

**TESTE DE VIGOR PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FISIOLÓGICA DE
SEMENTES DE MILHO**

Martha Freire da Silva¹, Cleverton Timóteo de Assunção¹, Victor Augusto Lourençato¹

¹Universidade Estadual de Maringá – UEM, Departamento de Ciências Agrônômicas, Campus de Umuarama.
Estrada da Paca s/n, CEP: 87500-000, Bairro São Cristóvão, Umuarama, PR. E-mail:
marthafreire86@hotmail.com, ra117359@uem.br, ra120429@uem.br

RESUMO: Este trabalho teve por objetivo a proposição de um novo teste de vigor para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de milho, utilizando-se da combinação do teste de envelhecimento acelerado modificado, seguido da análise computadorizada das imagens das plântulas advindas de sementes envelhecidas artificialmente. Foram utilizados dez lotes de sementes de milho. Inicialmente, foi realizada a caracterização fisiológica das sementes por meio dos testes de germinação e vigor. Após, foi executada a metodologia proposta para o novo teste, sendo as sementes envelhecidas a 42 °C e umidade relativa de 100%, pelos períodos de 0, 24, 48 e 72 horas. Estas sementes foram postas para germinar e o comprimento e vigor das plântulas foram avaliados por análise computadorizada de imagens. Não houve correlação do vigor das sementes com os resultados do novo teste proposto. O teste de envelhecimento acelerado apresentou correlação positiva e significativa com o desempenho das sementes a campo, enquanto o comprimento de plântulas e índice de vigor não apresentaram correlação significativa. Os resultados desta pesquisa comprovam a dificuldade de se obter testes preditivos do vigor a campo e a necessidade da elaboração de novos testes de vigor para avaliação da fisiológica de sementes de milho.

PALAVRAS-CHAVE: envelhecimento acelerado, análise computadorizada de imagens, *Zea mays* L.

**VIGOR TEST TO EVALUATE THE PHYSIOLOGICAL QUALITY OF CORN
SEEDS**

ABSTRACT: This work aimed to propose a new vigor test to evaluate the physiological quality of corn seeds, using the combination of the modified accelerated aging test, followed by computerized analysis of images of seedlings from artificially aged seeds. Ten lots of corn seeds were used. Initially, the physiological characterization of the seeds was carried out through germination and vigor tests. Afterwards, the proposed methodology for the new test was carried out, with the seeds aged at 42 °C and 100% of relative humidity, for periods of 0, 24, 48 and 72 hours. These seeds were allowed to germinate, and the length and vigor of the seedlings were evaluated by computerized image analysis. There was no correlation between seed vigor and the results of the new proposed test. The accelerated aging test showed a positive and significant correlation with seed performance in the field, while seedling length and vigor index did not show a significant correlation. The results of this research prove the difficulty of obtaining predictive tests of vigor in the field and the need to develop new vigor tests to evaluate the physiological quality of corn seeds.

KEY WORDS: accelerated aging, computerized image analysis, *Zea mays* L.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é o cereal mais cultivado do mundo, com produção global anual de cerca de 1.117,11 milhões de toneladas (USDA, 2021). Devido ao melhoramento genético, à grande diversidade de uso e ao aumento da demanda por alimentos e seus subprodutos, a produção e área destinada ao cultivo vêm aumentando anualmente.

A qualidade fisiológica das sementes é, sem dúvida, um dos principais fatores responsáveis pelo sucesso das lavouras de milho no mundo. Sementes de elevada qualidade apresentam bom desempenho em campo, rápida emergência e estabelecimento de plantas, mesmo em condições ambientais não muito favoráveis (Finch-Savage e Bassel, 2016). O uso de sementes com elevada qualidade permite o acesso aos avanços genéticos, com garantias de qualidade e tecnologias de adaptação nas diversas regiões, assegurando maiores produtividades (França-Neto et al., 2016).

