

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

THAISA CAVALIERI MATERA

Resultados do teste de envelhecimento acelerado e a suas relações com o
potencial fisiológico de sementes de soja

Maringá,
Fevereiro/2018

THAISA CAVALIERI MATERA

Resultados do teste de envelhecimento acelerado e a suas relações com o potencial fisiológico de sementes de soja.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Área de Concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Lucca Braccini

Maringá,
Fevereiro/2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR, Brasil)

M425r Matera, Thaisa Cavalieri
Resultados do teste de envelhecimento acelerado e a suas relações com o potencial fisiológico de sementes de soja / Thaisa Cavalieri Matera. -- Maringá, PR, 2018.
60 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Lucca Braccini.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2018.

1. Sementes de soja - Qualidade fisiológica. 2. Soja (Glycine max) - Germinação. 3. Soja (Glycine max) - Vigor. I. Braccini, Alessandro Lucca, orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDD 23.ed. 633.34

Márcia Regina Paiva de Brito – CRB-9/1267

FOLHA DE APROVAÇÃO

THAISA CAVALIERI MATERA

Resultados do teste de envelhecimento acelerado e a suas relações com o potencial fisiológico de sementes de soja.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Alessandro Lucca Braccini
Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Carlos Alberto Scapim
Universidade Estadual de Maringá

Pesq. Dr. Francisco Carlos Krzyzanowski
EMBRAPA-SOJA

Data da defesa: 20 de fevereiro de 2018.

Local: Anfiteatro II – Bloco J45 – Universidade Estadual de Maringá.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me fazer cair e me ajudar a levantar.

A minha família, pai, irmã e sobrinha que foram meu alicerce nos momentos de dificuldade, principalmente neste último ano de pós-graduação, em que tive duas perdas imensuráveis em minha vida.

Em especial ao meu pai, que não me deixou desistir.

À minha mãe, que hoje não se faz presente, mas sempre me apoiou, incentivou e me fez crescer em todos os sentidos. Muito obrigada por todo carinho e amor que deixou em meu coração.

Ao meu namorado Rafael G. Muzulon por seu imensurável amor, incentivo e companheirismo. E a sua família.

Ao orientador, professor Dr. Alessandro Lucca Braccini pela oportunidade oferecida e por sua confiança.

Ao meu coorientador Dr. Francisco Carlos Krzyzanowski pela infinita disponibilidade, palavras e oportunidades.

Aos meus amigos do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, em especial Lucas Caiubi Pereira, que não mediu esforços para me ajudar. Àqueles que me ajudaram na condução do experimento e dividimos momentos, Samara, Andreia, Glaucia, Mayara e Fernanda. E aos estagiários do grupo de pesquisa em Tecnologia e Produção de Sementes, sem eles não teria sido possível a condução desse trabalho.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Centro Nacional de Pesquisa de Soja – EMBRAPA SOJA, pela parceria, o Núcleo Tecnológico de Sementes e Grãos Dr. Nilton Pereira da Costa, em especial os colaboradores do Laboratório de Fisiologia e Tecnologia de Sementes.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Maringá, por ter me disponibilizado infraestrutura física, agentes universitários e corpo docente para a elaboração e conclusão desta pesquisa, em especial ao professor Dr. Carlos Alberto Scapim.

Aos agentes universitários da Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), principalmente ao Gildo Ferreira Duarte e do Núcleo de Pesquisa Aplicada à Agricultura (Nupagri), pelo auxílio na condução do experimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES),
pela concessão de bolsa de estudos.

Aos meus amigos de longa data, pela amizade, por sempre se fazerem estarem presente, pela ajuda, carinho e amor, principalmente neste ano de dificuldade. E a todos que, de alguma forma, contribuíram na realização deste trabalho, os meus mais sinceros agradecimentos.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.

Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Marthin Luther King)

*Por várias vezes pensei que não iria conseguir,
mas sempre vinha em minha mente, minha
mãe jamais me deixaria desistir. Agora sei
que ela se orgulhará de mim onde estiver.*

*Dedico este trabalho à minha mãe Maria
Aparecida Cavalieri Matera (saudades
eternas).*

Teste de Envelhecimento Acelerado e a Relação com o Potencial Fisiológico de Sementes de Soja

RESUMO

A soja é uma das principais oleaginosas cultivadas, sendo a maior “commodities” do agronegócio brasileiro. O uso de sementes de soja de alta qualidade é um dos fatores determinantes para o sucesso de sua produção, por gerar plântulas de alto desempenho agrônômico, portanto, mais tolerantes às adversidades edafoclimáticas. Dentre os testes convencionais de vigor mais aplicados na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja encontra-se o teste de envelhecimento acelerado. No entanto, há poucos trabalhos que o relacionam com outros testes que avaliam o potencial fisiológico das sementes de soja, e, muito menos, valores de referência que permitem classificar os lotes em níveis de vigor como altos, médios ou baixos. Neste contexto, o objetivo neste trabalho foi investigar as relações do teste de envelhecimento acelerado com os resultados de desempenho fisiológico das sementes obtido nos testes de vigor mais frequentemente utilizados no sistema de controle de qualidade de sementes de soja, para consolidá-los como referência de vigor em sementes de soja. O experimento foi conduzido adotando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, exceto para a variável porcentagem de emergência em campo, para a qual foi adotado delineamento em blocos completos com tratamentos casualizados. A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada por meio dos seguintes testes: germinação, primeira contagem da germinação, classificação do vigor da plântula, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, comprimento de plântulas, índice de velocidade de emergência, porcentagem de emergência final em substrato de areia e porcentagem de emergência em campo. Os resultados obtidos permitem concluir que o teste de classificação do vigor da plântula e a porcentagem de emergência em campo estão intensa, linear e positivamente correlacionados ao teste de envelhecimento acelerado. Em relação às análises de regressão linear simples, valores superiores para o coeficiente de determinação foram encontrados para as equações lineares da porcentagem de emergência em campo, classificação do vigor da plântula e condutividade elétrica, indicando que, com elevada precisão, os resultados do teste de envelhecimento acelerado podem ser empregados para predizê-las.

Palavras-chave: *Glycine max*. Vigor. Germinação, Emergência.

Accelerated Aging Test and its Relationship with the Physiological Potential of Soybean Seeds

ABSTRACT

Soybean is one of the main cultivated oilseed plants, being the largest commodity of the Brazilian agribusiness. The use of high-quality soybean seeds is one of the determinant factors in the success of the production of this crop, since it provides seedlings with high agronomic performance, which are, thus, more tolerant to climatic and edaphic adversities. Among the conventional vigor tests mostly employed to evaluate the physiological quality of soybean seeds, it is found the accelerated aging test. However, there are only few studies that relate it to the other tests used to assess the physiological potential of soybean seeds, as well as that provide reference values that allow to classify lots in low, medium or high vigor. In this context, the objective of this work was to investigate the relationships of the accelerated aging test with the results of seed physiological performance obtained from the most frequently used vigor tests in the quality control system of soybean seeds. The trial was carried out in a completely randomized design, with four replicates, except for the trait field seedling emergency, to which the randomized-complete blocks design was adopted. Seeds physiological quality was assessed employing the following tests: germination, first count of germination, seedling vigor classification, accelerated aging, electrical conductivity, seedling length, emergence speed index in sand seedbed and field seedling emergence. Based on the results found, we can draw the conclusion that the tests of seedling vigor classification as well as field emergence percentage had a strong positive linear correlation with the accelerated aging. Regarding the analysis of simple linear regression, higher values for the coefficient of determination were found in the linear equations of the field emergence percentage, seedling vigor classification and electrical conductivity test, demonstrating that the results of the accelerated aging test can be accurately used to predict them.

Keywords: *Glycine max.* Vigor. Germination. Emergence.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Mecanismos de deterioração da semente durante o armazenamento.....	25
Tabela 2 - Esquema detalhado dos tratamentos com suas respectivas porcentagens de plântulas normais no teste de envelhecimento acelerado 24H/41°C.	29
Tabela 3 - Análise de variância para as variáveis respostas: envelhecimento acelerado (E.A), primeira contagem de germinação (P.C.G), germinação (GER.), classificação de vigor (C.V), comprimento de plântulas (C.P.), condutividade elétrica (C.E), emergência final em substrato de areia (E.F.A) e índice de velocidade de emergência (I.V.E.)	33
Tabela 4 - Análise de variância para a variável porcentagem de emergência no campo (P.E.C)	34
Tabela 5 - Análise de variância da análise de regressão linear simples: primeira contagem de germinação (P.C.G.), germinação (GER.), classificação de vigor (C.V), comprimento de plântulas (C.P.), condutividade elétrica (C.E), emergência final em substrato de areia (E.F.A), índice de velocidade de emergência (I.V.E.) e porcentagem de emergência no campo (P.E.C)	35
Tabela 6 – Coeficientes estimados de correlação linear de Pearson (r) entre as variáveis respostas: envelhecimento acelerado (E.A.), primeira contagem de germinação (P.C.G.), germinação (GER.), classificação do vigor (C.V.), condutividade elétrica (C.E.), emergência final em substrato de areia (E.F.A.), comprimento de plântulas (P.C), índice de velocidade de emergência (I.V.E.) e porcentagem de emergência em campo(P.E.C.).....	37

Tabela 7 - Interpretação de acordo com a escala de Gonçalves et al. (2017) e Santorum (2011) dos coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre a variável envelhecimento acelerado (E.A.) com as variáveis: primeira contagem de germinação (P.C.G.), germinação (GER.), classificação de vigor (C.V), comprimento de plântulas (C.P.), condutividade elétrica (C.E), emergência final em substrato de areia (E.F.A), índice de velocidade de emergência (I.V.E.) e porcentagem de emergência no campo (P.E.C).....	39
Tabela 8 - Modelo matemático estatístico com interpretação agrônômica das variáveis respostas: primeira contagem de germinação (P.C.G.), germinação (GER.), classificação de vigor (C.V), condutividade elétrica (C.E), emergência final em substrato de areia (E.F.A), índice de velocidade de emergência (I.V.E.) e porcentagem de emergência no campo (P.E.C) obtidos através da análise de regressão linear simples.....	43
Tabela 9 - Desempenho fisiológico de distintos níveis de vigor E.A. estimado com base nas equações de regressões de variável resposta obtida experimentalmente e resultados estimados da equação de França Neto et al (2004)	47

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
1.1 Importância econômica da soja	16
1.2 Qualidade fisiológica de sementes de soja	17
1.3 Vigor de sementes de soja	20
1.4 Teste envelhecimento acelerado	24
2 MATERIAL E MÉTODOS	30
2.1 Condução do experimento	30
2.2 Avaliação da qualidade fisiológica das sementes	31
2.3 Análise estatística	33
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
3.1 Resultados da análise de variância dos dados	34
3.2 Correlação linear de Pearson	39
3.3 Regressão linear simples	45
4. CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS	51
APÊNDICE A - Médias das variáveis: envelhecimento acelerado (E.A.), primeira contagem de germinação (P.C.G.), germinação (GER.), classificação do vigor (C.V.), comprimento da plântula (C.P.), condutividade elétrica (C.E.), emergência final em substrato de areia (E.F.A.), índice de velocidade de emergência (I.V.E.) e porcentagem de emergência em campo (P.E.C.), em relação aos quinze tratamentos.	60

INTRODUÇÃO

A soja é uma das principais oleaginosas cultivadas, sendo considerada a maior “commodities” do agronegócio brasileiro. O uso de sementes de soja de alta qualidade é um dos fatores determinantes para o sucesso de sua produção, por gerar plântulas de alto desempenho agrônômico, mais tolerantes às adversidades edafoclimáticas.

Os testes convencionais de avaliação do vigor das sementes mais aplicados, em conjunto, para a cultura da soja são: emergência de plântulas em campo, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado e tetrazólio. Com base no potencial de desempenho da semente em condições de campo, o teste de envelhecimento acelerado, segundo Popinigis (1985), tem se mostrado eficiente na seleção de lotes para a semeadura da soja com base no potencial de desempenho da semente em condições de campo e na avaliação da capacidade de potencial de armazenamento, podendo fornecer informações com alto grau de consistência, de acordo com Tekrony (1995).

Nesse teste considera-se que lotes de sementes de alto vigor mantêm sua viabilidade, quando submetidos, durante curtos períodos de tempo, a condições severas e adversas de temperatura e umidade relativa do ar (Delouche e Baskin, 1973). Em princípio, o mesmo foi desenvolvido com a finalidade de estimar o potencial de armazenamento das sementes; todavia, é igualmente capaz de fornecer informações sobre o potencial de emergência das plântulas em campo.

No entanto, ainda não foram estabelecidos padrões capazes de classificar em níveis de vigor as sementes de soja em alto, médio e baixo, exceto para o teste de tetrazólio. Um primeiro passo nesse sentido é investigar a sua relação com os outros testes que medem o potencial fisiológico das sementes de soja. O vigor é um importante parâmetro no controle de qualidade das empresas produtoras de sementes, que buscam oferecer um produto de alta qualidade aos seus clientes e ter a expectativa de desempenho satisfatório no campo dos lotes, assegurando maior confiabilidade nas sementes que vão ser comercializadas.

