ser prejudicial às sementes, reduzindo sua germinação, vigor e, conseqüentemente, a longevidade do material armazenado (Jorge et al., 2011; Moumni et al., 2023).

Nesse sentido, a busca por técnicas inovadoras na descontaminação de sementes, especialmente em bancos de germoplasma e, mesmo em sementes comerciais certificadas, torna-



se essencial a adoção de técnicas que respeitem a integridade e o vigor das sementes (Moumni et al., 2023). Comumente, evita-se realizar tratamentos agressivos, como os térmicos ou químicos, antes do armazenamento, devido ao potencial de afetar negativamente as taxas de deterioração a longo prazo e os resultados de testes de monitoramento (Lamichhane et al., 202). Portanto, a busca por métodos que não comprometam o vigor das sementes, ao mesmo tempo que controlam a presença de patógenos, é de grande interesse, tanto para manter a qualidade germinativa quanto para prolongar a longevidade das sementes armazenadas (Martín et al., 2022).

O objetivo do trabalho foi avaliar o potencial germinativo e vigor de lotes de sementes de milho do banco de germoplasma da cultura, embebidas com água ativada por plasma frio.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no laboratório de análises de sementes da Embrapa Milho e Sorgo, localizado em Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. O laboratório possui instalações adequadas e equipamentos necessários para a realização de testes de germinação e avaliação da qualidade das sementes.

O experimento avaliou o efeito de três níveis de água ativada por plasma frio (0, 60 e 90 minutos de exposição) sobre a qualidade fisiológica de sementes de quatro genótipos de milho (IPC 000076, ICMV 87901, SADCWGC e SDMV 92021). O experimento foi montado em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (genótipos e tempo) com três repetições.

Água ativada por plasma frio foi preparada a partir de água deionizada (Cloroquímica, PR), sem tratamento prévio. A temperatura foi controlada através de um banho. Os tratamentos por plasma frio foram realizados utilizando o protótipo da Glow Tecnologia em fase úmida. O gerador de plasma utilizado apresenta tensão máxima de 20 kV, frequência de 20 kHz, temperatura do fluido entre 10°C e 15°C, pressão atmosférica com fluxo de ar de 1 litro por minuto, distância entre eletrodo e superfície de 0.6 mm, e corrente máxima de 10 mA. Após o preparo da água ativada, as amostras foram armazenadas em frascos plásticos âmbar até o tratamento das sementes.

No experimento, a germinação das sementes foi avaliada no sétimo dia segundo a RAS (regra de análise de sementes) (Brasil, 2009). Foram analisadas a porcentagem de sementes de plântulas normais, sementes anormais e sementes mortas. Ainda, foi utilizado um teste de vigor,



de emergência em canteiro. Nesse, foram feitas leituras diárias, com a emergência das plantas ocorrendo a partir do terceiro dia.

Foram utilizadas 50 sementes em cada caixa gerbox, sobre papel mata-borrão. Os papéis foram embebidos com 2,5 vezes a massa de água ativada (testemunha e doses de 360e 90 minutos) em relação à massa do papel. Em seguida, as sementes de cada acesso foram semeadas e mantidas em 25°C. Foram avaliados no germinador as porcentagens de plântulas normais (GERM), Plântulas anormais (ANOR) e sementes mortas (MORT).

A partir da leitura diária de plantas emergidas no canteiro calculou-se a porcentagem de emergência (EM) [em %], porcentagem relativizada de emergência (PRE) [em %], tempo médio de emergência (TME) [em dias], taxa média de emergência (TxME) [em dias], coeficiente de variação do tempo de emergência (CVTE) [em %], coeficiente de velocidade de emergência (CVE) [em %], índice de emergência (IE) [em dias], incerteza do processo de emergência (IPE) [em bit], índice de sincronização (IS) [adimensional], tempo para 10% de emergência (T10E) [em dias], tempo para 25% de emergência (T25E) [em dias], tempo para 50% de emergência (T50E) [em dias], tempo para 75% de emergência (T75E) [em dias], tempo para 90% de emergência (T90E) [em dias], tempo da emergência de 10% a 90% (T10_90E) [em dias], tempo da emergência de 25% a 75% (T25_75E) [em dias], porcentagem da média diária de emergência (PMDE) [em %], pico máximo para emergência (PME) [em dias] e valor da emergência (VE) [adimensional].

As variáveis são explicadas abaixo:

Porcentagem de emergência (EM): a porcentagem de emergência é uma estimativa da emergência, do vigor da população de sementes. A equação para calcular a porcentagem de emergência é:

$$EM (\%) = EM = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{N} \times 100$$

Onde;

n_i = número de plântulas emergidas no i -ésimo tempo N = Número total de sementes utilizadas.



Porcentagem relativizada de emergência: A porcentagem de emergência pode ser relativizada pela seguinte equação (Fitch et al. 2007):

$$\text{PRE (\%)} = \text{EO/ER} \times 100$$

Onde:

AP = porcentagem emergência observada parcela;
ER = porcentagem emergência entre o grupo de dados.

Esta padronização permite comparações entre tratamentos quanto à emergência ou germinação.