Dentre os atributos relacionados à qualidade fisiológica das sementes destaca-se a germinação e o vigor, que são máximos no ponto de maturidade fisiológica (Tripathi e Khare, 2016). A partir deste ponto geralmente ocorrem diversas alterações metabólicas e quedas nos parâmetros de viabilidade e vigor, ocasionadas pelo processo de deterioração, que pode ser mais rápido ou lento, dependendo da constituição genética das sementes e das condições as quais elas permanecem expostas (Nagel et al., 2014). Sendo assim, as sementes apresentam o seu máximo potencial de qualidade fisiológica quando ainda estão na planta e o armazenamento a nível de campo ou de armazém influencia na perda de qualidade.

Um dos fatores que comumente leva a perda de viabilidade e vigor é o armazenamento. O armazenamento das sementes, sobretudo em condições de altas temperatura e umidade, propicia a deterioração, que leva à perda de vigor e, em última instância, da viabilidade. Como consequência, após o plantio, são evidenciadas falhas de estande, de emergência e desenvolvimento desuniforme das plantas, o que compromete a produtividade (Ebone et al., 2020).

Uma vez que o vigor das sementes é naturalmente reduzido com o tempo, o grau e a intensidade do processo de deterioração variam de acordo com a constituição genética e com as condições as quais as sementes são expostas no armazenamento. Assim, o monitoramento da qualidade fisiológica das sementes faz-se necessário para a produção e comercialização de sementes de qualidade.

Atualmente, o monitoramento da qualidade fisiológica das sementes de milho tem sido realizado por inúmeros testes de germinação e vigor (Krzyzanowski et al, 2020). No entanto, os testes descritos são laboriosos, antigos e nem sempre tem obtido alta correlação com o desempenho das sementes a nível de campo, sobretudo para as cultivares mais modernas. Além disso, o mercado tem requerido, cada vez mais, a inovação dos testes para torná-los mais rápidos, práticos, baratos, precisos e preditivos. Dentro deste contexto, a análise computadorizada de imagens de plântulas têm sido uma ferramenta altamente requerida e já tem se mostrado eficiente para avaliar vigor de sementes de milho (Medeiros et al., 2018).

O teste de envelhecimento acelerado tem sido relatado como um dos testes com maior correlação com o desempenho das sementes em campo (Braz e Rosseto, 2009). O envelhecimento acelerado promove estresse, devido a exposição de altas temperatura e umidade relativa (UR) às sementes, o que acarreta rápida deterioração (Delouche e Baskin, 1973). No entanto, a temperatura, umidade, tempo de exposição e eficácia do método de envelhecimento depende de variados fatores, dentre eles, da espécie e da cultivar (Fantazzini et al., 2018). Para sementes de milho, tem sido indicado a temperatura de 42 °C e umidade relativa de 100%, com exposição das sementes por 48 horas (Rocha et al., 2018). No entanto, o que se tem visto é que essa metodologia nem sempre é preditiva, sobretudo dependendo da cultivar e do tempo em que a semente está armazenada. Assim, entende-se que haja a necessidade de um ajuste na metodologia, podendo variar de acordo com o grupo de cultivares, ou conforme o lote. Se o lote é recém-colhido ou já armazenado, pode-se, ainda, ter diferenças quanto à melhor metodologia para se inferir sobre o vigor.

Assim, este trabalho teve por objetivo, propor um novo teste de vigor para inferir sob a qualidade fisiológica de sementes de milho, utilizando-se do teste de envelhecimento acelerado modificado, associado à análise computadorizada das imagens de plântulas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Sementes e no campo experimental (Fazenda) da Universidade Estadual de Maringá, Campus Regional de Umuarama – Paraná.

Foram utilizados quatro lotes de sementes de milho híbrido da cultivar LG 36300, geneticamente modificado com a tecnologia Agrisure Viptera3. As sementes foram

produzidas pela empresa Limagrain Brasil S.A., em Goianésia – Goiás – Brasil, na safra 2021/2022. As sementes pertencem a categoria C1, peneira 18 R, peso de mil sementes (PMS) de 252,45g, contendo tratamento industrial de sementes (TIS) do tipo C4/MQ. Para o tratamento de sementes foram utilizados o ingrediente ativo Thiametoxan 60% (70 mL/60.000 sementes) e o bioestimulante (produto comercial Epivio Vigor na dosagem de 100 mL/60.000 sementes). Ainda, foram utilizados seis lotes de sementes do híbrido NS 80 Vip3, sendo produzido pela empresa Nidera, na safra 2021/2022, contendo tratamento industrial C4/ MQ. Desta forma, nesta pesquisa, foram utilizados 10 lotes de sementes de milho híbrido, com tecnologia Vip3.