O objetivo deste trabalho foi investigar a relação entre os resultados do teste de envelhecimento acelerado, conduzido à 41°C por 24 horas na época de comercialização, com o desempenho fisiológico das sementes nos principais testes de vigor aplicados em sementes de soja, a fim de consolidá-lo como referência na avaliação do vigor nessa espécie. A hipótese científica é a de que a avaliação do potencial fisiológico das

sementes, com base na sua tolerância às condições adversas de temperatura e umidade relativa, apresenta adequada correspondência com testes de natureza distinta a esta, de maneira que lotes classificados como vigorosos no teste de envelhecimento acelerado apresentam desempenho fisiológico superior nos demais testes comumente empregados no controle de qualidade de sementes de soja, a fim de se gerar uma ferramenta complementar na interpretação dos resultados de vigor em sementes da referida cultura.

1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Importância econômica da soja

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] é a principal oleaginosa produzida e consumida no mundo. De acordo com a projeção do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) para a safra de 2017/2018, a produção mundial da cultura da soja representará 348,89 milhões de toneladas, das quais 81% estão concentradas em apenas três países: os Estados Unidos, com 120,44 milhões de toneladas, seguido pelo Brasil, com 108,00 milhões de toneladas e, por fim, a Argentina, com 57,00 milhões de toneladas. No entanto, no que se refere ao comércio internacional de grãos de soja, as projeções indicam que o Brasil se manterá na liderança, exportando na safra 2017/2018 um total de 65,5 milhões toneladas, valor 6% superior em relação à safra passada (USDA, 2017).

Dentre as “commodities” agrícolas, a soja é aquela de maior importância econômica no cenário nacional (Bornhofen et al., 2015), fato que justifica a área de cultivo expressivamente superior às alcançadas pelas demais “commodities”. Segundo as estimativas de safra da Companhia Nacional de Abastecimento, para a safra 2017/2018 (CONAB, 2017) o desempenho observado nas diversas regiões produtoras do país indica uma continuação da tendência de crescimento da área cultivada, atingindo um percentual de 2% superior, em relação à safra anterior.

Em um contexto marcado pelo crescimento no consumo de proteínas animais, pela preocupação com a saúde e pelo desenvolvimento de novas matrizes energéticas, a soja se tornou uma das principais “commodities mundiais, sustentada por diferentes segmentos, como o de produção de carnes, o de elaboração de bebidas à base de soja, da fabricação de óleos alimentícios (Rigo et al., 2015) e da geração de biocombustível (Castanheira et al., 2015), principalmente, devido ao seu elevado teor de proteína (40%) e de óleo (20%) (Lopes et al., 2016).

Em um mapeamento recente realizado nos Estados Unidos, nas prateleiras de supermercados, em geral, são encontrados mais de 200 produtos em cuja formulação são empregados um ou mais ingredientes à base de soja, sobretudo o óleo, que atende aproximadamente 85% da demanda brasileira por óleo alimentício (USDA, 2016). Todavia, outro alimento que tem apresentado aumento consistente de demanda são as

bebidas à base de soja (BBS), não apenas para atender os novos conceitos de alimentação balanceada, mas também pela necessidade de exclusão de produtos lácteos da dieta de consumidores com intolerância à lactose. Neste cenário, várias empresas alimentícias, que tradicionalmente produziam derivados lácteos ou suco de frutas, também estão produzindo BBS (Hirakuri e Lorini, 2016).

No setor energético, o óleo de soja tem sido o principal responsável pelo sucesso do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), suprimindo mais de 76% da produção nacional de biocombustíveis no ano de 2016 (BOLETIM MENSAL DO BIODIESEL, 2017). Desta forma, a diversificação do uso da soja agrega valor com benefícios em toda cadeia produtiva, uma vez que ao se empregar fontes renováveis na produção de bens de consumo, inúmeros são os benefícios sócio-econômicos e ambientais, como, por exemplo: i) agricultores são favorecidos com novos mercados, pela agregação do valor à matéria-prima (grãos de soja); ii) preservação do meio ambiente pelo uso de produtos biodegradáveis; iii) fontes alternativas renováveis e iv) aumento da gama de novos produtos aos consumidores (Cechinel, 2014).

Face a franca expansão do mercado de grãos diferenciados e segregados, como grande produtor e exportador da soja, é crucial para o Brasil enfatizar a produção de sementes de soja de alta qualidade fisiológica. Na safra 2015/2016, o índice médio brasileiro de vigor, determinado pelo teste de tetrazólio em sementes de soja, atingiu o patamar de 81%, valor considerado alto e superior aos 77,6% constatados na safra 2014/2015.

Esta informação demonstra que o Brasil produz semente de boa qualidade, mas com margem para elevar o padrão de qualidade, uma vez que sementes fisiologicamente superiores irão originar lavouras comerciais de alta produtividade e com padrão comercial elevado, promovendo maior competitividade e ganhos para toda cadeia produtiva (França Neto, 2016; Abdelnoor, 2016).

1.2 Qualidade fisiológica de sementes de soja

O estabelecimento de campos de produção de grãos, vegetais, frutas e forragens é geralmente realizado com o uso direto ou indireto de sementes, as quais correspondem a, aproximadamente, 80% da forma de propagação das culturas de interesse econômico.

Para Marcos Filho e França Neto (2017), a qualidade de um lote de sementes é resultado da interação das características que determinam seu potencial de desempenho e, conseqüentemente, o valor para semeadura. Para isso, ela pode somente ser identificada de maneira consistente, quando é considerado o conjunto de atributos de natureza genética, física, fisiológica e sanitária. Para os autores, esses quatro componentes básicos da qualidade apresentam importância equivalente, mas sinalizam que há, no entanto, quem considere o atributo genético como mais importante, por influenciar diretamente os demais. Do ponto de vista do agricultor, o potencial fisiológico tem despertado maior atenção, uma vez que o estabelecimento do estande representa a primeira oportunidade real para avaliação do desempenho das sementes adquiridas.

Para Marcos Filho (2013), uma vez que sementes de soja vigorosas constituem o alicerce de lavouras de alta produtividade, o nível de exigência dos produtores quanto aos atributos das sementes é cada vez mais elevado. Neste contexto, Abdelnoor (2016) elenca que, além dos atributos supracitados, a quantidade de defeitos e danos mecânicos por ocasião da colheita, o teor de proteínas e de óleo nos grãos, bem como a presença de contaminantes, pragas e patógenos são fatores determinantes do potencial fisiológico das sementes.

Diferentemente dos grãos, cabe as sementes constituir o material de propagação sexuado responsável por expressar em campo o potencial genético de produtividade, resistência ou tolerância a estresses bióticos ou abióticos. Ademais, o emprego de sementes de elevada qualidade confere, a quem as usam, inúmeras vantagens capazes de assegurar um desempenho agrônomico satisfatório da lavoura, algo não encontrado quando se empregam grãos como material de propagação (Krzyzanowski et al., 2008).

Na cultura da soja, de maneira similar para as demais culturas, para serem consideradas de elevada qualidade, as sementes devem atender a padrões específicos, tais como alto potencial germinativo e adequada sanidade. Todavia, garantias quanto a pureza física e varietal, bem como a ausência de sementes invasoras somam-se aos atributos igualmente essenciais na avaliação da qualidade de um lote (França Neto et al., 2010).

No tocante a qualidade fisiológica, Bewley e Black (1994) a conceituam como a capacidade da semente em desempenhar funções vitais relacionadas à germinação, vigor e longevidade. Henning et al. (2010) e Cantarelli et al. (2015) adicionam que lotes de sementes com qualidade fisiológica superior proporcionam uniformidade do estande,

com plântulas de tamanho inicial e taxas de crescimento maiores, aumentando, desta forma, a capacidade competitiva da cultura, por meio do fechamento mais rápido do dossel e, conseqüentemente, favorecendo o controle das plantas daninhas.

O potencial fisiológico máximo das sementes como material de propagação vegetal é alcançado próximo do ponto de maturidade fisiológica, momento a partir do qual iniciam os processos degenerativos de natureza física, fisiológica e bioquímica que culminam na morte da semente (Marcos Filho, 2015b; França Neto et al., 2010).

Neste contexto, pode-se citar como alterações de ordem física a descoloração do tegumento, o enrugamento, a ocorrência de trincas, as perfurações por insetos, bem como as quebras e perdas de partes da semente. Por outro lado, no tocante as alterações fisiológicas e bioquímicas, as mesmas são potencializadas ou reduzidas pelas condições ambientais, de maneira que a alta temperatura e umidade relativa do ar, bem como o conteúdo de água das sementes são fatores condicionantes do processo de deterioração, acelerando-o (Krzyzanowski e França Neto, 2001).

Marcos Filho (2015a) resume que os procedimentos fundamentais para a produção de sementes de qualidade incluem: a escolha da região produtora, considerando aspectos agronômicos, estruturais e comerciais; a seleção das áreas destinadas à produção (culturas anteriores, isolamento, sanidade, presença de plantas daninhas, localização e acesso, topografia, características de clima e solo); o estabelecimento de plano de sucessão de culturas; a origem e a qualidade das sementes básicas; o manejo da área (sistema de preparo do solo, época e cuidados durante a semeadura, bem como adequação dos tratamentos culturais); as inspeções e erradicação de plantas indesejáveis; o controle de insetos e doenças; a colheita, a secagem e o beneficiamento; as condições de armazenamento e transporte do produto e o estabelecimento de programa integrado de controle de qualidade durante todas as etapas da produção.

Neste cenário, para estabelecer políticas de armazenamento, comercialização e controle de qualidade, tanto interno quanto externo, de sementes de soja, empresas produtoras de sementes utilizam os resultados de testes fisiológicos para comparar lotes (Martins et al., 2016). Um exemplo é o emprego do teste de germinação, cujos resultados servem como parâmetro de comercialização de sementes, bem como norteiam a densidade de semeadura na instalação da lavoura (Fina et al., 2016). Pelo fato de ser um teste padronizado e conduzido em condições ideais para o

estabelecimento da plântula, o teste de germinação é inquestionavelmente uma ótima ferramenta para se comparar o potencial germinativo de diferentes lotes.

Entretanto, em razão de suas limitações, principalmente no tocante as condições ideais em que é conduzido, o teste de germinação pode apresentar uma menor sensibilidade para a diferenciação da qualidade fisiológica de lotes, gerando, frequentemente, resultados discrepantes daqueles observados na emergência das plântulas em campo. Por esta razão, é usual no controle de qualidade de sementes o emprego simultâneo de outros testes para avaliação da qualidade fisiológica, chamados de teste de vigor, que dentre outras avaliações, permitem estimar o provável desempenho das sementes, quando postas para germinar e emergir em condições não ideais, fornecendo ao produtor uma idéia mais realista do desempenho da cultura na lavoura (Olson, 2010).

1.3 Vigor de sementes de soja

Segundo AOSA (1983), o termo vigor de sementes foi introduzido em 1876 por F. Nobbe no trabalho intitulado "*Handbuch der Samenkunde*" (Manual do cliente de sementes). Mais tarde, em 1911, Hiltner e Ihssen usaram o termo "*triebkraft*" como sinônimo de "força motriz" e "força disparadora" das sementes, como forma de se referir as plântulas que produziam raízes mais compridas, dentro de um mesmo lote.

No entanto, somente no Congresso da "*International Seed Testing Association*" (ISTA) de 1950, o vigor das sementes ganhou considerável credibilidade como componente independente da germinação, e essencial para avaliação da qualidade das sementes. Assim, durante aquele congresso, foi proposto um novo termo, nomeado teste de vigor, como uma ferramenta para melhor expressar o potencial fisiológico da semente, sobretudo quando submetidas em condições sub-ótimas (Marcos Filho, 2015a). Todavia, a primeira proposta real para o conceito de vigor de sementes só foi realizada sete anos depois por Delouche e Grabe (1958), que se referiram ao vigor como uma "resistência fisiológica da semente". Conceito aprimorado por Woodstock (1965), que o resumiu como sendo uma condição de boa saúde e robustez natural, associada à germinação rápida e completa sob uma ampla gama de condições ambientais.

Somente a partir destes trabalhos é que se tornaram mais evidentes os esforços para a criação ou para a melhoria dos métodos de teste de vigor, bem como dos efeitos de fatores ambientais que afetam o desempenho da semente. São exemplos desses avanços da década de 1960, o teste de tetrazólio, o desenvolvimento do teste de envelhecimento acelerado e a criação do teste de condutividade elétrica, todos, considerados iniciativas pioneiras até então (Woodstock, 1973). Somente a partir desta década o vigor foi reconhecido pelos tecnólogos e pela indústria de sementes como uma importante característica fisiológica das sementes, exigindo, portanto, pesquisas mais frequentes e informações técnicas detalhadas.

Pollock e Roos (1972) conceituam, todavia, que o vigor das sementes pode ser considerado como o potencial das sementes que se estabelecerem como plântulas normais no campo. No entanto, somente com as abordagens de TeKrony (2003) conseguiu-se estabelecer uma base mais técnica para o conceito de vigor de sementes, o qual segundo a ISTA e a AOSA pode ser definido como “o conjunto de características que determinam o potencial para a emergência rápida e uniforme de plântulas normais, sob ampla diversidade de condições de ambiente”.