Tempo médio de emergência: o tempo médio de emergência é uma medida da taxa e distribuição temporal da emergência. Indica o tempo gasto para germinar e emergir. A seguinte fórmula foi usada para calcular o tempo médio de emergência (Ellis e Roberts 1981):

$$\text{TME (dias)} = TME = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_j}$$

Onde:

$n_i t_i$ = é o produto das sementes emergidas no intervalo i com o intervalo de tempo correspondente;
 n_i = número de sementes emergidas no i -ésimo tempo.

Taxa média de emergência: a taxa média de emergência é o inverso do tempo médio de emergência conforme mostrado abaixo (Ranal et al. 2009).

$$\text{TxE (dias)} = \text{TME}^{-1}$$

Onde:

TME= Tempo médio de emergência



Incerteza do processo de emergência: a incerteza do processo de emergência indica o grau de incerteza associado à distribuição da frequência relativa da emergência. A incerteza é calculada usando a seguinte equação (Labouriau e Valadares 1976):

$$\text{IPE (bit)} = \sum_{i=1}^k f_i \log_2 f_i$$

Onde:

$$\bar{f}_i = \sum_{i=1}^k f_i \log_2 f_i$$

f_i = Frequência relativa de emergência.

Valores baixos de incerteza indicam frequências com poucos picos (ou seja, emergência mais concentrada no tempo). Valor baixo (perto de zero) indica emergência mais sincronizada.

Sincronia do processo de emergência (índice de sincronização): avalia o grau de sobreposição entre indivíduos de uma população. O índice de sincronização produz um número se e somente se houver duas sementes finalizando o processo de emergência ao mesmo tempo. É calculado usando a seguinte fórmula (Labouriau 1978):

$$\text{IS} = \frac{\sum_{i=1}^k C_{ni,2}}{C_{\sum ni,2}}$$

Onde:

$$C_{ni,2} = \frac{ni(ni-1)}{2}$$

$C_{ni,2}$ = combinação de sementes emergidas na i -ésima época, duas a duas.

ni = número de sementes emergidas no i -ésimo tempo.

$Z = 1$: quando a emergência de todas as sementes ocorre ao mesmo tempo.

$Z = 0$: quando pelo menos duas sementes puderam emergir, uma de cada vez.

Coeficiente de variação do tempo de emergência: o coeficiente de variação do tempo de emergência é calculado pela seguinte expressão (Ranal et al. 2009):



$$\text{CvtE (\%)} = \text{St} \times \text{TME}^{-1} \times 100$$

Onde:

$$\text{St} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k n_i(t_i - \bar{t})^2}{\sum_{i=1}^k n_i - 1}}$$

St= desvio padrão do tempo de emergência

TME= tempo médio de emergência

Amostras com apenas uma semente emergida não possuem o valor desta medida porque o divisor de variância do tempo de emergência é zero.

Índice de emergência: o índice de emergência é uma estimativa do tempo (em dias) que leva para ocorrer uma determinada porcentagem de emergência. O índice de emergência pode ser calculado usando a seguinte expressão (AOSA e SCST 1993):

$$\text{IE(dias)} = \sum_{i=1}^k n_i / t_i$$

Onde:

n_i = número de sementes emergidas no i -ésimo tempo

t_i = tempo necessário para as sementes emergirem na i -ésima contagem

Coefficiente de velocidade de emergência: o coeficiente de velocidade de emergência pode ser calculado usando a seguinte expressão (Jones e Sanders 1987):

$$\text{CVE} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \times 100$$

Tempo para 50% de emergência: tempo até 50% de emergência (T50) indica quanto tempo foi necessário para que metade das sementes emergissem. T50 pode ser calculado usando a seguinte expressão (Coolbear, Francis e Grierson 1984):



$$T50 \text{ (em dias)} = \frac{t_i + \left(\frac{\sum_{i=1}^k n_i}{2} - n_i\right)(t_i - t_i)}{n_j - n_i}$$

Na equação acima, para descobrir o valor de n_i e n_j é necessário consultar o número cumulativo de sementes emergidas para o qual a condição é dada abaixo.

$$n_i < \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{2} < n_j$$

Onde:

n_i = número cumulativo mais próximo de sementes emergidas
(C_{n_i}) < $\sum_{i=1}^k n_i$ / 2 n_j = número cumulativo mais próximo de sementes emergidas
(C_{n_j}) > $\sum_{i=1}^k n_i$ / 2 t_i = o intervalo de tempo correspondente a n_i
 t_j = o intervalo de tempo correspondente a n_j

Outros parâmetros de emergência relacionados ao tempo, como T10, T25, T75 e T90, foram calculados usando a mesma fórmula acima, substituindo

$$\frac{\sum_{i=1}^k n_i}{2} \text{ por } \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{10}, \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{4}, \frac{3 \sum_{i=1}^k n_i}{4} \text{ e } \frac{9 \sum_{i=1}^k n_i}{10}, \text{ respectivamente.}$$

Porcentagem média diária de emergência: Representa o número médio de sementes emergidas por dia. Isto também pode ser definido como o número de sementes que emergem diariamente em relação ao número máximo de sementes emergidas. É calculado usando a seguinte expressão (Adams e Farrish 1992):

$$PMDE (\%) = EaP/Tf$$

Onde:

EaP = porcentagem de emergência cumulativa final
Tf = número total de intervalos necessários para a emergência final

Valor de pico (pico máximo para emergência): é o número acumulado de sementes emergidas no ponto da curva de emergência em que a taxa de emergência começa a diminuir. É

calculado como o quociente máximo obtido dividindo sucessivos valores cumulativos de emergência pelo tempo de incubação relevante (Adams e Farrish 1992).