Para a caracterização dos lotes, foram realizados os seguintes testes:

Grau de Umidade - Foi realizado imediatamente antes da execução dos testes, sendo determinado pelo método da estufa, a 105 ± 3 °C, durante 24 h, utilizando-se quatro repetições de 25 sementes cada (Brasil, 2009).

Teste de germinação - Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes cada. As sementes foram semeadas equidistantemente em papel germitest umedecido com um volume de água equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco e mantidas em germinador a 25 °C. Foram realizadas avaliações com registro da porcentagem das plântulas normais no 4º e 7º dias após a semeadura (Brasil, 2009).

Envelhecimento Acelerado - Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes cada. As sementes foram distribuídas em camada única sobre bandeja de tela metálica acoplada à caixa tipo gerbox que continha, ao fundo, 40 mL de água destilada. As caixas foram tampadas, para se obter 100% de UR em seu interior, e mantidas em câmara tipo BOD a 42 °C por 48 horas.

Teste de emergência de plântulas em campo - Quatro repetições de 50 sementes foram semeadas no campo experimental da fazenda da UEM-Umuarama, sendo a área e solo característicos da região do arenito caiué. Diariamente, foi contabilizado o número de plântulas emergidas, para o cálculo do índice de velocidade de emergência (IVE) (Maguire, 1962). Quando houve a estabilização da emergência, que ocorreu após 7 dias da semeadura, foi contabilizada a porcentagem de plântulas emergidas (EM).

Após a realização dos testes supracitados, que objetivam averiguar a qualidade fisiológica das sementes logo após a colheita, foi realizado a metodologia do novo teste

proposto: envelhecimento acelerado modificado, com utilização de quatro tempos de exposição ao estresse, seguido da análise das imagens, conforme descrito abaixo:

Envelhecimento acelerado modificado, seguido da análise computadorizada de imagens das plântulas oriundas de sementes envelhecidas - Foi conduzido com 80 sementes cada. Foram utilizadas caixas plásticas (tipo gerbox), contendo 40 mL de água destilada ao fundo e uma bandeja de tela de alumínio, onde as sementes foram distribuídas formando uma única camada uniforme. As caixas foram mantidas em câmara do tipo BOD, a 42 °C durante 0 (controle), 24, 48 e 72 horas. Decorrido cada período de envelhecimento, quatro subamostras de 20 sementes foram semeadas equidistantemente em papel de germinação, umedecido com o volume de água de 2,5 vezes o peso do papel seco e foram confeccionados rolos de germinação (Krzyzanowski et al, 2020), que foram mantidos a temperatura de 25 °C por três dias. Após este período, as plântulas foram escaneadas em impressora Hp Ink Tank 416 e obtidas imagens em 300 dpi. As imagens foram processadas com o auxílio do Software Vigor S, sendo obtidos os parâmetros de comprimento de plântulas (CP), uniformidade (Unif) e índice de vigor (Vigor) (Marcos-Filho et al., 2009). Considera-se o teste de envelhecimento como “envelhecimento acelerado modificado” pois, ao invés de se analisar quatro repetições de 50 sementes e verificar a porcentagem de plântulas normais no quinto dia após a semeadura, propõe-se a avaliação computadorizada das imagens de plântulas advindas de quatro repetições de 20 sementes envelhecidas, após três dias da semeadura.