A este respeito, Carvalho e Nakagawa (2000) conceituam, entretanto, que dois aspectos devem ser considerados no que diz respeito ao vigor das sementes: o vigor genético e o fisiológico. O primeiro é aquele observado na heterose ou nas diferenças de desempenho entre duas linhagens, ao passo que o segundo, o vigor fisiológico, é aquele observado a partir do desempenho de lotes de uma mesma genética, cultivar ou espécie. Remarca-se, no entanto, que o vigor fisiológico é indissociável do vigor genético, bem como, das condições ambientais a que estão submetidas as plantas e as sementes.

Krzyzanowski e França Neto (2001), por outro lado, resumem que o vigor é, na verdade, o inverso da deterioração, isto é, quanto maior o vigor, menor a deterioração da semente e vice-versa. Com base nessa premissa, os autores conceituaram vigor como sendo a soma de atributos que conferem à semente o potencial para germinar, emergir e resultar rapidamente em plântulas normais, sob ampla diversidade de condições ambientais.

O conceito de vigor atribui à semente, portanto, a responsabilidade de originar uma plântula de alto desempenho, sem, no entanto, gerar qualquer expectativa quanto à possível “predição” ou “profecia” do potencial de emergência em campo, muito menos de antever os possíveis efeitos do vigor sobre o desenvolvimento das plantas ou à produção final da cultura. Para Marcos Filho e França Neto (2017), tal premissa se

justifica porque na transição do estágio de plântula para a planta, o desenvolvimento do vegetal passa a ser governado pelas interações entre o genótipo e o ambiente, não dependendo, portanto, das reservas acumuladas pela semente. Assim, os testes de vigor constituem uma alternativa complementar, e não de substituição das informações proporcionadas pelo teste de germinação.

Desta forma, o objetivo básico de um teste de vigor de sementes é fornecer uma identificação precisa das diferenças de potencial fisiológico entre lotes de valor comercial, principalmente aqueles de porcentagem similar de germinação, objetivando identificar os lotes de maior probabilidade de apresentar desempenho superior após a semeadura e/ou durante o armazenamento (Marcos Filho, 1999a; 2015a). No entanto, o vigor de um lote não pode ser definido por meio de um único teste, razão pela qual o uso de outros testes é aconselhável (Marcos Filho et al., 1987).

Inúmeros são os testes que avaliam o vigor das sementes, incluindo aqueles que avaliam, direta ou indiretamente, o estado metabólico atual da semente para estabelecer uma relação com a emergência e a armazenagem. Tais avaliações incluem (i) o teste de condutividade elétrica, (ii) o de tetrazólio e (iii) os testes que avaliam o crescimento de plântulas. Há, igualmente, testes que são realizados com o objetivo de identificar a tolerância das sementes ao estresse (es), como o teste frio, o de envelhecimento acelerado e o de deterioração controlada (Marcos Filho, 2015a).

Segundo a classificação de McDonald (1975), os testes de vigor se dividem em:

- Testes Físicos: são testes que avaliam aspectos morfológicos ou características físicas das sementes com relação ao vigor. Exemplos: teste de tamanho da semente, peso unitário de cada semente e testes de raios-x.
- Testes Fisiológicos: testes que procuram determinar atividades fisiológicas específicas, nas quais as manifestações dependem do vigor. Exemplos: classificação do vigor da plântula, primeira contagem de germinação e velocidade de germinação das plântulas.
- Testes Bioquímicos: avaliam modificações bioquímicas associadas ao vigor. Os testes de tetrazólio e de condutividade elétrica são exemplos desta categoria.
- Testes de Resistência: são os testes que avaliam o desempenho das sementes sob condições extremas, como exposição a temperaturas altas ou baixas. Exemplos: teste de frio e de envelhecimento acelerado.

Independentemente da natureza física, fisiológica e de resistência, para que os testes sejam efetivos é necessária que haja uma boa correspondência com o surgimento de plântulas normais no campo, onde as condições climáticas são, via de regra, bastantes variadas. Em outras palavras, é necessário que os testes de vigor possibilitem distinguir, com segurança, os lotes de alto e de baixo desempenho fisiológico, de maneira proporcional à emergência de plântulas em campo, sem, no entanto, ter que prever qual será a porcentagem de emergência após a semeadura. Portanto, a avaliação consistente do potencial fisiológico envolve, tanto a utilização de procedimentos bem definidos, como a interpretação correta do significado dos resultados de cada teste (Marcos Filho, 2011).

O primeiro teste de vigor incluído nas Regras Internacionais para Teste de Sementes da ISTA foi o teste de condutividade elétrica para ervilha (*Pisum sativum* L.), em 2001. Atualmente, as Regras da ISTA (ISTA, 2014) o recomendam também para sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e soja [*Glycine max* (L.) Merrill], além do teste de envelhecimento acelerado para a soja e do teste de deterioração controlada para brássicas. Todavia, é esperado que outros métodos sejam, num futuro próximo, incluídos nos procedimentos da ISTA, uma vez que a atividade de pesquisa continua neste campo.

Vanzolini e Carvalho (2002), avaliando o efeito de diferentes níveis de vigor de lotes de sementes de soja na emergência em campo, observaram que o maior efeito do vigor foi no desenvolvimento inicial da cultura, pois lotes de menor vigor apresentaram menores emergência total, velocidade e uniformidade de emergência, resultando num menor estande de plantas.

Entretanto, Marcos Filho e Kikuti (2006) enfatizam que, ainda que não haja resposta consistente em termos de produção final, o uso de sementes vigorosas é justificável para assegurar o estabelecimento adequado do estande. Ou seja, mesmo que a influência do potencial fisiológico se restrinja ao estabelecimento e ao desenvolvimento inicial da lavoura, este fato, por si só, constitui uma razão mais que suficiente para justificar a aquisição de lotes de alto vigor (Marcos Filho, 2011).

Assim, na instalação da lavoura, a combinação do uso de sementes de alto vigor, semeadas com precisão, conduz ao estabelecimento da cultura com estande adequado e composto por plantas de alto desempenho. Pois, plantas com uma maior taxa de crescimento e sistema radicular mais profundo conseguem absorver água e nutrientes

em profundidade, amenizando as possíveis consequências negativas de uma estiagem prolongada, por exemplo.

Por outro lado, plantas de baixo desempenho, em geral, oriundas de sementes de vigor médio ou baixo ocupam o espaço de plantas produtivas, competindo com estas por recursos do meio, sendo dominadas pelas plantas laterais, com uma produtividade, em geral, inferior às plantas vigorosas (Marcos Filho e França Neto, 2017). Não obstante, Kolchinski et al. (2005) relataram que plantas originadas das sementes de alto vigor não apresentam um comportamento dominante dentro das comunidades, não provoca, portanto, um efeito restritivo às plantas originadas das sementes de baixo vigor.

Apesar de serem largamente empregados, nem sempre os parâmetros empregados em um mesmo teste de vigor são idênticos, dificultando, desta forma, a comparação de lotes. Neste contexto, Vieira (1995), aponta que no Brasil inúmeras instituições públicas de pesquisa e ensino têm se ocupado com a condução de pesquisas visando ao ajuste das metodologias como uma tentativa de padronizar os testes empregados nos sistemas de controle de qualidade na produção e no beneficiamento de sementes. Dentre os principais desafios, Marcos Filho (2011) elenca que a morosidade, a dificuldade do estabelecimento de valores de referência para distinguir o vigor dos lotes e a influência do genótipo como os principais limitantes do emprego desses testes pelas empresas produtoras de semente.

1.4 Teste envelhecimento acelerado

Dentre os vários testes de vigor disponíveis, o teste de envelhecimento acelerado é aquele mais utilizado na avaliação do potencial fisiológico de diversas espécies de plantas cultivadas (Tekrony, 1995).

Os primórdios deste teste estão em Crocker e Groves (1915), que estudando a viabilidade das sementes, sugeriram que a deterioração e a morte de sementes durante o armazenamento eram causadas pela coagulação de proteínas, e o aquecimento acelerava este processo. Como forma de estimar o potencial de armazenamento da semente, ou seja, sua longevidade, os autores sugeriram conduzir o teste germinação após a exposição das sementes a temperaturas entre 50°C e 100°C durante períodos relativamente curtos. No entanto, o conceito de envelhecimento artificial baseado no binômio de que sementes submetidas a altas temperaturas e umidade relativa do ar

elevada têm a deterioração aumentada só foi plenamente estabelecido em 1965 por Delouche (1965).

Segundo Krzyzanowski e França Neto (2011), uma síntese do processo de deterioração das semente foi proposta por Delouche e Baskin em 1973 no trabalho intitulado “*Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seedlots*”. Neste trabalho, os autores sugerem que a perda da capacidade germinativa da semente é o último acontecimento que precede a sua morte. Todavia, antes que isto ocorra, existe uma sequência de alterações bioquímicas resultantes do envelhecimento das sementes, que inicia com a degradação de membranas e passa por etapas que resultam no decréscimo na velocidade de germinação, na emergência de plântulas e no aumento da ocorrência de plântulas anormais.

Para Delouche e Baskin (1973), excluindo as diferenças genéticas, o potencial de armazenamento de um lote de sementes é determinado pelo seu histórico de pré-conservação ou pelo nível de deterioração sofrido desde a maturação no campo até o fim do armazenamento, sugerindo que a longevidade das sementes é, em parte, determinada pela sua qualidade fisiológica inicial. Desta maneira, lotes que mantêm uma elevada germinação, mesmo após submetidos a altas temperatura e umidade relativa do ar, condições que caracterizam o teste de envelhecimento, são constituídos por sementes com bom potencial de armazenamento, ao passo que aqueles que apresentam redução da germinação, em geral, apresentam menor potencial.

Recentemente, Marcos Filho (2015b) conceitua que a deterioração é um processo determinado por uma série de alterações fisiológicas, bioquímicas, físicas e citológicas, com início a partir da maturidade, e que em ritmo progressivo culminam na queda do potencial de desempenho (germinação e vigor) e, por fim, na morte da semente. O processo de deterioração das sementes está, portanto, geralmente associado a uma série de alterações deletérias que ocorrem com o tempo (envelhecimento), as quais comumente são aceleradas ou diminuídas em função das condições ambientais. Todavia, danos por dessecação ou por congelamento, bem como a desnaturação de proteínas são fatores igualmente determinantes no processo de envelhecimento das sementes.

Ainda que as reações que provocam a deterioração ocorram em sementes não germinadas, seus efeitos são, em geral, detectados somente quando elas são colocadas para germinar. A este respeito, Delouche (1963) aponta que a deterioração é um processo inevitável, contínuo e irreversível, não sendo possível, portanto, recuperar o

nível de atividade vital perdido durante o envelhecimento. De encontro a este entendimento, Marcos Filho (2015b) resume que a viabilidade e o vigor das sementes dependem da integridade das macromoléculas e da compartimentalização celular e, ainda que existam mecanismos biológicos de reparo durante o envelhecimento, retardar a degradação dessas estruturas e, conseqüentemente, a perda de funções vitais das sementes é impossível.

No entanto, há controvérsias sobre a afirmação de Delouche. Tilden e West (1985) relataram que, ao controlar a taxa de embebição das sementes, houve possível reparo metabólico resultante da reorganização dos componentes estruturais das sementes. Lanteri et al. (1998) indicaram que sementes em estado avançado de deterioração submetidas ao condicionamento fisiológico, poderia ter uma melhoria no vigor, uma vez que se tem observado uma resposta positiva ao incremento na velocidade de germinação, fato que tem sido correlacionado com os processos de reparo macromolecular durante o tratamento, bem como com um balanço metabólico mais favorável das sementes pré-condicionadas no início da germinação. Diversos trabalhos têm demonstrado que o vigor das sementes é o componente da qualidade fisiológica mais influenciado pelo “priming” (condicionamento osmótico). Por essa razão, o tratamento tem sido comumente designado na literatura como um revigoramento de sementes (Pill et al., 1991).

A deterioração não ocorre de maneira uniforme, uma vez que as sementes são compostas por tecidos que diferem quanto à composição química e quanto ao grau de exposição ao ambiente externo (Marcos Filho, 2015b). Um teste capaz de evidenciar esta diferença é o teste de tetrazólio, em que, em dicotiledôneas como a soja, observa-se que os pontos de crescimento embrionário são mais sensíveis à deterioração.

Marcos Filho (2015b) resume que os níveis de radicais livres encontrados no eixo embrionário durante a deterioração de sementes de soja são consideravelmente superiores, em comparação aos dos cotilédones. Este fato evidencia que a deterioração inicia nas áreas meristemáticas, aumentando a predisposição do eixo embrionário à deterioração, comparativamente a radícula e a plúmula.

Com base em Priestley (1986), Smith e Berjak (1995) e McDonald (1999), as condições ambientais do teste de envelhecimento acelerado potencializam a perda de permeabilidade seletiva das membranas celulares, bem como torna as enzimas menos eficientes para exercer sua atividade catalítica, ocasionando cromossomos com acúmulo de aberrações ou mutações. As altas temperaturas e umidade do teste também aceleram

a decomposição das reservas, gerando ainda um acúmulo de radicais livres que prejudicam o desempenho das sementes.