Valor de emergência: o valor adimensional de emergência é obtido combinando a velocidade e a integridade da emergência em uma pontuação composta conforme descrito por Czabator (1962):

$$VE=ODM \times VP$$

Onde:

MDE = média diária de emergência

VP= valor de pico ou maior quociente obtido quando todas as porcentagens cumulativas de emergência foram divididas pelo respectivo intervalo de tempo.

A partir dos dados obtidos procedeu-se uma análise para verificar a normalidade dos resíduos utilizando-se o teste de Shapiro-Wilk e para a homogeneidade das Variâncias, o teste de Levene. Cumpridos os pressupostos, foi realizada a análise de variância por meio do software R. Foi realizada a análise de variância das variáveis resposta e quando significativo, foi aplicado o teste de Tukey. Posteriormente foi realizado um estudo de correlação das variáveis usando Pearson.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se efeito significativo dos genótipos e tempo de exposição na maioria das variáveis, como emergência das sementes (EM), plântulas normais (GERM), sementes anormais (ANOR), sementes mortas (MORT), porcentagem relativizada de emergência (PRE), incerteza do processo de emergência (IPE), e outras medidas de tempo de emergência (T10E, T25E, T50E, etc.) (Tabela 1). Isso indica uma variação notável nas respostas dos diferentes acessos de milho aos tratamentos. Quanto ao tempo de ativação da água por plasma, observou-se efeito nas variáveis, excetuando para as ligadas à germinação, coeficiente de variação do tempo de emergência (CVtE) e na incerteza do processo de emergência (IPE). Por sua vez, as variáveis que não apresentaram interação entre genótipos e tempo de ativação da água foram as variáveis ligadas à germinação (plântulas normais e anormais) e novamente o coeficiente de variação do tempo de emergência (CVtE).



Tabela 1 – Resumo de análise de variância para parâmetros de germinação e emergência de sementes de milho sob níveis de águas tratadas por plasma frio.

Fonte de variação	GL	GERM	ANOR	MORT	EM	PRE	TME
Genótipos	3	0.000003**	0.000041**	0.000112**	0.000003**	0.000003**	0.079774
Tempo	2	0.618034	0.093446	0.22121	0.000548**	0.000548**	0.042503*
Genótipos:Tempo	6	0.598572	0.9925115	0.036435*	0.01529*	0.01529*	0.007055**
Fonte de variação	GL	TxME	CVtE	CVE	IE	IPE	IS
Genótipos	3	0.082939*	0.221676	0.082939*	0.000001**	0.009788*	0.001066**
Tempo	2	0.047334*	0.513106	0.047334*	0.000195**	0.092631	0.040944*
Genótipos:Tempo	6	0.005393**	0.08874	0.005393**	0.004066*	0.005211**	0.000836**
Fonte de variação	GL	T10E	T25E	T50E	T75E	T90E	T10_90E
Genótipos	3	0.01885*	0.01885*	0.01885*	0.02932*	0.188697	0.203336
Tempo	2	0.029987*	0.029987*	0.029987*	0.006723**	0.020672*	0.022299*
Genótipos:Tempo	6	0.019285*	0.019285*	0.019285*	0.021874*	0.016109*	0.017491*
Fonte de variação	GL	T25_75E	PMDE	PME	VE		
Genótipos	3	0.048608*	0.000003**	0.000003**	0.000001**		
Tempo	2	0.009165**	0.000548**	0.000417**	0.000176**		
Genótipos:Tempo	6	0.03718*	0.01529*	0.001655**	0.002928**		
Resíduo	24						

Germinação (GERM), plântulas anormais (ANOR), sementes mortas (MORT), porcentagem de emergência (EM), porcentagem relativizada de emergência (PRE), tempo médio de emergência (TME), taxa média de emergência (TxME), coeficiente de variação do tempo de emergência (CVTE), coeficiente de velocidade de emergência (CVE), índice de emergência (IE), incerteza do processo de emergência (IPE), índice de sincronização (IS), tempo para 10% de emergência (T10E), tempo para 25% de emergência (T25E), tempo para 50% de emergência (T50E), tempo para 75% de emergência (T75E), tempo para 90% de emergência (T90E), tempo da emergência de 10% a 90% (T10_90E), tempo da emergência de 25% a 75% (T25_75E), porcentagem da média diária de emergência (PMDE), pico máximo para emergência (PME) e valor da emergência (VE).

* e ** é significativo a 5 % e 1 %, de probabilidade pelo teste F respectivamente

Fonte: autores

Pelos resultados, sugere-se que o efeito do tempo de exposição à água ativada varia dependendo do genótipo do milho (Tabela 2).