Análise Estatística – O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 10 tratamentos (dois cultivares: seis lotes de um e quatro lotes de outro cultivar). Os resultados dos testes para averiguação da qualidade fisiológica das sementes foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott – Knott, a 5 % de probabilidade, além da análise de correlação de Person, para averiguar a correlação entre as variáveis analisadas. Os resultados da análise computadorizada das plântulas oriundas de sementes envelhecidas por diferentes períodos foram submetidos a análise de variância seguida da análise de correlação de Person, a 5% de probabilidade pelo teste F, para verificação da correlação destes com o teste de emergência a campo. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R Core Team.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As sementes de todos os lotes e cultivares apresentavam grau de umidade em torno de 9%. Todos os lotes de sementes foram pré-condicionados a 25 °C por 16 horas antes da realização dos testes (Brasil, 2009). Os resultados da análise da caracterização da qualidade fisiológica das sementes estão na Tabela 1.

Tabela 1 - Germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), índice de velocidade de emergência a campo (IVE), emergência a campo (EM), índice de vigor (Vigor), índice de uniformidade (Unif) e comprimento de plântulas (CP) de sementes de dez lotes de sementes oriundos de duas cultivares

Cultivares	Lotes	G (%)	EA (%)	IVE	EM (%)	Vigor	Unif	CP (cm/pl)
LG 36300	1	99 A	97 A	47,37 B	100 A	451 A	606 A	6,63 A
LG 36300	2	97 A	94 A	46,27 B	92 C	533 A	625 A	7,35 A
LG 36300	3	96 B	86 B	47,9 A	100 A	532 A	630 A	7,15 A
LG 36300	4	88 C	66 C	40,60 C	82 D	543 A	578 A	7,55 A
NS80VIP3	5	100 A	94 A	48,71 A	97 B	601 A	742 A	6,35 A
NS80VIP3	6	100 A	96 A	48,29 A	98 B	465 A	634 A	5,13 A
NS80VIP3	7	100 A	96 A	49,29 A	99 A	460 A	722 A	4,83 A
NS80VIP3	8	99 A	95 A	48,23 A	96 B	488 A	720 A	5,1 A
NS80VIP3	9	99 A	96 A	48,5 A	98 B	408 A	624 A	4,53 A
NS80VIP3	10	100 A	97 A	49,4 A	100 A	505 A	672 A	5,88 A
CV (%)		2,07	2,6	1,66	1,68	22,68	15,07	26,58

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação. pl = plântula.

Nota-se que todos os lotes de sementes utilizados neste estudo apresentavam alta qualidade fisiológica. No entanto, houve diferença de vigor entre os lotes de sementes. Todos os lotes da cultivar NS80 e os lotes um e dois da cultivar LG 36300 apresentaram maior germinação e vigor pelo teste de envelhecimento acelerado, seguido do lote três e quatro de LG 36300, que apresentou intermediária e pior qualidade, respectivamente. O índice de velocidade de emergência também apontou para maior vigor para os seis lotes da cultivar NS80, assim como para o lote três da cultivar LG 36300, apontando o menor vigor para o lote quatro da cultivar LG 36300, da mesma forma que os testes de germinação e envelhecimento acelerado que apontaram o menor vigor para o lote quatro de LG 36300.

O teste de emergência a campo permitiu a distinção de quatro níveis de vigor, apontando os lotes 1 e 3 da cultivar LG 36300 e 7 e 10 da cultivar NS80 como de melhor

vigor, seguido dos lotes 5, 6, 8 e 9 da NS80, e dos lotes 2 e 4 da cultivar LG 36300, respectivamente. Isso demonstra o potencial do teste de emergência a campo para evidenciar as diferenças de vigor entre os lotes de sementes. Este foi o único dentre os testes que distinguiu quatro classes de vigor. O teste de comprimento de plântulas e os índices de vigor e uniformidade não evidenciaram diferenças entre os lotes de sementes.

Para evidenciar quais dos testes realizados em laboratório tiveram maior correlação com o desempenho de vigor a campo, foi realizada a análise de correlação de Person (Figura 1). Esta análise apresentou alta correlação positiva e significativa entre o teste de emergência de plântulas a campo e o teste de envelhecimento acelerado (0,84) e entre o teste de emergência e o teste de germinação (0,88).