Por este motivo, pesquisas mais recentes na área de deterioração de sementes têm dirigido especial atenção para a inativação de enzimas, ou para a sensibilidade das proteínas e de ácidos nucleicos à degradação. Todavia, é notório que embora haja regiões da célula mais propensas à deterioração, devido a sua constituição lipídica, componente de marcante instabilidade físico-química, as membranas são provavelmente os principais e os primeiros alvos das transformações prejudiciais durante o envelhecimento da semente. A Tabela 1 elenca os danos e as alterações ocorridas durante o armazenamento, os quais são potencializados pela alta temperatura e elevada umidade relativa do ar no teste de envelhecimento acelerado.

Tabela 1 - Mecanismos de deterioração da semente durante o armazenamento (Coolbear, 1995).

Evento	Evidências	Possíveis causas
Danos as membranas	<ul style="list-style-type: none"> - Redução da atividade de mitocôndrias - Redução de taxas de síntese - Alterações nos resultados do teste de condutividade elétrica - Alterações ultraestruturais - Desorganização das membranas 	<ul style="list-style-type: none"> - Redução da eficiência dos mecanismos de reparo - Peroxidação de lipídios - Dessecação excessiva - Danos às membranas - Redução das quantidades de rafinose e estaquiose - Redução da presença de α-tocoferol - Formação e ação de radicais livres - Danos por hidrólise enzimática
Danos genéticos	<ul style="list-style-type: none"> - Mutações - Aberrações cromossômicas durante a divisão celular, ocorrendo rupturas - Alterações ultraestruturais - Redução da síntese de DNA e RNA - Alterações na transcrição e tradução da mensagem genética - Redução da síntese de enzimas e proteínas - Redução da atividade de enzimas - Redução da quantidade de DNA de alto peso molecular 	<ul style="list-style-type: none"> - Degradação de DNA - Autólise - Danos por hidrólise - Perda capacidade do sistema de reparo de DNA - Ativação de Dnases
Atividade Respiratória	<ul style="list-style-type: none"> -Declínio na tomada e consumo de O₂ - Aumento da liberação CO₂ - Alterações ultraestruturais, com liberação de exsudados -Menor produção de ATP - Declínio da atividade de enzimas desmolíticas - Alteração do número, atividade e integridade de mitocôndrios 	<ul style="list-style-type: none"> -Danos às membranas de mitocôndrios - Formação lenta de novos mitocôndrios - Menor disponibilidade de substratos para respiração - Danos a enzimas respiratórias - Produção de metabólitos tóxicos: etanol, aldeídos - Ineficiência de mecanismos de reparo

Alterações em enzimas e proteínas	-Alterações na estrutura de enzimas -Inativação progressiva de enzimas -Alterações na síntese de proteínas -Alterações no metabolismo de RNA, DNA	-Danos por radicais livres -Redução da síntese de proteínas -Perda de compartimentalização celular -Desorganização de membranas pela ação de fosfolipases
Alterações no metabolismo de carboidratos	-Ação de fungos -Acréscimo da taxa respiratória -Menor capacidade de utilização de carboidratos -Aumento da liberação de exsudados -Redução da velocidade de germinação	-Decréscimo dos teores de açúcares totais -Decréscimo dos teores de açúcares solúveis -Acréscimo dos teores de açúcares redutores -Ação de amilase -Menor quantidade de rafinose e estaquiose
Alterações no metabolismo de lipídios	-Liberação de exsudados -Alterações em mitocôndrios -Redução da taxa respiratória -Aumento no teor de ácidos graxos livres -Formação de radicais livres -Danos a proteínas, enzimas e ácidos nucleicos, pela ação de radicais livres -Formação de aldeídos tóxicos -Formação de hidroperóxidos	-Peroxidação de lipídios das membranas -Ineficiência de mecanismo de reparo -Autoxidação de ácidos graxos insaturados -Peroxidação de ácidos graxos hidrocarbonados -Redução dos níveis de α -tocoferol
Alterações hormonais	-Alterações na sensibilidade à ação de hormônios	-Desorganização do metabolismo -Danos às membranas e menor resposta à ação hormonal
Metabólitos tóxicos	-Detecção direta	-Produtos primários ou secundários de reações químicas durante a deterioração -Menor eficiência do sistema de desintoxicação
Microrganismo	-Detecção direta Inoculação	-Elevação do teor de água e ou temperatura
Alterações em taxas de síntese	-Menor capacidade de utilização das reservas	-Desorganização das membranas -Declínio da atividade de componentes citoplasmáticos -Redução da produção de ATP

Fonte: Marcos-Filho (2015).

Atualmente, o procedimento recomendado para a condução do teste em sementes de soja, especifica o uso de amostras de 40 g (sementes “pequenas”) a 45 g (sementes “grandes”), distribuídas sobre superfície da tela metálica colocada no interior da caixa plástica (câmara interna) utilizada para o teste (Tomes et al., 1988). Essa especificação tem como objetivo assegurar que uma camada única de sementes seja distribuída sobre a tela metálica, de modo a garantir a exposição uniforme das amostras às condições de temperatura e umidade relativa estabelecidas para o teste.

O teste é realizado a 41°C, temperatura máxima tolerada por proteínas hidratadas (teor de água de 26% a 30% nas sementes de soja). Assim, temperaturas mais elevadas,

em vez de causarem estresse, podem promover a desnaturação de proteínas e a morte de sementes, de modo que o uso de temperaturas entre 43°C e 45°C, à uma umidade relativa de 100% para o envelhecimento das sementes, geralmente causa inativação metabólica completa, especialmente em sementes menos vigorosas de algumas espécies. O envelhecimento acelerado deve ser realizado em uma câmara em que as condições do ambiente sejam de temperatura e umidade relativa elevadas e que todas as sementes estejam igualmente susceptíveis à essas condições.

Rodo (2000) aponta que além de simular a deterioração causada pelo armazenamento, o teste de envelhecimento acelerado se baseia no princípio de que sementes de alto vigor mantêm sua viabilidade, mesmo após submetidas a curtos períodos de tempo as condições severas de temperatura e umidade, enquanto que aquelas de baixo vigor terão sua viabilidade reduzida. Portanto, é esperado que a intensidade de deterioração das sementes seja mais pronunciada nos lotes de qualidade fisiológica inferior (Costa, 2008; Marcos Filho, 2015b).

No Brasil, conforme os levantamentos bibliográficos de Wetzel (1972) e Menezes et al. (1980), a introdução e o uso do teste de envelhecimento acelerado ocorreram em época muito próxima à verificada nos EUA. O primeiro estudo específico sobre o assunto no país foi publicado por Toledo (1966), que considerou o “*rapid aging*” um método promissor para a avaliação do vigor em sementes de algodão. Em seguida, Abrahão e Toledo (1969), estudando sementes de feijão, obtiveram conclusão semelhante à de Toledo (1966). Mais tarde, envolvendo estudos de efeitos de injúrias mecânica, o teste de envelhecimento foi empregado em sementes de feijão (Abrahão, 1971). No entanto, estudos mais aprofundados surgiram somente com os trabalhos de Caldo (1973) e Krzyzanowski (1974). No entanto, a metodologia deste teste, empregada atualmente na cultura da soja, é descrita por Krzyzanowski et al. (1999).

Do ponto de vista comercial, as principais vantagens deste teste são sua facilidade de condução e a padronização das condições ambientais, possibilitadas pelo emprego de câmaras de envelhecimento artificial (McDonald, 1998), bem como pelo período de tempo relativamente pequeno em que o mesmo fornece informações seguras sobre o potencial de armazenamento dos lotes (Krzyzanowski et al., 1999).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Condução do experimento

As avaliações da qualidade fisiológica foram conduzidas no Laboratório de Tecnologia de Sementes do Núcleo de Pesquisa Aplicada à Agricultura (Nupagri), pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá (UEM), no município de Maringá, em parceria com o Laboratório de Fisiologia do Núcleo de Tecnologia de Sementes e Grãos da Embrapa Soja, município de Londrina, ambos localizados na região norte central do Estado do Paraná.

O experimento foi instalado adotando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições, exceto para a variável porcentagem de emergência em campo, para a qual foi adotado o delineamento em blocos completos com tratamentos casualizados, igualmente com quatro repetições. Foram utilizadas sementes de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] das cultivares BMX Potência RR, 6563 RSF IPRO, 6663 RSF, M6410 IPRO e M6210 IPRO com distintos níveis de vigor, alto, médio e baixo classificados através do teste de tetrazólio.

Após a escolha dos materiais, as sementes foram submetidas ao teste de envelhecimento acelerado por 24 horas à 41°C, na qual foi obtido os valores em porcentagem de plântulas normais pelo procedimento do teste de germinação, constituindo os tratamentos deste trabalho de pesquisa, conforme a Tabela 2.

As condições do teste, tempo e temperatura foi devido as sementes terem sido coletadas na época de comercialização, o que tornaria muito drástico para as sementes temperatura de 41°C por 48 horas como recomendado pela literatura. No decorrer do trabalho as sementes foram mantidas em câmara fria e seca à 10°C e 50% de umidade relativa.

Tabela 2 - Esquema detalhado dos tratamentos com suas respectivas porcentagens de plântulas normais no teste de envelhecimento acelerado 24h/41°C.

Tratamentos	Cultivar	Envelhecimento acelerado 24h/41°C (%)
1	6663 RSF	97,50
2	6563 RSF IPRO	91,50
3	BMX Potência RR	91,50
4	M6210 IPRO	89,50
5	BMX Potência RR	87,00
6	M6410 IPRO	73,50
7	BMX Potência RR	73,00
8	6563 RSF IPRO	74,00
9	M6210 IPRO	67,00
10	M6210 IPRO	64,00
11	M6410 IPRO	63,00
12	6563 RSF IPRO	61,00
13	M6210 IPRO	46,00
14	M6410 IPRO	37,00
15	6563 RSF IPRO	20,50

2.2 Avaliação da qualidade fisiológica das sementes

A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada por meio dos seguintes testes:

Teste de germinação (GER.): foi conduzido com quatro subamostras de 50 sementes, para cada tratamento e repetição analítica. As sementes foram colocadas para germinar entre três folhas de papel “Germitest” e umedecidas com água destilada utilizando-se a proporção de 2,5 vezes o peso do substrato seco. Foram confeccionados rolos, os quais foram levados para germinar em germinador do tipo Mangelsdorf, regulado para manter a temperatura constante de $25 \pm 1^\circ\text{C}$. A porcentagem de plântulas normais foi avaliada no quinto dia, após o início do teste, segundo os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Primeira contagem de germinação (P.C.G.): foi realizada em conjunto com o procedimento anterior, utilizando-se a mesma metodologia, com quatro subamostras de 50 sementes por repetição e tratamento. Os procedimentos para a realização seguiram a metodologia descrita por Nakagawa (1999), registrando-se a porcentagem de plântulas normais maiores que 3,75 cm obtidas ao terceiro dia da semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Classificação do vigor da plântula (C.V.): o teste foi conduzido de acordo com a metodologia do teste de germinação, em que foram utilizadas quatro subamostras de 50 sementes por repetição e por tratamento. A avaliação foi realizada no quinto dia após a semeadura, segundo as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). As plântulas normais foram classificadas como “fortes” ou “fracas”, de acordo com Nakagawa (1999). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais “fortes”.

Teste de envelhecimento acelerado (E.A.): realizado adotando-se o método do gerbox. As sementes foram distribuídas em camada única dispostas sobre tela de aço inox, inserida no interior de caixas plásticas (tipo gerbox), contendo 40 mL de água destilada (Krzyzanowski et al., 1991). Em seguida os gerbox foram tampados e levados a uma câmara jaquetada de água (modelo 3015, marca VWR/USA), regulada a $41 \pm 1^\circ\text{C}$ por 24 horas, uma vez que o teste foi realizado praticamente na época de entrega das sementes, portanto, 48 horas envelhecimento nessa época seria muito drástica para o teste, mascarando o resultado real do desempenho fisiológico da semente. Posteriormente, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, conforme descrito anteriormente, com quatro subamostras de 50 sementes por tratamento e repetição. A avaliação foi realizada no quinto dia após a semeadura, computando-se as plântulas consideradas normais. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (Marcos Filho, 1999b).

Condutividade elétrica (C.E.): avaliada utilizando-se o método de massa (Vieira e Krzyzanowski, 1999). Foram utilizadas oito subamostras de 25 sementes por repetição e por tratamento. As sementes foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g e imersas em 75 mL de água deionizada, em copos descartáveis de plástico (capacidade de 200 mL). Estes foram, então, mantidos em câmara de germinação a 25°C por 24 horas. Após o período de embebição das sementes, foi medida a condutividade elétrica das soluções de embebição, por meio de condutivímetro Digimed DM-32. Os resultados obtidos foram divididos pelo peso de cada subamostra, sendo expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$.