Tabela 2 – Médias de germinação (plântulas normais) (GERM), anormais (ANOR), sementes mortas (MORT), porcentagem de emergência (EM) e incerteza do processo de emergência (IPE) para sementes de acessos de milho submetidas à embebição por água ativada por plasma frio.

Acessos	GERM		ANOR		MORT		EM		IPE	
				%						
ICMV 87901	92.44	a	2.00	b	5.56	b	75.33	b	0.66	a
IPC 000076	89.33	a	3.33	b	7.33	b	72.89	b	0.76	a
SADCWGC	93.11	a	1.78	b	4.22	b	83.56	a	0.41	b
SDMV 92021	78.22	b	9.56	a	12.22	a	62.89	c	0.59	a
Total Geral	88.28		4.17		7.33		73.67		0.60	

Letras diferentes nas colunas indicam diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0,05)

Fonte: autores

Avaliando-se a germinação, verificou-se que os genótipos ICMV 87901, IPC 000076 e SADCWGC apresentaram taxas de germinação elevadas (92.44%, 89.33% e 93.11%, respectivamente), indicando uma boa viabilidade das sementes. O SDMV 92021 por sua vez, gerou, em média das doses de PAW, uma taxa de germinação significativamente mais baixa (78.22%), indicando menor qualidade fisiológica do lote. A alta taxa de germinação (condições ótimas) permite que lotes sejam potencialmente mais adequados para um bom estabelecimento de culturas e utilização das sementes para os propósitos de um Banco ativo de germoplasma.

No que diz respeito a sementes anormais, o SDMV 92021 apresentou elevada taxa de 9.6%, a mais alta entre os genótipos, reforçando potenciais questões de qualidade e vigor. Esse genótipo também se destacou em sementes mortas, com uma taxa de 12.2%, destacando possíveis desafios na conservação ou condições adversas na sua produção e ou armazenamento.

Similarmente, quanto à porcentagem de emergência, o SADCWGC sobressaiu com uma taxa de 83.6%, indicando um vigor comercial apropriado. Em comparação, o SDMV 92021 teve a menor taxa, apenas 62.9%. Níveis de vigor, por meio da emergência de canteiro, são cruciais para um estabelecimento uniforme da cultura, o que é especialmente importante em janelas de plantio curtas e em condições ambientais adversas. Destaca-se ainda que sementes vigorosas podem aproveitar melhor as condições climáticas favoráveis logo após o plantio. Isso é essencial para culturas que são sensíveis a variações climáticas durante as fases iniciais de desenvolvimento.

Avaliando-se a Incerteza do Processo de Emergência, verifica-se que o ICMV 87901 e IPC 000076 têm valores de IPE relativamente maiores (0.66 e 0.76, respectivamente), indicando maior distribuição da emergência ao longo do tempo, enquanto o lote do acesso SADCWGC, com um IPE de 0.41, apresentou uma emergência mais previsível e concentrada. Nesse genótipo,



a emergência alta (83,6%), rápida e uniforme de sementes vigorosas pode facilitar um melhor rendimento da colheita e qualidade do produto, pois as plantas têm mais chances de atingir seu potencial genético em termos de produção ao evitar-se plantas dominadas e dominantes.

Foi verificado o efeito duplo dos fatores para diversas variáveis (Tabela 3), que foram desdobradas para verificar o efeito de cada dose da água ativada por plasma, para cada cultivar nas respectivas variáveis respostas influenciadas pela interação.

Tabela 3 – Médias de parâmetros de vigor * e sementes mortas (MORT) (%) de acessos de milho sob diferentes níveis de água ativada por plasma frio (0, 60 e 90 minutos).