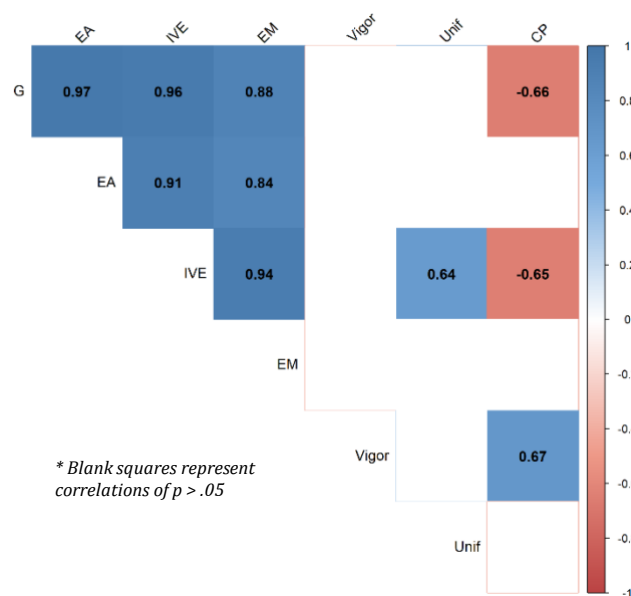


Figura 1 - Correlação as variáveis dos testes de germinação e vigor, que inferem sobre a qualidade fisiológica dos lotes de sementes. G – germinação, EA – envelhecimento acelerado, IVE – índice de velocidade de emergência, EM – emergência a campo, Vigor – índice de vigor, Unif – índice de uniformidade, CP – comprimento de plântulas. Quadrados em branco significam que não houve correlação significativa entre as variáveis a 5% de probabilidade pelo teste F, quadrados em azul significa que houve correlação positiva, quadrados em vermelho representam correlação significativa negativa entre as variáveis.

Por outro lado, não houve correlação entre o teste de emergência e o de comprimento de plântulas e os índices de vigor e de uniformidade advindos do vigor S. Ao contrário, o teste de comprimento demonstrou correlação negativa com a germinação e índice de velocidade de emergência, o que demonstra não ter sido um teste importante para evidenciar as reais diferenças de vigor entre os lotes de sementes. Isso reforça a nossa hipótese de que

nem todos os testes adotados para a cultura estão de fato evidenciando o vigor das novas cultivares a nível de campo.

Neste sentido, o presente trabalho propõe a combinação do teste de envelhecimento acelerado, testando-se diferentes tempos de exposição das sementes a alta temperatura (42 °C) e alta umidade relativa (100%), seguida da análise computadorizada das plântulas advindas de sementes envelhecidas, como um novo teste de vigor potencial a ser utilizado em sementes de milho. Os resultados desta nova metodologia proposta podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 - Comprimento de plântulas após 0 horas (CP_0h), 24 horas (CP_24h), 48 horas (CP_48h) e 72 horas (CP_72h) e vigor após 0 horas (Vigor_0h), 24 horas (Vigor_24h), 48 horas (Vigor_48h) e 72 horas (Vigor_72h) de envelhecimento acelerado em sementes de dez lotes de milho advindos de dois cultivares