Comprimento da Plântula (C.P.): conduzido com cinco subamostras de 20 sementes por repetição e por tratamento, semeadas em duas linhas no terço superior de folha de papel toalha, direcionando-se o eixo embrionário para baixo. Os rolos foram colocados em sacos plásticos, vedados e levados ao germinador a 25°C por cinco dias. Após esse período as plântulas normais foram medidas em escala métrica, expressa em centímetros, como descrito por Nakagawa (1999).

Índice de velocidade de emergência em substrato de areia (I.V.E.): foi conduzido com quatro subamostras de 50 sementes para cada tratamento e repetição. A areia utilizada foi previamente lavada e colocada em bandejas plásticas. O teste foi realizado em condições de casa de vegetação e a umidade mantida com irrigações moderadas (Nakagawa, 1999). Foram realizadas anotações diárias do número de plântulas normais emergidas, ou seja, acima da superfície do solo, até os 12 dias após a semeadura. Os resultados foram expressos em índice de velocidade de emergência, conforme proposto por Maguire (1962):

$$\text{I.V.E.} = (G1/N1) + (G2/N2) + \dots + (Gn/Nn)$$

Em que:

I.V.E. = índice de velocidade de emergência;

G = número de plântulas normais computadas nas contagens;

N = número de dias da semeadura à 1^a, 2^a... enésima avaliação.

Emergência Final em substrato de areia (E.F.A.): o teste foi realizado a partir da semeadura em bandejas contendo areia lavada, em quatro subamostras de 50 sementes para cada tratamento e repetição analítica. As plântulas normais emergidas foram contadas aos 12 dias após a semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem.

Porcentagem de emergência em campo (P.E.C.): realizada com quatro subamostras de 100 sementes por repetição e por tratamento, sendo cada subamostra de 100 sementes tratada e distribuída em sulcos de dois metros de comprimento, com cinco centímetros de profundidade. A contagem foi realizada aos 15 dias após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme descrito por Nakagawa (1994).

2.3 Análise estatística

Os dados das variáveis respostas foram submetidos à análise de variância, mediante o atendimento das pressuposições básicas (erros normalmente distribuídos com média zero e variância em comum). Para tal, utilizaram-se os testes de Shapiro-Wilk (normalidade) e Levene (homogeneidade de variâncias residuais), exceto para a variável porcentagem de emergência em campo, para a qual foram utilizados os testes Shapiro-Wilk e Bartlett, a 1% de probabilidade.

As variáveis resposta germinação e emergência final em substrato de areia, que apresentaram heterogeneidade de variâncias, foram previamente transformadas em arcsen $\sqrt{x/100}$. Porém, os valores das médias originais também foram empregados nas tabelas dos resultados e discussão.

As variáveis que caracterizaram a qualidade fisiológica das sementes foram submetidas à análise de variância ($p < 0,05$ e $p < 0,01$), utilizando-se o sistema para análise estatística Sisvar (Ferreira, 2000).

Foi realizada a análise de regressão linear simples visando obter a equação para estimar o desempenho fisiológico de cada tratamento nos diferentes testes avaliados. Os dados das variáveis respostas estudadas foram submetidos à análise de correlação simples de Pearson (r) a 1% e 5% de probabilidade pelo software SAS System.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados da análise de variância dos dados

O resumo da análise de variância está apresentado nas Tabelas 3 e 4. Na Tabela 3 constam as variáveis: primeira contagem de germinação, germinação, classificação do vigor, comprimento da plântula, condutividade elétrica, emergência final em substrato de areia e índice de velocidade de emergência, ao passo que a variável porcentagem de emergência em campo é apresentada na Tabela 4. Por fim, na Tabela 5 é apresentado o resumo da análise de variância do teste de regressão linear simples.

Observa-se nas Tabelas 3 e 4 que as variáveis apresentaram resultados significativos a 1% de probabilidade pelo teste F, exceto a variável emergência final em substrato de areia (E.F.A.), que teve resultado não significativo nesse nível de significância.

Na análise de variância da regressão linear simples (Tabela 5), as variáveis comprimento da plântula e emergência final em substrato de areia apresentaram resultados não significativos a 1% de probabilidade; para todas as demais variáveis o teste F foi significativo a 1% de probabilidade. Os coeficientes de variação constantes nas Tabelas 3, 4 e 5 apresentaram precisão dentro da normalidade, em comparação com outros trabalhos de qualidade fisiológica de sementes na cultura da soja, a exemplo dos trabalhos conduzidos em sementes de soja por Braccini et al. (1994), Schuab et al.

(2006), Marcos Filho et al. (2009), Krzyzanowski et al. (2014) e Brzezinski et al. (2017).

Tabela 3 - Análise de variância para as variáveis respostas: envelhecimento acelerado (E.A.), primeira contagem de germinação (P.C.G.), germinação (GER.), classificação do vigor da plântula (C.V.), comprimento da plântula (C.P.), condutividade elétrica (C.E.), emergência final em substrato de areia (E.F.A.) e índice de velocidade de emergência (I.V.E.).

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrados Médios				
		E.A.	P.C.G.	GER.	GER. ^{/1}	C.V.
Tratamentos	14	1904,1238 ***	568,2110 ***	186,2738 ***	0,0550 ***	1232,528 ***
Resíduo	45	15,6888	4,3501	6,0944	0,0018	11,8291
C.V (%)		5,73	2,52	2,76	3,40	6,04
Média Geral		69,06	82,71	89,58	1,26	56,97
Fonte de Variação	Grau de Liberdade	C.P.	C.E.	E.F.A.	E.F.A. ^{/1}	I.V.E.
Tratamentos	14	23,8172 ***	2087,0189 ***	17,8483 * ns	0,0208 ***	0,6872 ***
Resíduo	45	3,8641	6,0511	8,2537	0,0077	0,2652
C.V (%)		11,34	2,54	2,96	6,12	5,76
Média Geral		17,33	97,02	97,12	1,43	8,94

*: Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F;

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F;

ns: não significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F;

^{/1}: transformação arco sen $\sqrt{x/100}$.

Tabela 4 - Análise de variância para a variável porcentagem de emergência no campo (P.E.C.).

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	QM
		P.E.C.
Tratamentos	14	351,4095 * **
Blocos	3	-
Resíduo	42	4,1015
C.V (%)		2,81
Média Geral		72,18

*: Significativo a 5% de probabilidade, pelo teste F;

** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F;

ns: não significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Tabela 5 - Análise de variância da análise de regressão linear simples: primeira contagem de germinação (P.C.G.), germinação (GER.), classificação do vigor da plântula (C.V.), comprimento da plântula (C.P.), condutividade elétrica (C.E), emergência final em substrato de areia (E.F.A.), índice de velocidade de emergência (I.V.E.) e porcentagem de emergência em campo (P.E.C.).

		Quadrados Médios				
Fonte de Variação	Grau de Liberdade	P.C.G.	GER.	GER.^{/1}	C.V.	C.P.
Regressão	1	5808,0547 ***	2145,7766 ***	0,6043 ***	14936,2263 ***	41,9768 * ns
Resíduo da regressão	58	40,3905	12,6949	0,0042	14936,2263	8,0232
C.V (%)		7,68	3,97	5,19	12,30	16,36
Fonte de Variação	Grau de Liberdade	C. E.	E.F.A.	E.F.A.^{/1}	I.V.E.	P.E.C.
Regressão	1	23731,8841 ***	63,0685 * ns	0,06177 * ns	5,1571 ***	4273,8453 ***
Resíduo da regressão	58	99,2876	9,6246	0,0099	0,2827	14,1920
C.V (%)		10,26	3,19	6,95	5,94	5,21

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F;

NS: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F;

***: Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F;

ns: não significativo a 1% de probabilidade pelo teste F;

^{/1}: transformação arco sen $\sqrt{x/100}$.

3.2 Correlação linear de Pearson

Na Tabela 6 estão apresentados os coeficientes de correlação linear de Pearson da variável envelhecimento acelerado com os demais testes, ou seja, primeira contagem de germinação, germinação, classificação do vigor, comprimento da plântula, condutividade elétrica, emergência final em substrato de areia, índice de velocidade de emergência e porcentagem de emergência em campo.

Garson (2009) afirma que correlação “é uma medida de associação bivariada (força) do grau de relacionamento entre duas variáveis”. Para Moore (2007), “a correlação mensura a direção e o grau da relação linear entre duas variáveis quantitativas”.

Os coeficientes de correlação do teste de envelhecimento com as demais variáveis de qualidade fisiológica testadas, além de positivos, foram significativos a 1% de probabilidade (Tabela 6). No entanto, emergência final em substrato de areia e o comprimento da plântula, não apresentando significância a 1% de probabilidade, bem como o valor negativo de correlação de Pearson encontrado entre o envelhecimento acelerado e a condutividade elétrica. Valores negativos foram igualmente observados nas correlações entre a condutividade elétrica com os demais testes (Tabela 6).

De modo similar ao observado neste trabalho, Diniz et al. (2013), Schuab et al. (2006) e Santorum (2011) também registraram valores negativos para correlação de Pearson entre as variáveis de qualidade fisiológica com o teste de condutividade elétrica em sementes de soja, indicando que na associação linear simples com esta variável, valores crescentes de uma variável estão associados a valores decrescentes da outra. Pode-se creditar este comportamento à própria natureza do teste de condutividade elétrica, cuja essência é avaliar o potencial fisiológico com base na quantidade de líquidos encontrados na solução de embebição. Nele, sementes de membranas danificadas ou deterioradas, isto é, potencialmente menos vigorosas, apresentam uma maior liberação de exsudatos para o exterior da célula, de modo a resultar em valores de condutividade elétrica superiores àqueles observados em sementes com membrana íntegra, e, portanto, mais vigorosas (Marcos Filho, 2015b). De tal modo, especificamente para o teste de condutividade, considera-se que o vigor das sementes é inversamente proporcional à leitura observada (Vieira e Krzyzanowski, 1999).

Tabela 6 - Coeficientes estimados de correlação linear de Pearson (r) entre as variáveis respostas: envelhecimento acelerado (E.A.), primeira contagem de germinação (P.C.G.), germinação (GER.), classificação do vigor (C.V.), condutividade elétrica (C.E.), emergência final em substrato de areia (E.F.A.), comprimento de plântulas (P.C), índice de velocidade de emergência (I.V.E.) e porcentagem de emergência em campo (P.E.C.).

	P.C.G.	GER.	C.V.	C.E.	E.F.A.	P.C	I.V.E	P.E.C.
E.A.	0,8463***	0,8690***	0,9160***	-0,8912***	0,3291 ^{ns}	0,2700 ^{ns}	0,5010***	0,9198***
P.C.G.	-	0,8085***	0,7722***	-0,8220***	0,2964 ^{ns}	0,2326 ^{ns}	0,4787***	0,7857***
GER.	-	-	0,8708***	-0,7812***	0,4820***	0,2394 ^{ns}	0,6627***	0,8194***
C.V.	-	-	-	-0,8757***	0,3895***	0,2146 ^{ns}	0,5322***	0,9302***
C.E.	-	-	-	-	-0,3939***	-0,2567 ^{ns}	-0,4946***	-0,8437***
E.F.A.	-	-	-	-	-	0,1232 ^{ns}	0,6963***	0,3482***
P.C	-	-	-	-	-	-	0,1160 ^{ns}	0,1899 ^{ns}
I.V.E	-	-	-	-	-	-	0,6963***	0,3482***
P.E.C	-	-	-	-	-	-	-	0,5302***

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste t;

^{NS}: não significativo a 5% de probabilidade pelo teste t;

***: Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t;

^{ns}: não significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

O coeficiente de correlação linear de Pearson (r) assume valores entre -1 e 1, de maneira que um valor igual a 1 significa que uma equação linear descreve perfeitamente a relação entre duas variáveis, com todos os pontos de dados indicando que à medida que uma variável aumenta, a outra cresce na mesma proporção. Na área de tecnologia e qualidade de sementes, a interpretação dos coeficientes de correlação linear de Pearson é de elevada complexidade, uma vez que são inexistentes valores de referência pré-definidos entre os diferentes testes, de forma que o exame dos dados demanda uma análise subjetiva dos autores para um determinado conjunto amostral. No entanto, há consenso de que quanto mais próxima for a correlação com -1 ou 1, mais forte é o grau de correlação entre as variáveis.

A este respeito, baseando-se no exposto por Figueiredo Filho e Silva Junior (2009), Gonçalves et al. (2017) sugerem que em análises fisiológicas de sementes de cebola um coeficiente de correlação, em valores absolutos, de 0,1 a 0,39 pode ser considerado fraco, de 0,4 a 0,69, moderado e acima de 0,7, forte. Para fins de comparação dos resultados obtidos no presente estudo, empregou-se a escala proposta Gonçalves et al. (2017); todavia, considerando muito fortes, resultados acima de 0,9, conforme adotado em Santorum (2011).

Para auxiliar na discussão e na comparação dos resultados de correlação do teste de envelhecimento com os demais testes empregados neste trabalho, encontra-se na Tabela 7 um resumo dos resultados de correlação de Pearson (Tabela 6), tomando-se por base a escala de interpretação supracitada.