ACESSOS	MORT			EM			PRE			TME		
	0 minutos	60	90	0	60	90	0	60	90	0	60	90
ICMV 87901	7.33 a A	4.67 b A	4.67 a A	69.33 b B	70.00 b B	86.67 a A	73.76 b B	74.47 b B	92.20 a A	3.31 a A	3.14 a B	3.11 a B
IPC 000076	8.67 a A	5.33 b A	8.00 a A	70.00 b B	62.67 b B	86.00 a A	74.47 b B	66.67 b B	91.49 a A	3.42 a A	3.25 a B	3.12 a B
SADCWGC	0.67 b B	2.67 b B	9.33 a A	83.33 a A	83.33 a A	84.00 a A	88.65 a A	88.65 a A	89.36 a A	3.06 b A	3.23 a A	3.11 a A
SDMV 92021	9.33 a A	14.67 a A	12.67 a A	59.33 c A	65.33 b A	64.00 b A	63.12 c A	69.50 b A	68.09 b A	3.23 a A	3.06 a B	3.26 a A
	TxME			CVE			IE			IPE		
	0	60	90	0	60	90	0	60	90	0	60	90
ICMV 87901	0.30 b B	0.32 a A	0.32 a A	30.27 b B	31.86 a A	32.16 a A	10.71 b B	11.25 b B	14.08 a A	0.94 a A	0.57 a B	0.47 a B
IPC 000076	0.29 b B	0.31 a A	0.32 a A	29.33 b B	30.81 a A	32.01 a A	10.74 b B	9.93 b B	13.93 a A	0.95 a A	0.84 a A	0.48 a B
SADCWGC	0.33 a A	0.31 a A	0.32 a A	32.64 a A	30.97 a A	32.16 a A	13.74 a A	13.27 a A	13.71 a A	0.27 b A	0.62 a A	0.34 a A
SDMV 92021	0.31 b B	0.33 a A	0.31 a B	30.99 b B	32.67 a A	30.71 a B	9.40 b A	10.72 b A	10.10 b A	0.66 a A	0.33 a B	0.77 a A
	IS			T10E			T25E			T50E		
	0	60	90	0	60	90	0	60	90	0	60	90
ICMV 87901	0.58 b B	0.74 b A	0.83 a A	2.14 a A	2.12 a B	2.11 a B	2.35 a A	2.29 a B	2.28 a B	2.69 a A	2.58 a B	2.55 a B
IPC 000076	0.63 b B	0.70 b B	0.82 a A	2.13 a A	2.12 a A	2.11 a A	2.33 a A	2.30 a A	2.28 a A	2.66 a A	2.60 a A	2.56 a A
SADCWGC	0.95 a A	0.77 b B	0.89 a A	2.10 c A	2.11 a A	2.11 a A	2.26 c A	2.29 a A	2.26 a A	2.51 c A	2.57 a A	2.53 a A
SDMV 92021	0.72 b B	0.88 a A	0.69 b B	2.12 b A	2.11 a A	2.12 a A	2.30 b A	2.27 a A	2.30 a A	2.60 b A	2.53 a A	2.61 a A
	T75E			T90E			T10_90E			T25_75E		
	0	60	90	0	60	90	0	60	90	0	60	90
ICMV 87901	3.31 a A	2.87 a B	2.83 a B	3.72 a A	3.23 a B	3.04 a B	1.58 a A	1.11 a B	0.93 a B	0.96 a A	0.58 a B	0.55 a B
IPC 000076	3.11 a A	2.90 a B	2.84 a B	3.71 a A	3.38 a A	3.12 a A	1.58 a A	1.26 a A	1.01 a A	0.78 a A	0.60 a A	0.56 a A
SADCWGC	2.77 b A	2.86 a A	2.79 a A	2.92 b B	3.48 a A	2.95 a B	0.82 b B	1.36 a A	0.85 a B	0.51 b A	0.57 a A	0.53 a A
SDMV 92021	2.90 b A	2.80 a A	2.91 a A	3.78 a A	2.96 a B	3.51 a A	1.66 a A	0.85 a B	1.38 a A	0.60 b A	0.53 a A	0.61 a A
	PMDE			PME			VE					
	0	60	90	0	60	90	0	60	90			
ICMV 87901	9.90 b B	10.00 b B	12.38 a A	17.78 b B	20.00 b B	26.22 a A	176.63 b B	200.38 b B	326.29 a A			
IPC 000076	10.00 b B	8.95 b B	12.29 a A	18.00 b B	17.56 b B	25.78 a A	180.06 b B	158.60 b B	316.89 a A			
SADCWGC	11.90 a A	11.90 a A	12.00 a A	27.11 a A	24.22 a A	26.44 a A	324.83 a A	288.76 a A	318.48 a A			
SDMV 92021	8.48 c A	9.33 b A	9.14 b A	16.67 b A	20.44 b A	17.56 b A	145.52 b A	190.86 b A	161.40 b A			

Médias seguidas pela mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem entre si a 5%.

* Germinação (GERM), plântulas anormais (ANOR), sementes mortas (MORT), porcentagem de emergência (EM), porcentagem relativizada de emergência (PRE), tempo médio de emergência (TME), taxa média de emergência (TxME), coeficiente de variação do tempo de emergência (CVTE), coeficiente de velocidade de emergência (CVE), índice de emergência (IE), incerteza do processo de emergência (IPE), índice de sincronização (IS), tempo para 10% de emergência (T10E), tempo para 25% de emergência (T25E), tempo para 50% de emergência (T50E), tempo para 75% de emergência (T75E), tempo para 90% de emergência (T90E), tempo da emergência de 10% a 90% (T10_90E), tempo da emergência de 25% a 75% (T25_75E), porcentagem da média diária de emergência (PMDE), pico máximo para emergência (PME) e valor da emergência (VE).

Fonte: autores

As diferenças estatísticas em EM, PRE, TME, TxME, CVE, IE, IPE, IS, PMDE, PME, VE e os tempos de emergência indicam um efeito positivo e diferenciado do genótipo ICMV 87901 ao aumento do tempo de exposição da água ao plasma. Isso sugere uma melhoria na emergência, vigor e uniformidade das sementes com tratamentos mais longos.



Para genótipos como ICMV 87901 e IPC 000076, maior exposição da água ao plasma (90 minutos) tendeu a produzir resultados mais positivos em comparação com tempos menores de exposição. O percentual relativo de emergência (PRE) para ICMV 87901 aumentou de, por exemplo, 73,8% para 92,20% com 90 minutos da PAW, isso indica um aumento absoluto de 18,4% e um aumento relativo de 25,93%. Para IPC 000076, números similares podem ser assumidos, refletindo uma melhoria significativa nesse acesso. De fato, os acessos SADCWGC e SAMV 92021, que apresentam os maiores e menores níveis de emergência na ausência da água ativada, respectivamente, não foram influenciados pelo tratamento por plasma.