Cultivar	Lotes	Vigor_0h	Unif_0h	CP_0h	Vigor_24h	Unif_24h	CP_24h
LG 36300	1	451 A	605 A	6,63 A	488 B	605 A	6,63 A
LG 36300	2	533 A	625 A	7,35 A	525 B	625 A	7,35 A
LG 36300	3	532 A	630 A	7,15 A	469 B	630 A	7,15 A
LG 36300	4	543 A	578 A	7,55 A	510 B	578 A	7,55 A
NS80VIP3	5	601 A	742 A	6,35 A	313 C	562 A	2,95 B
NS80VIP3	6	465 A	634 A	5,13 A	432 B	666 A	4,35 B
NS80VIP3	7	460 A	721 A	4,83 A	751 A	793 A	9,18 A
NS80VIP3	8	488 A	720 A	5,11 A	572 B	741 A	6,18 A
NS80VIP3	9	407 A	624 A	4,53 A	285 C	542 A	2,18 B
NS80VIP3	10	505 A	672 A	5,88 A	508 B	645 A	5,63 A
CV		22,68	15,67	26,58	21,78	17,42	23,36
Cultivar	Lotes	Vigor_48h	Unif_48h	CP_48h	Vigor_72h	Unif_72h	CP_72h
LG 36300	1	358 B	455 B	6,63 A	275 B	455 B	6,63 A
LG 36300	2	422 A	449 B	7,35 A	274 B	449 B	7,35 A
LG 36300	3	469 A	630 A	7,15 A	237 B	630 A	7,15 A
LG 36300	4	549 A	578 A	7,55 A	234 B	578 A	7,55 A
NS80VIP3	5	338 B	570 A	3,55 B	272 B	476 B	2,53 C
NS80VIP3	6	201 B	405 B	1,71 C	502 A	698 A	5,18 B
NS80VIP3	7	508 A	739 A	5,53 A	469 A	708 A	4,75 B
NS80VIP3	8	279 B	548 A	2,51 B	258 B	542 B	2,18 C
NS80VIP3	9	259 B	502 B	2,25 C	145 B	346 B	1,05 C
NS80VIP3	10	450 A	663 A	4,48 B	271 B	510 B	2,53 C
CV			21,18	18,82	24,2	24,61	16,3

Médias seguidas pela mesma letra, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade. CV = coeficiente de variação. pl = plântula.

É possível evidenciar que nenhuma das metodologias possuiu equivalência com o ranqueamento de vigor feito pelo teste de emergência realizado a nível de campo (Tabela 1 e 2). Isso pôde ser comprovado pelo teste de correlação de Person, que mostrou que não houve correlação significativa entre a emergência e nenhuma das variáveis analisadas advindas do novo teste (Figura 2).

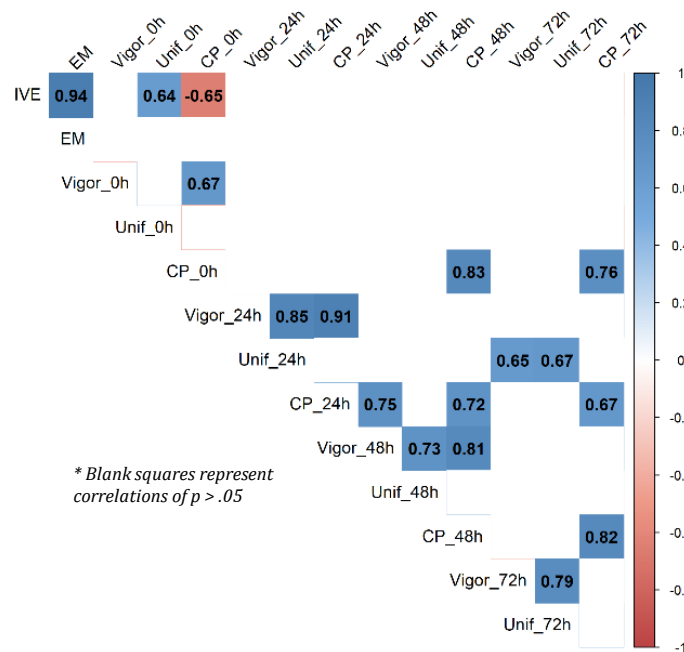


Figura 2 - Correlação entre as variáveis das novas metodologias propostas e emergência a campo (EM). CP_0h - comprimento de plântulas após 0 horas de envelhecimento; CP_24h - comprimento de plântulas após 24 horas de envelhecimento; CP_48h - comprimento de plântulas após 48 horas de envelhecimento; CP_72h - comprimento de plântulas após 72 horas de envelhecimento; Vigor_0h – índice de vigor após 0 horas de envelhecimento; Vigor_24h – índice de vigor após 24 horas de envelhecimento; Vigor_48h – índice de vigor após 48 horas de envelhecimento; Vigor_72h – índice de vigor após 72 horas de envelhecimento. Quadrados em branco significam que não houve correlação significativa entre as variáveis a 5% de probabilidade pelo teste F, quadrados em azul significa que houve correlação positiva, quadrados em vermelho representam correlação significativa negativa entre as variáveis.