Com base na Tabela 6 e nas interpretações do grau de associação linear (Tabela 7), valores de correlação classificados como muito fortes foram obtidos entre o teste de envelhecimento acelerado e a variável classificação do vigor da plântula ($r = 0,9160$) e a porcentagem de emergência em campo ($r = 0,9198$). Para as variáveis germinação ($r = 0,8690$), primeira contagem de germinação ($r = 0,8463$) e condutividade elétrica ($r = -0,8912$), a associação linear com o envelhecimento acelerado foi de grau de correlação forte.

Tabela 7 - Interpretação de acordo com a escala de Gonçalves et al. (2017) e Santorum (2011) dos coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre a variável envelhecimento acelerado (E.A.) com as variáveis: primeira contagem de germinação (P.C.G.), germinação (GER.), classificação de vigor (C.V), comprimento de plântulas (C.P.), condutividade elétrica (C.E), emergência final em substrato de areia (E.F.A), índice de velocidade de emergência (I.V.E.) e porcentagem de emergência no campo (P.E.C)

Teste	Intensidade de correlação com o E.A.*
C.V.	Muito forte
P.E.C.	Muito forte
GER.	Forte
P.C.G.	Forte
C.E.	Forte
I.V.E.	Moderada
C.P.	Fraca
E.F.A.	Fraca

* Intensidade estabelecida com base em Gonçalves et al. (2017) e Santorum (2011).

Tais resultados corroboram com Schuab et al. (2006) que, avaliando a qualidade fisiológica de genótipos de soja, também apontaram valores superiores de correlação entre o envelhecimento acelerado e os testes de porcentagem de emergência em campo, condutividade elétrica, germinação e na primeira contagem de germinação. Do mesmo modo, para a cultura da soja, Carvalho et al. (2009) e Barbieri et al. (2013) relataram valores mais elevados de correlação simples entre a condutividade elétrica e o envelhecimento acelerado, ao passo que para Santorum (2011), a correlação dessas variáveis foi, em geral, de intensidade intermediária para aquele conjunto de dados.

Em outras culturas de interesse agrícola, Contreras e Barros (2005), Braz e Rosseto (2009) e Bertolin et al. (2011) observaram valores superiores de correlação simples positiva entre o teste de envelhecimento acelerado e a emergência das plântulas em campo para sementes de alface, girassol e feijão, respectivamente. O mesmo foi apontado por Diniz et al. (2013), que obtiveram coeficientes de correlação mais elevados e, negativos, entre a associação do teste de emergência em campo com a condutividade elétrica em sementes de soja.

Todavia, de modo contrastante deste trabalho, em que o grau de correlação entre o envelhecimento acelerado a emergência final em substrato de areia ($r = 0,3291$) foi fraco (Tabelas 6 e 7), tanto Diniz et al. (2013), quanto Schuab et al. (2006), apontaram valores intermediários de coeficientes entre estas variáveis. Ainda, com base nas Tabela 6 e 7, observa-se que a associação linear entre o envelhecimento acelerado com o índice

de velocidade de emergência ($r = 0,5010$), bem como com o comprimento da plântula ($r = 0,2700$) apresentaram intensidade de correlação moderada e fraca, respectivamente. Comportamento similar para ambas as variáveis foi apontado por Santorum (2011).

Com exceção da correlação entre o comprimento da plântula e a envelhecimento acelerado, que apresentou resultado significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, não foram observados resultados significativos a 1% de probabilidade para as correlações lineares de Pearson entre o teste de comprimento da plântula com os demais testes aqui empregados (primeira contagem de germinação, germinação, classificação do vigor, emergência final em substrato de areia, índice de velocidade de emergência e porcentagem de emergência em campo). Tais resultados vão de encontro aos estudos conduzidos por Barbieri et al. (2013), que obtiveram correlação linear não significativa ou de muito baixo valor entre diferentes variáveis respostas de qualidade fisiológica (entre os quais o teste de envelhecimento acelerado) com o comprimento das plântulas.

Diferentemente dos resultados deste estudo, para Vanzolini et al. (2007) o comprimento da plântula apresentou elevado coeficiente de correlação com a emergência das plântulas em campo e com o índice de velocidade de emergência em campo. Aqueles autores, entretanto, afirmam ter observado este comportamento somente quando no teste de comprimento foram consideradas todas as plântulas emergidas (normais e anormais). Eles sugerem que, por considerar nos resultados somente os dados de plântulas normais, a sensibilidade do teste para detectar diferenças de vigor é reduzida, dificultando, portanto, a sua correlação com outros testes.

Soma-se ao exposto no parágrafo acima, o fato de que no presente estudo, não foram mapeadas as peneiras das sementes dos lotes testados, característica que, não raro, segundo Milosevic et al. (2010) e Sulewska et al. (2014), pode estar associada com a qualidade fisiológica de espécies agrícolas. É, contudo, essencial reforçar que as variáveis biométricas como o tamanho e o peso das sementes, bem como das plântulas que elas originam dependem, primariamente, da genética do material, mas são, por outro lado, altamente suscetíveis às condições edafoclimáticas (Penaloza e Duran, 2015).

Para Marcos Filho (2015b), as sementes menores possuem relação superfície e volume superior à das sementes de maior tamanho; isto faz com que a embebição das sementes menores geralmente seja mais rápida, acarretando vantagens quanto ao estabelecimento do estande no campo, fato que pode explicar, ao menos parcialmente, a baixa correlação com os testes de qualidade fisiológica estudados, uma vez que os materiais utilizados apresentavam peneiras de diferentes tamanhos.

Segundo o mesmo autor, os resultados de pesquisas que relacionam o tamanho das sementes com sua qualidade fisiológica são bastantes controversos, pois variam amplamente entre cultivares e, ainda mais, entre espécies. Atribui-se parte desta variabilidade a subjetividade na definição do que é uma semente grande ou pequena, considerando as dimensões de largura e espessura, bem como as diferenças nas condições ambientais dos testes em campo, fatores que, em conjunto com o estágio da cultura em que as plantas são avaliadas, dificultam a extrapolação e a comparação entre os ensaios.

Um exemplo que corrobora esta dificuldade foi registrado por Pereira et al. (2013), que concluíram que para um mesmo genótipo, sob condições ideais de umidade, sementes de soja de peneiras maiores (crivo circular) produziram plântulas, em geral, mais vigorosas, provavelmente devido as suas maiores quantidades de reserva. No entanto, no tocante ao comprimento das plântulas, os autores relatam que sob restrição hídrica, peneiras menores (crivo circular) produziram plântulas maiores, porém de menor biomassa seca e, em geral, de baixo vigor.

No tocante ao teste de emergência em areia, tomando a amplitude como medida de dispersão, no presente estudo obteve-se uma variação da ordem 6,13% entre os tratamentos com maior (99,5%) e menor (93,37%) média percentual de plântulas normais. Por outro lado, amplitudes sensivelmente superiores foram encontradas no teste envelhecimento acelerado e na porcentagem de emergência em campo, que apresentaram valores de 77 e 23,25%, respectivamente. Esses valores vão de encontro aos encontrados por Braccini et al. (1994), Schuab et al. (2006), Marcos Filho et al. (2009), Krzyzanowski et al. (2014) e Brzezinski et al. (2017), que também verificaram menor amplitude no percentual de plântulas normais em lotes não tratados ou em lotes de alto vigor analisados imediatamente após o tratamento. Entretanto, para sementes tratadas e submetidas ao armazenamento, os recentes resultados de Brzezinski et al. (2017) confirmam que, nessas condições, o teste contribui para o ranqueamento do vigor dos lotes.

Este comportamento no teste de emergência em areia indica, portanto, sua menor sensibilidade relativa em separar sementes de soja em diferentes níveis de vigor em determinadas condições, aspecto que pode ter contribuído para a fraca correlação observada com o teste de envelhecimento acelerado. Todavia, para França Neto e Henning (1992), o emprego deste teste na cultura da soja, ainda que em sementes de alto vigor, se justifica pelo fato dele evitar a reprovação de lotes que apresentem baixa

germinação (em substrato de papel), causada por infecção por fungos de tegumento (*Phomopsis* spp. e/ou *Fusarium* spp.), uma vez que nas condições do teste as sementes tornam-se menos suscetíveis a esses patógenos.

Por fim, com exceção dos testes de comprimento da plântula e emergência final em substrato de areia, que apresentaram baixa precisão na distinção de vigor, observou-se que o teste de envelhecimento acelerado se correlacionou de maneira satisfatória com os demais testes conduzidos, com destaque superior para a sua associação com a análise de classificação do vigor e com o teste de emergência em campo, este último, considerado um parâmetro fundamental do estabelecimento da cultura (estande) e, conseqüentemente, na produtividade de grãos.

3.3 Regressão linear simples

As equações das regressões e os coeficientes de determinação resultantes das análises de regressão linear da primeira contagem de germinação, germinação, classificação do vigor, comprimento da plântula, condutividade elétrica, emergência final em substrato de areia e índice de velocidade de emergência, considerando como variável independente o teste de envelhecimento acelerado, são apresentados na Tabela 8.

Foram obtidos valores relativamente elevados de coeficientes de determinação para as equações lineares, obtidas a partir das variáveis dependentes porcentagem de emergência em campo ($R^2 = 0,8385$), classificação de vigor ($R^2 = 0,8396$) e condutividade elétrica ($R^2 = 0,8047$) (Tabela 8). Esses resultados indicam que, com uma apropriada precisão, uma parte importante desses dados pode ser explicada pelo modelo de regressão linear simples. Tais resultados corroboram com os valores de correlação linear de Pearson encontrados entre essas variáveis e o envelhecimento acelerado (Tabela 6), pois, embora este coeficiente não diferencie as variáveis entre independentes e dependentes (o valor da correlação entre uma variável X e Y é o mesmo entre Y e X), o mesmo havia indicado a existência de uma associação linear forte ou muito forte entre essas variáveis (Tabela 7).

Para as variáveis dependentes primeira contagem de germinação e germinação, os coeficientes de determinação obtidos foram, respectivamente, de 0,7125 e 0,7445, indicando que, embora com precisão inferior aos níveis verificados acima, a qualidade do modelo linear do envelhecimento acelerado, com essas variáveis resposta, pode ser

considerada satisfatória. Por outro lado, as variáveis que apresentaram moderada ou fraca intensidades na correlação de Pearson (Tabela 7), com o envelhecimento acelerado, também obtiveram, na análise de regressão, coeficientes de determinação muito baixos. São os casos do índice de velocidade de emergência ($R^2 = 0,2392$), da emergência final em substrato de areia ($R^2_{\text{não transformado}} = 0,1015$) e do comprimento da plântula ($R^2 = 0,0827$), indicando que o modelo matemático linear não explica adequadamente, com maior confiabilidade, a variabilidade dos dados dessas variáveis resposta.

Tabela 8 - Modelo matemático estatístico com interpretação agrônômica das variáveis respostas: primeira contagem de germinação (P.C.G.), germinação (GER.), classificação de vigor (C.V), condutividade elétrica (C.E), emergência final em substrato de areia (E.F.A), índice de velocidade de emergência (I.V.E.) e porcentagem de emergência no campo (P.E.C) obtidos através da análise de regressão linear simples

$y = \alpha + \beta \cdot x$	
Modelo Agrônômico	R^2
$\widehat{P.C.G.} = 50,89 + 0,46071E.A.$	0,7125
$\widehat{GER.} = 70,24 + 0,28003E.A.$	0,7445
$\widehat{GER.}^{\wedge 1} = 0,93 + 0,46996E.A.$	0,7079
$\widehat{C.V.} = 5,947 + 0,73881E.A.$	0,8396
$\widehat{C.E.} = 161,344 - 0,93127E.A.$	0,8047
$\widehat{I.V.E.} = 7,998 + 0,01372832E.A.$	0,2392
$\widehat{P.E.C.} = 44,887 + 0,395204E.A.$	0,8385

¹: transformação arco sen $\sqrt{x/100}$.

Alfa: 1% de probabilidade

De modo semelhante ao encontrado nesse estudo, Torres et al. (2014) sinalizaram que, com base na análise de regressão, o teste de envelhecimento acelerado permitiu estimar adequadamente a emergência em campo de sementes de soja, muito embora, segundo os autores, a qualidade do ajuste do modelo (R^2) tenha diminuído, quando as sementes foram colocadas para emergir em campo fora da janela de semeadura preconizada no zoneamento climático (condições climáticas desfavoráveis). Esses autores observaram, ainda, que o R^2 e, conseqüentemente, a precisão do modelo em estimar a emergência em campo, aumentou à medida que foram submetidos separadamente à análise de regressão exclusivamente os resultados de envelhecimento

acelerado, cujos valores médios foram classificados como superiores pelo teste de médias. Santorum (2011) também registrou R^2 elevado entre a emergência em campo e o envelhecimento acelerado no teste de regressão linear simples.