A significância estatística em Sementes Mortas (MORT) é notada principalmente no genótipo SADCWGC. Nesse material genético a mortalidade aumenta de 0,67% a 9,33% quando o tempo de exposição da PAW aumenta de 0 para 90 minutos. Isso sugere uma possível sensibilidade desse acesso a exposições mais longas da PAW. A máxima expressão genética de um material em uma lavoura se dá quando ela se encontra em um número adequado de plantas em uma determinada área em um determinado ambiente. Um estande adequado nas lavouras é crucial para garantir um crescimento uniforme e saudável das plantas, otimizar a utilização dos recursos do solo e da água, reduzir a competição com ervas daninhas, facilitar práticas de manejo agrícola, e aumentar significativamente a eficiência da colheita, levando a um rendimento mais elevado e consistente, essencial para a sustentabilidade e lucratividade da agricultura moderna.

Por sua vez, avaliando a porcentagem de Emergência (EM), verifica-se que em ICMV 87901 e IPC 000076, há um aumento significativo na emergência de sementes com 90 minutos de exposição da PAW em comparação com 0 e 60 minutos. Isso indica que uma exposição mais longa da água ao plasma pode ser benéfica para a emergência nesses genótipos. Sementes com maior emergência geralmente têm maior capacidade de resistir a estresses ambientais, como temperaturas extremas, umidade inadequada, solos com baixa fertilidade e plantas invasoras. Essa resistência é vital para a sobrevivência das plântulas em condições menos que ideais. Um estabelecimento uniforme da cultura contribui para uma cobertura melhor do solo, o que pode ajudar a suprimir o crescimento de ervas daninhas, reduzindo a necessidade de controle herbicida.

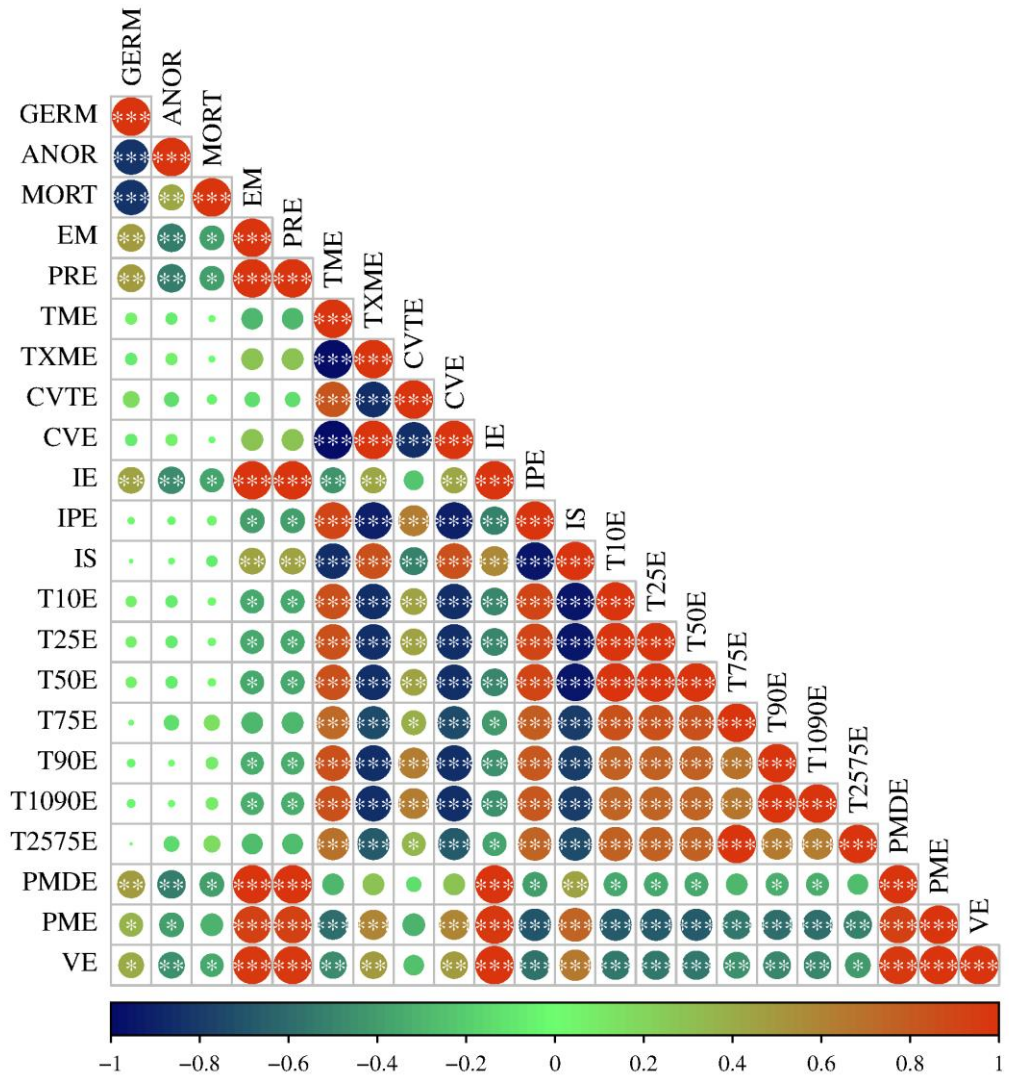
Para Índice de Emergência (IE), observam-se diferenças estatísticas no genótipo ICMV 87901 e IPC 000076, com valores significativamente maiores para o tratamento de 90 minutos. Isso pode indicar uma melhoria na qualidade das sementes com o aumento do tempo de exposição da PAW. O IE é um indicador da velocidade com que uma determinada porcentagem de sementes