Por meio deste trabalho foi possível comprovar que não é fácil elaborar um novo teste de vigor e que nem todos os testes descritos na literatura para a cultura do milho são de fato eficazes para prever o desempenho das sementes no campo. Desta forma, fica evidente a complexidade que envolve a elaboração e adoção de testes de vigor e a necessidade de mais estudos e ajustes para a elaboração de um novo teste que seja preditivo do vigor a campo.

Os resultados desta pesquisa apontam para a necessidade de mais estudos para avaliação do vigor de sementes de milho, sobretudo para as cultivares mais recentemente lançadas no mercado.

CONCLUSÕES

Não houve correlação dos resultados do novo teste proposto com o vigor das sementes a campo.

O teste de envelhecimento acelerado apresentou correlação positiva e significativa com o desempenho das sementes a campo, enquanto o comprimento de plântulas e índice de vigor não apresentaram correlação significativa.

Os resultados desta pesquisa comprovam a dificuldade de se obter testes preditivos do vigor a campo e a necessidade da elaboração de novos testes de vigor para avaliação da fisiológica de sementes de milho.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 395 p.
- BRAZ, M.R.S.; ROSSETTO, C.A.V. Correlação entre testes para avaliação da qualidade de sementes de girassol e emergência das plântulas em campo. 2004 Braz & Rossetto. *Ciência Rural*, v.39, n.7, out, 2009. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.7, p.2004-2009, out, 2009.
- DELOUCHE, J.C.; BASKIN, C.C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, v.1, p. 427-452, 1973.
- EBONE, L.A.; CAVERZAN, A.; TAGLIARI, A.; CHIOMENTO, L.T.; SILVEIRA, D.C.; CHAVARRIA, G. Soybean seed vigor: uniformity and growth as key factors to improve yield. **Agronomy**, v. 10, p. 1-15, 2020.
- FANTAZZINI, T.B.; ROSA, D.V.F.; PEREIRA, C.C.; PEREIRA, D.S.; CIRILLO, M.A.; OSSANI, P.C. Association between the artificial aging test and the natural storage of coffee seeds. **Journal of Seed Science**, v. 40, p. 164-172, 2018.
- FINCH-SAVAGE, W.E.; BASSEL, G.W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, v. 67, n. 3, p. 567–591, 2016.

FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A.; PÁDUA, G.P.; LORINI, I.; HENNING, F.A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Embrapa Soja, Londrina, PR, 2016.

KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; MARCOS-FILHO, J.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.) **Vigor de sementes: conceito e testes**. ABRATES, Londrina, 2020.

MARCOS-FILHO, J., KIKUTI, A. P., LIMA, L. B. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 102-112, 2009.

MEDEIROS, A.D.; PEREIRA, M.D.; SILVA, J.A. Processamento digital de imagens na determinação do vigor de sementes de milho. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.13, n.3, e5540, 2018.

NAGEL, M.; KRANNER, I.; NEUMANN, K.; ROLLETSCHECK, H.; SEAL, C.E.; COUVILLE, L.; FERNANDEZ-MARÍN, B.; BORNER, A. Genome-wide association mapping and biochemical markers reveal that seed ageing and longevity are intricately affected by genetic background and developmental and environmental conditions in barley. **Plant, Cell and Environment**, v. 38, p. 1011–1022, 2014.

ROCHA, C.S.; CATÃO, H.C.R.M.; CAIXETA, F.; KAVAN, H.K.; CLAUDINO, T.M.; CAIXETA, D.G. Physiological quality of popcorn seeds assessed by the accelerated aging test. **Journal of Seed Science**, v.40, n.4, p.428-434, 2018.

TRIPATHI, N.; KHARE, D. Molecular approaches for genetic improvement of seed quality and characterization of genetic diversity in soybean: a critical review. **Biotechnology Letters**, v. 38, p. 1645–1654, 2016.

USDA (United States Department of Agriculture). **Supply and demand report from the USDA**. 2021. Disponível em < www.usda.gov > Acesso em: 4 janeiro de 2023.