Considerando somente as variáveis resposta que apresentaram correlação linear forte ou muito forte (Tabela 7) e, por conseguinte, $R^2 > 0,70$ na análise de regressão linear simples, verifica-se que para cada unidade de aumento percentual no envelhecimento acelerado, a classificação do vigor aumenta em 0,73881% as plântulas normais classificadas como fortes e a porcentagem de emergência em campo em 0,39520% de plântulas normais, ao passo que a condutividade elétrica é diminuída em $0,93127605 \mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$. Por outro lado, com base nos coeficientes angulares das equações de regressão ajustadas para a germinação (dados não transformados) e para a primeira contagem de germinação, um aumento de 1% de plântulas normais no teste de envelhecimento acelerado reflete em incrementos da ordem de, respectivamente, 0,280030% e 0,46071% de plântulas normais nesses dois últimos testes.

Dados preliminares obtidos por França Neto et al. (2002) sinalizam que, quando realizado por ocasião da semeadura, o teste de envelhecimento acelerado (41°C , 100%UR durante 24h) se apresentou como um parâmetro adequado para estimar a emergência a campo da cultura da soja. Tais resultados foram observados inúmeros experimentos entre os anos de 1998 e 2002, em que empregando-se diversas cultivares, os valores de qualidade fisiológica obtidos foram submetidos a análise de regressão linear simples. A equação obtida no período de 1998-2002 ($Y=29,506+0,6258E.A$), a qual, segundo os autores, foi semelhante as equações obtidas para cada ano separadamente, demonstrou que o teste de E.A. foi eficaz para predizer a emergência de sementes no campo.

Com base na equação da porcentagem de emergência no campo ($\widehat{P.C.G.} = 50,893+ 0,4607E.A$), ao se predizer os valores desta variável através dos níveis de vigor estipulados na Tabela 9, observa-se coerência entre os valores obtidos neste estudo com àqueles de França Neto et al (2004), com uma diferença percentual entre os valores obtidos e, principalmente, os estimados menor que 10% de plântulas normais emergidas a campo.

Tabela 9 - Desempenho fisiológico de distintos níveis de vigor E.A. estimado com base nas equações de regressões de variável resposta obtida experimentalmente e resultados estimados da equação de França Neto et al (2004).

NÍVEIS DE VIGOR	PCG %		GER %		C.V. %		C. E. $\mu\text{S.cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$		PEC %		PEC %
	Estimado	Obtido	Estimado	Obtido	Estimado	Obtido	Estimado	Obtido	Estimado	Obtido	França et al(2004)
Muito alto vigor											
100	96,96		98,25		79,83		68,22		84,41		92,08
97,5	95,81	97,12	97,55	98,62	77,98	88,87	70,54	56,34	83,42	87	90,52
95	94,66		96,85		76,13		72,87		82,43		88,95
91,5	93,05	95,72	95,87	94,12	73,55	71	76,13	75,7	81,05	85,75	86,76
91,5	93,05	89,12	95,87	93,5	73,55	73,25	76,13	73,25	81,05	81,75	86,76
90	92,36		95,45		72,44		77,53		80,46		85,69
Alto Vigor											
89,5	92,13	93,5	95,31	96,25	72,07	69,62	78,00	68,29	80,26	78,25	85,51
87	90,98	97	94,61	96,5	70,22	73,62	80,32	80,94	79,27	77,25	83,95
85	90,05		94,05		68,75		82,19		78,48		82,69
80	87,75		92,64		65,05		86,84		76,50		79,57
Médio Vigor											
75	85,45		91,24		61,36		91,50		74,53		76,44
74	84,99	77,75	90,96	88,25	60,62	58,5	92,43	100,64	74,13	73,25	75,81
73,5	84,76	89	90,82	96,87	60,25	71,25	92,90	82,41	73,94	76	75,5
73	84,53	86,37	90,68	92	59,88	60,25	93,36	99,36	73,74	77	75,18
70	83,14		89,84		57,66		96,15		72,55		73,31
67	81,76	78,25	89,00	88	55,45	49,62	98,95	107,06	71,37	71,75	71,43
65	80,84		88,44		53,97		100,81		70,58		70,18
64	80,38	64,87	88,16	83,25	53,23	50,75	101,74	115,6	70,18	68,25	69,55
63	79,92	86,57	87,88	89,5	52,49	47,62	102,67	116,5	69,79	63,75	68,93
61	79,00	84,87	87,32	84,75	51,02	40,12	104,54	113,1	69,00	63,75	67,67
Baixo Vigor											
60	78,54		87,04		50,28		105,47		68,60		67,05
55	76,23		85,64		46,58		110,12		66,62		63,92
50	73,93		84,24		42,89		114,78		64,65		60,79
46	72,09	72,25	83,12	85	39,93	37,12	118,51	116,05	63,07	61,5	58,29
45	71,63		82,84		39,19		119,44		62,67		57,66
40	69,32		81,44		35,50		124,09		60,70		54,53
37	67,94	63,75	80,60	83,62	33,28	35	126,89	118,87	59,51	59,25	52,66
35	67,02		80,04		31,81		128,75		58,72		51,4
30	64,71		78,64		28,11		133,41		56,74		48,28
25	62,41		77,24		24,42		138,06		54,77		45,15
20,5	60,34	64,2	75,98	73,5	21,09	28	142,25	133,05	52,99	58,25	42,33
20	60,11		75,84		20,72		142,72		52,79		42,022

Conforme exposto, a variável E.A. pode ser empregada para predizer, com adequada precisão, os valores de condutividade elétrica e de porcentagem de emergência no campo. Neste contexto, tendo por base os resultados de França Neto et al. (2004), na interpretação dos níveis de vigor para o teste de envelhecimento acelerado pode-se empregar a escala descrita na Tabela 9, em que são consideradas sementes de muito alto vigor valores entre 100 a 90% de plântulas normais, de alto vigor valores entre 89,5 a 80%, de médio vigor valores entre 79 a 61% e, por fim, de baixo vigor valores abaixo de 60% plântulas normais.

Especificamente em relação à condutividade elétrica, variável que também apresentou valor elevado no coeficiente de determinação, observa-se que a maior amplitude dos resultados permitiu distinguir, de maneira satisfatória, os lotes em diferentes níveis de vigor (Tabela 9). Tais valores corroboram Viera et al. (2004), os quais destacaram que condutividades inferiores a $70 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ identificam amostras de sementes de soja de alto vigor, ao passo que valores superiores a $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, sinalizam sementes de baixo vigor.

4. CONCLUSÕES

Observou-se, por meio desse estudo, que o teste de classificação do vigor da plântula e a porcentagem de emergência em campo estão intensa, linear e positivamente correlacionados ao teste de envelhecimento acelerado. Em menor grau, porém, ainda de forma elevada, a germinação, a primeira contagem de germinação e a condutividade elétrica também se correlacionaram com o referido teste.

Em relação às análises de regressão linear simples, valores superiores para o coeficiente de determinação foram encontrados para as equações lineares da porcentagem de emergência em campo, classificação do vigor da plântula e condutividade elétrica, indicando que, com elevada precisão, os resultados do teste de envelhecimento acelerado podem ser empregados para predizê-las.

Por fim, uma vez aplicadas a um amplo conjunto de dados de qualidade fisiológica, as equações obtidas constituirão ferramenta auxiliar na interpretação do nível de vigor de lotes de soja, com base no teste de envelhecimento acelerado.

REFERÊNCIAS

- ALBDELNOOR, R. V. Conjuntura econômica da soja e metodologia de avaliação de qualidade. **Qualidade de sementes e grãos comerciais de soja no Brasil – safra 2015/16**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 227 p. (Documentos, 393).
- ARAÚJO, C. E. C. **Efeito de bioestimulantes na qualidade fisiológica de sementes de soja**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal De São João Del Rei, Sete Lagoas, 2017.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS [AOSA]. **Seed Vigor Testing Handbook**. Contribution to the Handbook on Seed Testing, p.32, 1983.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; HIRAKURI, M. H.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASE, H.; RIBEIRO, R. H. Análise da área, produção e produtividade no Brasil em duas décadas (1997-2016). **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 11**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 20 p.
- BARBIERI, A. P. P.; MATTIONI, N. M.; HAESBAERT, F. M.; ANDRADE, F. F.; CABRERA, I. C.; MERTZ, L. M. Teste de condutividade elétrica individual em sementes de soja e a relação com emergência de plântulas a campo. **Interciencia**, v. 38, p. 310-316, 2013.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2.ed. New York: Plenum, 1994. 445 p.
- BERTOLIN, D. C.; DE SÁ, M. E.; MOREIRA, E. R. Parâmetros do teste de envelhecimento acelerado para determinação do vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 1, p. 104-112, 2011.
- BRACCINI, A. L.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; SEDIYAMA, T. Avaliação da qualidade fisiológica e sanitária da semente de genótipos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) com diferentes graus de impermeabilidade do tegumento. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 16, n. 2, p. 195-200, 1994.
- BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395 p.

- BRAZ, M. R., VIEIRA, C. A. (2009). Correlação entre testes para avaliação da qualidade de sementes de girassol e emergência das plântulas em campo. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 2004-2009, 2009.
- BRZEZINSKI, C. R.; ABATI, J.; HENNING, F. A.; HENNING, A. A.; FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; ZUCARELI, C. Spray volumes in the industrial treatment on the physiological quality of soybean seeds with different levels of vigor. **Journal of Seed Science**, v. 39, n. 2, p. 174-181, 2017.
- BOLETIM MENSAL DO BIODIESEL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível, 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/publicacoes/boletins-anp/2386-boletim-mensal-do-biodiesel>>. Acesso em: 22 set. 2017.
- BORNHOFEN, E.; BENIN, G.; GALVAN, D.; FLORES, M. F. Épocas de semeadura e desempenho qualitativo de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 46-55, 2015.
- CALDO, A. O. **Efeito do envelhecimento controlado sobre a qualidade fisiológica de sementes de três variedades de soja** (*Glycine max* (L.) Merrill). Tese de Doutorado 37 p. FMVA/Jaboticabal, 1973.
- CANTARELLI, L. D. **Distribuição espacial e comportamento individual de plantas em função da qualidade fisiológica das sementes, em populações de soja**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2005.
- CARVALHO, L. F.; SEDIYAMA, C. S.; DIAS, D. C. F. S.; REIS, M. S.; MOREIRA, M. A. Teste rápido de condutividade elétrica e correlação com outros testes de vigor. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 239-248, 2009.
- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 3.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 424 p.
- CASTANHEIRA, E. G.; GRISOLI, R.; COELHO, S.; SILVA, G. A.; FREIRE, F. Life-cycle assessment of soybean-based biodiesel in Europe: comparing grain, oil and biodiesel import from Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 102, p. 188-201, 2005.
- CECHINEL, C. A soja além do óleo e do farelo. **Globo Rural**. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/Soja/noticia/2014/04/soja-alem-do-oleo-e-do-farelo.html>>. Acesso em: 05 out. 2017.

- COMELIS, B. D.; MOREIRA, M. E.; RODRIGUES, E. Parâmetros do teste de envelhecimento acelerado para determinação do vigor de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 1, p. 104-112, 2011.
- CONAB. **Acompanhamento de safra brasileira: Grãos - Safra 2016/17**, v.4, n. 11, 2017. (Décimo primeiro levantamento). Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_08_10_11_27_12_boletim_graos_agosto_2017.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2017.
- CONTRERAS, S.; BARROS, M. Pruebas de vigor em semillas de Lechuga y su correlación com emergencia. **Ciência y Investigacion Agrária**, v. 32, n. 1, p. 3-11, 2005.
- COOLBEAR, P. Mechanisms of seed deterioration. In: BASRA, A. S. (Ed.). **Seed quality: basic mechanisms and agricultural implications**. New York: Food Products Press, 1995. p. 223-277.
- COSTA, N. P.; MARCOS FILHO, J.; FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. **Teste de tetrazólio em semente de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Circular técnica, 56).
- CROCKER, W.; GROVES, J. F. A method for prophesying the life duration of seeds. **Proceedings of the National Academic Sciences**, v. 1, p. 152-155, 1915.
- PEREIRA, W. A.; PEREIRA, S. M. A.; DIAS, D.; SANTOS, C. F. Influence of seed size and water restriction on germination of soybean seeds and on early development of seedlings. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 3, p. 316-322, 2013.
- DELOUCHE, J. C. An accelerated aging technique for predicting relative storability of crimson clover and tall fescue seed lots. **Agronomy Abstracts**, v. 40, n. 1, p. 40, 1965.
- DELOUCHE, J. C.; BASKIN, C. C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, v. 1, p. 27-452, 1973.
- DELOUCHE, J. C.; GRABE, D. F. Seed vigor and vigor tests. **The AOSA Newsletter**, v. 32, p. 34-37, 1958.
- DINIZ, F. O.; REIS, M. S.; DIAS, L. A. S.; ARAÚJO, E. F.; SEDIYAMA, T.; SEDIYAMA, C. A. Physiological quality of soybean seeds of cultivars submitted to harvesting delay and its association with seedling emergence in the field. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 2, p. 147-152, 2013.

- FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JUNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.
- FINA, B. L.; LUPO, M.; DRI, N.; LOMBARTE, M., RIGALLI, A. Comparison of fluoride effects on germination and growth of *Zea mays*, *Glycine max* and *Sorghum vulgare*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 11, p. 3679–3687, 2016.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.
- FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. **DIACOM: Diagnóstico Completo da Qualidade da Semente de Soja**. Londrina: Embrapa/CNPSo, 1992. 22 p. (Circular Técnica, 10).
- FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. A importância do uso de sementes de soja de alta qualidade. **Informativo Abrates**, v. 20, n. 1-2, p. 37-38, 2010.
- 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**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82 p. (Documentos, 380).
- FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; COSTA, N.P.; HENNING, A. A.; PÁDUA, G. P.; Adequação da metodologia de testes de vigor para sementes de soja. Resultados de pesquisa da Embrapa Soja-2002: sementes e transferência de tecnologia. Embrapa Soja. 2003. Documentos 211, p.25-32, 2004.
- GARSON, G. D. Statnotes: Topics in Multivariate Analysis. 2009.
- GONÇALVES, N. R.; CICERO, S. M.; ABUD, H. F. Seedling image analysis and traditional tests to evaluate onion seed vigor. **Journal of Seed Science**, v. 39, n. 3, p. 216-223, 2017.
- HENNING, F. A.; MERTZ, L. M.; JACOB JUNIOR, E. A.; MACHADO, R. D.; FISS, G.; ZIMMER, P. D. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v. 69, n. 3, p. 727-734, 2010.
- HIRAKURI, M. H.; LORINI, I. Conjuntura econômica da soja e metodologia de avaliação de qualidade. **Qualidade de sementes e grãos comerciais de soja no**

- Brasil – safra 2015/16.** Londrina: Embrapa Soja, 2017. 227 p. (Documentos, 393).
- KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T. Crescimento inicial de soja em função do vigor de sementes. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, p. 163-166, 2006.
- KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T. Vigor de sementes e competição intra-específica em soja. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1249-1256, 2005.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. Relato dos testes de vigor disponíveis para as grandes culturas. **Informativo ABRATES**, Curitiba, v.1, n.2, p.1-5, 1991.
- KRZYANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A.; COSTA, N. P. **A semente de soja como tecnologia e base para altas produtividades - Série Sementes.** Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Circular técnica, 55).
- KRZYZANOWKI, F. C.; VIEIRA, R. D. Deterioração controlada. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes.** Londrina: ABRATES, 1999. p. 61-68.
- KRZYZANOWSKI, F. C. **A técnica de envelhecimento precoce na avaliação do vigor de sementes de feijoeiro.** Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1974.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes.** Londrina: ABRATES, 1999. 218 p.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B. Vigor de sementes. **Informativo ABRATES**, v. 11, n. 3, p. 81-84, 2001.
- KRYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; HENNING, F. A.; FRANÇA-NETO, J. B.; LORINI, I. Influência do volume de calda e da combinação de produtos usados no tratamento da semente de soja sobre o seu desempenho fisiológico. **Resumos expandidos da XXXIV Reunião de Pesquisa de Soja**, 2014.
- LANTERI, S.; QUAGLIOTTI, L.; BELLETTI, P. Delayed luminescence and priming induced nuclear replication of unaged and controlled deteriorated pepper seeds (*Capsicum annuum* L.). **Seed Science and Technology**, v. 26, n. 2, p. 413-424, 1998.

- LOPES, J. A. M.; PELÚZIO, J. M.; MARTINS, G. S. Teor de proteína e óleo em grãos de soja, em diferentes épocas de plantio para fins industriais. **Revista Tecnológica e Ciência Agropecuária**, v. 10, n. 3, p. 49-53, 2016.
- MARCOS FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999a. Cap. 1. p. 1-21.
- MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999b. Cap. 3. p. 1-24.
- MARCOS FILHO, J. Teste de vigor: dimensão e perspectivas. **SEED News**, v. 15, n. 1, p. 22-27, 2011.
- MARCOS FILHO, J. Importância do potencial fisiológico da semente de soja. **Informativo ABRATES**, v. 23, n. 1, p. 21-24, 2013.
- MARCOS FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, 2015a.
- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2.ed. Londrina: ABRATES, 2015b. 659 p.
- MARCOS FILHO, J.; CICERO, S. M.; SILVA, W. R. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230 p.
- MARCOS FILHO, J.; FRANÇA NETO, J. B. Vigor de sementes: um componente de qualidade em permanente evolução. **SEED News**. v.21, n. 5, p. 42-49, 2017.
- MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A. L. P. Vigor de sementes de rabanete e desempenho de plantas em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 44-51, 2006.
- MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A. L. 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.
- MARTINS, C. C.; UNÊDA-TREVISOLI, S. H.; MÔRO, G. V.; VIERIRA, R. D. Metodologia para seleção de linhagens de soja visando germinação, vigor e emergência em campo. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 47, n. 3, p. 455-461, 2016.
- MARTINS, C. C.; MARTINELLI-SENEME, A.; CASTRO, M. M.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Comparação entre métodos para a avaliação de vigor de lotes de

- sementes de couve-brócolos. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 2, p. 96-101, 2002.
- McDONALD, M. B. A review and evaluation of seed vigor tests. **Proceedings of the Association of Office Analyts**, v. 65, p. 109-139, 1975.
- McDONALD, M. B. Seed deterioration: physiology, repair and assessment. **Seed Science and Technology**, v. 27, p. 177-237, 1999.
- MILOŠEVIĆ, M.; VUJAKOVIĆ, M.; KARAGIĆ, D. Vigour tests as indicators of seed viability. **Genetika**, v. 42, p. 103-118, 2010.
- MOORE, D. S. **The basic practice of statistics**. New York, 2007.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R. D., CARVALHO, N. M. (Ed.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p. 49-85.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. Cap. 2. p. 1-21.
- PEÑALOZA, P.; DURÁN, J. M. Association between biometric characteristics of tomato seeds and seedling growth and development. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 18, n. 4, p. 267-272, 2015.
- PEREIRA, W. A.; PEREIRA, S. M. A.; DIAS, D. C. F. S. Influence of seed size and water restriction on germination of soybean seeds and on early development of seedlings. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 3, p. 316-322, 2013.
- PILL, W. G.; FRETT, J. J.; MORNEAU, D. C. Germination and seedling emergence of primed tomato and asparagus seeds under adverse conditions. **HortScience**, v. 26, p. 1160-1162, 1991.
- POLLOCK, B. M.; ROOS, E. E. Seed and seedling vigor. In: KOSLOWSKI, T. T. (Ed.). **Seed biology**. v.1. New York: Academic Press, 1972. . p. 314-388.
- POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289 p.
- PRIESTLEY, D. A. **Seed ageing**. New York: Comstock Publication Association, 1986.
- RIGO, A. A.; DAHMER, A. M.; STEFFENS, C.; STEFFENS, J.; CARRÃO-PANIZZII, M. C. Characterization of soybean cultivars genetically improved for human consumption. **International Journal of Food Engineering**, v. 1, p. 1-7, 2015.
- RODO, A. B.; PANOBIANCO, M.; MARCOS FILHO, J. Metodologia alternativa do teste de envelhecimento acelerado para sementes de cenoura. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 2 p. 289-292, 2000.

- SANTORUM, M. **Comparison of tests for analysis of soybean seed vigor and its relationship to field emergence**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2011.
- SCHUAB, S. R. P.; BRACCINI, A. L.; FRANÇA NETO, J. B.; SCAPIM, C. A.; MESCHEDE, D. K. Potencial fisiológico de sementes de soja e sua relação com a emergência das plântulas em campo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 553-561, 2006.
- SMITH, M. T.; BERJAK, P. Deteriorative changes associated with loss of viability of store desiccation tolerant and desiccation-sensitive seeds. In: KIEGEL, J.; GALILI, G.; DEKKER, M. **Seed development and germination**. New York, 1995. p. 701-746.
- SULEWSKA, H.; SMIATACZ, K.; SZYMANSKA, G. K.; PANASIEWICZ, K.; BANDURSKA, H.; GLOWICKA-WOLOSZYN, R. Seed size effect on yield quantity of maize (*Zea mays* L.) cultivated in South East Baltic region. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 1, p. 35-40, 2014.
- TEKRONY, D. M. Accelerated ageing test. In: VAN DE VENTER, H. A. (Ed.). **Seed Vigour Testing Seminar**. Copenhagen: ISTA, 1995. p. 53-72.
- TEKRONY, D. M. Precision is an essential component in seed vigor testing. **Seed Science and Technology**, v. 31, p.435-477, 2003.
- TEKRONY, D. M. Accelerated ageing. In: van de VENTER, H. A. (Ed.). **Seed vigour testing seminar**. Copenhagen: ISTA, 1995. p. 53-72.
- TILDEN, R. L.; WEST, S. H. Reversal of the effects of aging in soybean seeds. **Plant Physiology**, v. 77, n. 3, p. 584-586, 1985.
- TOLEDO, M. Z.; FONSECA, N. R.; CÉSAR, M. L.; SORATTO, R. P.; CAVARIANI, C.; CRUSCIOL, C. A. C. Qualidade fisiológica e armazenamento de sementes de feijão em função da aplicação tardia de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, p. 124-133, 2009.
- TOMES, L. J.; TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B. Factors influencing the tray accelerated aging test for soybean seed. **Journal of Seed Technology**, v. 12, p. 24-35, 1988.
- TORRES, R. M.; VIEIRA, R. D.; PANOBIANCO, M. Accelerated aging and seedling field emergence in soybean. **Scientia Agricola**, v. 61, n. 5, p. 476-480, 2004.
- USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Supply and Demand Estimats**. Washington, D.C., 2017.

(WASDE, 560). Disponível em:

<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2017.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Market and trade data**. Washington, D.C., 2017. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline>>. Acesso em: 20 set. 2017.

VANZOLINI, S.; ARAKI, C. A. S.; SILVA, A. C. T. M.; NAKAGAWA, J. Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p. 90-96, 2007.

VANZOLINI, S.; CARVALHO, N. M. Efeito do vigor de sementes de soja sobre o seu desempenho em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2002.

VIEIRA, R. D. Testes de vigor utilizados para sementes de soja no Brasil na atualidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1., Londrina, 1999. **Anais...** Londrina: EMBRAPA/CNPSO, 1999. p. 227-232

VIEIRA, R. D.; KRZYZANOWSKI, F. C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. Cap. 4. p. 1-26.

WETZEL, C. T. **Contribuição ao estudo da aplicação do teste de envelhecimento visando a avaliação do vigor em sementes de arroz (*Oryza sativa* L.), de trigo (*Triticum aestivum* L.) e de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1972.

WOODSTOCK, L. W. Physiological and biochemical tests for seed vigor. **Seed Science and Technology**, v. 1, p. 127-157, 1973.

WOODSTOCK, L. W. Seed vigor. **Seed World**, v. 97, n. 5, p. 6, 1965.

APÊNDICE A - Médias das variáveis: envelhecimento acelerado (E.A.), primeira contagem de germinação (P.C.G.), germinação (GER.), classificação do vigor (C.V.), comprimento da plântula (C.P.), condutividade elétrica (C.E.), emergência final em substrato de areia (E.F.A.), índice de velocidade de emergência (I.V.E.) e porcentagem de emergência em campo (P.E.C.), em relação aos quinze tratamentos.

Tratamentos	E.A.	P.C.G.	Germ.	Germ. ^{/1}	C.V.	C.P.	C.E.	E.F.A.	E.F.A. ^{/1}	I.V.E.	P.E.C.
1	97,50	97,12	98,62	1,46	88,87	15,84	56,34	99,50	1,53	9,55	87,00
2	91,50	95,72	94,12	1,33	71,00	18,84	75,70	98,37	1,46	9,09	85,75
3	91,50	89,12	93,50	1,31	73,25	18,24	71,39	96,75	1,39	9,22	81,75
4	89,50	93,50	96,25	1,37	69,62	21,17	68,29	99,25	1,49	9,24	78,25
5	87,00	97,00	96,50	1,39	73,62	17,90	80,94	98,12	1,45	9,40	77,25
6	73,50	89,00	96,87	1,39	71,25	18,36	82,41	99,25	1,50	9,01	76,00
7	73,00	86,37	92,00	1,28	60,25	12,16	99,36	97,75	1,46	9,36	77,00
8	74,00	77,75	88,25	1,22	58,50	21,15	100,64	94,02	1,32	8,45	73,25
9	67,00	78,25	88,00	1,21	49,62	19,03	107,06	98,50	1,48	9,23	71,75
10	64,00	64,87	83,25	1,15	50,75	15,65	115,60	96,50	1,38	8,54	68,25
11	63,00	86,57	89,50	1,24	47,62	17,30	116,50	98,37	1,48	9,13	63,75
12	61,00	84,87	84,75	1,17	40,12	15,70	113,10	93,37	1,35	8,51	63,75
13	46,00	72,25	85,00	1,17	37,12	18,57	116,05	94,87	1,34	9,13	61,50
14	37,00	63,75	83,62	1,15	35,00	14,64	118,87	98,37	1,48	8,24	59,25
15	20,50	64,20	73,50	1,03	28,00	15,46	133,05	93,87	1,32	8,52	58,25

^{/1}: transformação arco sen $\sqrt{x/100}$.