emerge. Um IE maior sugere uma emergência mais rápida, o que é desejável em condições agrícolas, pois contribui para um estande de plantas uniforme e reduz a vulnerabilidade a estresses ambientais e competição com ervas daninhas.

As diferenças foram mais notáveis em IPC 000076, na Incerteza do Processo de Emergência, havendo uma diminuição significativa da variável com 90 minutos de exposição, sugerindo uma emergência mais concentrada no tempo e sincronizada.

Para os tempos de emergência, as diferenças são mais evidentes para o ICMV 87901, com diminuição do tempo em todos os intervalos avaliados para o maior tempo de exposição da PAW indicando que o plasma pode afetar o estágio final da emergência das sementes. Culturas agrícolas originárias de sementes vigorosas tendem a ser mais uniformes em seu crescimento e maturação. Isso facilita a gestão da colheita, permitindo um aproveitamento mais eficiente dos recursos e uma colheita mais sincronizada.

Figura 1 – Correlação entre variáveis respostas em sementes de milho submetidas a níveis de água ativada por plasma frio.



Fonte: autores

Verifica-se algumas correlações fortes e significativas, tais como GERM (Germinação) e ANOR (Anomalias) que ocorre de forma negativa, indicando que um aumento na germinação está frequentemente associado a uma diminuição nas anomalias. Isso sugere que nesse experimento a taxa de germinação está intimamente ligada tanto à quantidade de sementes anormais quanto à eficácia da emergência das sementes. Esta relação é fundamental para a agricultura, pois sementes com alta taxa de germinação e baixa incidência de anomalias são mais propensas a desenvolver plântulas saudáveis e vigorosas, fundamentais para o estabelecimento de uma lavoura produtiva. Além disso, uma menor ocorrência de sementes anormais reduz a



variabilidade dentro do *stand*, resultando em uma cultura mais homogênea e facilitando o manejo agrônômico.

Por sua vez, a germinação e emergência apresentaram correlação positiva significativa, mostrando que uma maior germinação esteve associada a uma maior emergência de sementes. Também uma correlação negativa significativa entre anormalidade e emergência, sugerindo que menos sementes anormais levou a uma maior emergência. A qualidade fisiológica das sementes é um fator chave no desenvolvimento inicial da planta. Sementes anormais muitas vezes falham em emergir ou produzem plântulas de baixa qualidade, o que pode afetar negativamente a uniformidade e a produtividade da lavoura. Portanto, o monitoramento e a melhoria da qualidade das sementes são essenciais para garantir um *stand* adequado e para maximizar o potencial produtivo da cultura.

4 CONCLUSÕES

1 - O tratamento de sementes de milho com Água Ativada por Plasma (PAW) influencia de forma diferenciada as variáveis fisiológicas, dependendo do genótipo e da qualidade fisiológica inicial do lote de sementes. Notavelmente, sementes de menor vigor tendem a ser mais afetadas negativamente pelo tratamento, destacando a necessidade de ajustar o uso da PAW de acordo com as características específicas de cada lote de sementes.

2 - Observou-se que os genótipos ICMV 87901 e IPC 000076 respondem particularmente bem ao tratamento com PAW, apresentando melhorias significativas em diversas variáveis relacionadas à qualidade das sementes.

3- A aplicação de PAW emerge como uma técnica promissora para aprimorar a qualidade fisiológica de sementes de milho.

REFERÊNCIAS

- Adams, J. C., & Farrish, K. W. (1992). Seedcoat Removal Increases Speed and Completeness of Germination of Water Oak. *Tree Planters' Notes-US Department of Agriculture, Forest Service (USA)*.
- Adhikari B, Pangomm K, Veerana M, Mitra S and Park G (2020) Plant Disease Control by Non-Thermal Atmospheric-Pressure Plasma. *Front. Plant Sci.* 11:77. doi: 10.3389/fpls.2020.00077
- Arif, M. A. R., Afzal, I., & Börner, A. (2022). Genetic Aspects and Molecular Causes of Seed Longevity in Plants—A Review. *Plants*, 11(598). <https://doi.org/10.3390/plants11050598>
- AOSA, & SCST. (1993). Rules for Testing Seeds. *Journal of Seed Technology*, 16, 1–113.
- Bafoil, M., et al. (2019). New Insights of Low-Temperature Plasma Effects on Germination of Three Genotypes of *Arabidopsis thaliana* Seeds under Osmotic and Saline Stresses. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi:10.1038/s41598-019-44927-4>
- Bourke, P., et al. (2018). The Potential of Cold Plasma for Safe and Sustainable Food Production. *Trends in Biotechnology*, 36(6). <https://doi:10.1016/j.tibtech.2017.11.001>
- Brașoveanu, M., et al. (2015). Effect of Glow Discharge Plasma on Germination and Fungal Load of Some Cereal Seeds. *Romanian Reports in Physics*, 67(2).
- Coolbear, P., Francis, A., & Grierson, D. (1984). The Effect of Low Temperature Pre-Sowing Treatment on the Germination Performance and Membrane Integrity of Artificially Aged Tomato Seeds. *Journal of Experimental Botany*, 35(11), 1609–1617.
- Cui, D., et al. (2019). Research on the Physio-Biochemical Mechanism of Non-Thermal Plasma-Regulated Seed Germination and Early Seedling Development in *Arabidopsis*. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1322. <https://doi:10.3389/fpls.2019.01322>
- Czabator, F. J. (1962). Germination Value: An Index Combining Speed and Completeness of Pine Seed Germination. *Forest Science*, 8(4), 386–396.
- Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1981). The Quantification of Ageing and Survival in Orthodox Seeds. *Seed Science and Technology*, 9, 373–409.
- Fitch, E. A., Walck, J. L., Hidayati, S. N., et al. (2007). Temporal Fulfilment of the Light Requirement for Seed Germination: An Example of Its Use in Management of Rare Species. In *Seeds: Biology, Development and Ecology* (p. 365).
- Jones, K. W., & Sanders, D. C. (1987). The Influence of Soaking Pepper Seed in Water or Potassium Salt Solutions on Germination at Three Temperatures. *Journal of Seed Technology*, 97–102.
- Jorge, M. A., Claessens, G., Hanson, J., Dulloo, M. E., Goldberg, E., Thormann, I., Alemayehu, S., Gacheru, E., Amri, A., Benson, E., Dumet, D., Roux, N., Rudebjer, P., Sackville Hamilton, R., Sanchez, I., Sharma, S., Taba, S., Upadhyaya, H. D., & van den (2011 ?) falta alguma informação aqui....

Houwe, I. (2010). Knowledge Sharing on Best Practices for Managing Crop Genebanks. *Agricultural Information Worldwide*, 3(2), 101-106. Available from: <http://journals.sfu.ca/iaald/index.php/aginfo/article/view/179>

Labouriau, L. G., & Valadares, M. E. B. (1976). On the Germination of Seeds of *Calotropis Procera* (Ait.) Ait. f. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 48, 263–284.

Labouriau, L. G. (1978). On the Frequency of Isothermal Germination in Seeds of *Dolichos Biflorus* L. *Plant and Cell Physiology*, 19(3), 507–512.

Lamichhane, J. R., Corrales, D. C., & Soltani, E. (2022). Biological Seed Treatments Promote Crop Establishment and Yield: A Global Meta-Analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 42, 45. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00761-z>

Ling, L., Jiafeng, J., Jiangan, L. et al. Effects of cold plasma treatment on seed germination and seedling growth of soybean. *Sci Rep* 4, 5859 (2014). <https://doi.org/10.1038/srep05859>

Los, A., et al. (2018). Improving Microbiological Safety and Quality Characteristics of Wheat and Barley by High Voltage Atmospheric Cold Plasma Closed Processing. *Food Research International*, 106. <https://doi:10.1016/j.foodres.2018.01.009>

Martín, I., Gálvez, L., Guasch, L., & Palmero, D. (2022). Fungal Pathogens and Seed Storage in the Dry State. *Plants*, 11(22), 3167. <https://doi.org/10.3390/plants11223167>

Moumni, M., Brodal, G. & Romanazzi, G. Recent innovative seed treatment methods in the management of seedborne pathogens. *Food Sec.* 15, 1365–1382 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12571-023-01384-2>

Ranal, M. A., Santana, D. G., Ferreira, W. R., & Mendes, R. C. (2009). Calculating Germination Measurements and Organizing Spreadsheets. *Brazilian Journal of Botany*, 32, 849–855.

Randeniya, L. K., et al. (2015). Non-Thermal Plasma Treatment of Agricultural Seeds for Stimulation of Germination, Removal of Surface Contamination and Other Benefits: A Review. *Plasma Processes and Polymers*, 12(7). <https://doi:10.1002/ppap.201500042>

Rifna, E. J., et al. (2019). Emerging Technology Applications for Improving Seed Germination. *Trends in Food Science and Technology*, 86. <https://doi:10.1016/j.tifs.2019.02.029>

Sivachandiran, L., et al. (2017). Enhanced Seed Germination and Plant Growth by Atmospheric Pressure Cold Air Plasma: Combined Effect of Seed and Water Treatment. *RSC Advances*, 7(4). <https://doi:10.1039/c6ra24762h>

Zhou, Z., Huang, Y., Xu, G., & Bo, K. (2020). Effects of Plasma Treatment of Maize Seeds (No.2-Zhunuo) on the Biological Properties and Yield. *Agricultural Sciences*, 11, 439-447. <https://doi:10.4236/as.2020.114026>