



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ELIEGES CARINA BERTUZZI

**GERMINAÇÃO EM TEMPERATURA SUBÓTIMA PARA
DIFERENCIAÇÃO DO VIGOR DE LOTES DE SEMENTES DE
SOJA**

ELIEGES CARINA BERTUZZI

**GERMINAÇÃO EM TEMPERATURA SUBÓTIMA PARA
DIFERENCIAÇÃO DO VIGOR DE LOTES DE SEMENTES DE
SOJA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do Título de Doutora em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Claudemir Zucareli.

Londrina
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

B552g Bertuzzi, Elieges Carina.
Germinação em temperatura subótima para diferenciação do vigor de lotes de sementes de soja / Elieges Carina Bertuzzi. - Londrina, 2022.
86 f. : il.

Orientador: Claudemir Zucareli.
Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2022.
Inclui bibliografia.

1. Glycine max (L.) Merrill - Tese. 2. Vigor - Tese. 3. Germinação a temperaturas subótimas - Tese. 4. Emergência de plântulas - Tese. I. Zucareli, Claudemir . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. III. Título.

CDU 63

ELIEGES CARINA BERTUZZI

**GERMINAÇÃO EM TEMPERATURA SUBÓTIMA PARA
DIFERENCIAÇÃO DO VIGOR DE LOTES DE SEMENTES DE SOJA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do Título de Doutora em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Claudemir Zucareli (Orientador)
Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dra. Carolina Maria Gaspar de Oliveira
Instituto de Desenvolvimento Rural - IDR-Paraná (IAPAR)

Prof. Dr. Geri Eduardo Meneghello
Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. José Henrique Bizzarri Bazzo
Centro Universitário Filadélfia – UniFil

Dra. Maria de Fátima Zorato
MF Zorato Consultoria e treinamentos

Londrina, 09 de maio de 2022.

Dedico

Aos meus pais Ancelmo e Lenir, pela educação, incentivo e sobretudo por terem me ensinado a ter garra e persistência.

Ao meu namorado Jair, pelo amor, compreensão, companheirismo, incentivo e por acreditar junto comigo que era possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **Deus**, pela vida, por iluminar meu caminho, me dando força, saúde e vontade para seguir em frente.

Aos meus pais, Ancelmo e Lenir, aos meus irmãos Leandra, Giovani e Dioni, a minha sobrinha Maria Eduarda que sempre incentivaram e me apoiaram.

Ao meu namorado Jair, por todo seu amor, companheirismo, dedicação e compreensão, sempre estar ao meu lado em todos os momentos, me incentivando e apoiando.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Claudemir Zucareli pela sua confiança, ensinamentos, paciência, dedicação, pelos conselhos e pela amizade.

A Dra. Carolina Maria Gaspar de Oliveira, Pesquisadora no Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IDR-Paraná (IAPAR) - Londrina/PR, por possibilitar a realização de parte da pesquisa no IDR e pelo apoio, ensinamentos e dedicação.

Aos Professores da UEL, que foram grandes mestres nos seus ensinamentos.

A Vilela & Vilela que permitiram realizar parte dos ensaios no laboratório de sementes, em especial ao Edmundo pelo incentivo, amizade e oportunidades de crescimento profissional.

Aos colegas de trabalho da Coopavel, Anderson, Felipe, Patrícia e Mônica, pelo incentivo, compreensão e ensinamentos.

Aos colegas da UEL Marinara, Emanuelli, Marli, José, Mônica, Altamara pelo companheirismo, amizade e auxílio na condução dos experimentos.

Aos estagiários pelo comprometimento e apoio durante as atividades desenvolvidas nesta pesquisa.

Por fim, a todos amigos, mesmo aqueles de longe, que de uma forma ou outra, sempre estiveram ao meu lado, incentivando e apoiando nos bons e maus momentos.

Muito obrigada!!!

Aprenda o máximo que puder com aqueles que sabem mais do que você, que fazem melhor que você, que veem mais claramente do que você. (Dwight Eisenhower)

RESUMO

BERTUZZI, Elieges Carina. **Germinação em temperatura subótima para diferenciação do vigor de lotes de sementes de soja**. 2022. 91f. Tese de Doutorado em Agronomia – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

A semeadura da soja na região Sul do Brasil, principalmente no Paraná, é corriqueiramente antecipada para setembro, prevendo a subsequente cultura de milho. Com isso as sementes são expostas a situações de estresse, de maneira especial por baixas temperaturas. Sementes de elevada qualidade fisiológica, tem uma tendência a suportar as condições adversas. A avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja é essencial em um programa de controle de qualidade e a escolha de testes de vigor com metodologias ajustadas as espécies de interesse é fundamental para a obtenção de resultados confiáveis. O que justifica estes estudos que tiveram como objetivo adequar o teste de germinação a temperaturas subótimas para diferenciação do vigor de lotes de sementes de soja. Para isso foram conduzidos dois estudos, no primeiro foram utilizados 10 lotes comerciais mais um controle, de sementes de uma mesma cultivar, os quais foram caracterizados quanto ao potencial fisiológico inicial. Para o ajuste do teste de germinação a baixa temperatura (TGBT), os lotes foram submetidos a germinação em diferentes temperaturas (16°C; 19°C; 22°C; e 25°C), e avaliado a primeira contagem de germinação (PCG) com cinco dias e finalização com oito dias. No segundo estudo, foram utilizadas sementes soja de seis cultivares e quatro lotes de cada. Foi realizada a caracterização da qualidade fisiológica e o ajuste do teste da germinação a baixa temperatura, seguindo as mesmas metodologias e temperaturas do primeiro estudo. Além disso, foi feita a avaliação das proteínas solúveis totais (PROT) e atividade da enzima catalase (CAT), com extratos de parte aérea e raiz das plântulas das seis cultivares, submetidas germinação nas temperaturas a 16°C e 22°C para avaliar o comportamento germinativo e atividade enzimática de lotes afim de buscar respostas que permita a diferenciação dos lotes em relação vigor, quando submetidos a avaliação pelo teste de germinação a baixa. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, os dados obtidos em cada teste foram analisados separadamente através da análise de variância e as médias dos lotes comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Para PCG, TGBT, PROT e CAT os lotes de cada cultivar, foram comparados dentro de cada

temperatura subótima e as cultivares comparadas entre si. Os lotes foram comparados dentro de cada temperatura subótima e, submetidos a estudo de regressão até 2° a 5% de significância. A TGBT (oito dias) a 19°C e a PCG (cinco dias) a 22°C permitem separar os lotes quanto ao potencial fisiológico. Porém, a TGBT à 22°C, apresentou maiores valores de correlação com emergência à campo. No segundo estudo a germinação a baixa temperatura, a PCG à temperatura de 22°C, e a TGBT nas temperaturas de 16°C e 19°C, permitem estratificar lotes e cultivares de soja quanto ao vigor de sementes, fazendo deste, um teste potencial para avaliação do vigor de sementes de soja. Os genótipos de soja apresentam comportamentos distintos quanto a germinação, proteínas solúveis totais e atividade da enzima catalase em resposta às baixas temperaturas para germinação.

Palavras chave: *Glycine max* (L.) Merril. Vigor. Germinação a temperaturas subótimas. Emergência de plântulas. Potencial fisiológico.

ABSTRACT

BERTUZZI, Elieges Carina. **Germination at suboptimum temperature to differentiate the vigor of lots of soybean seeds**. 2022. 91f. Ph.D. thesis in Agronomy - State University of Londrina, Londrina, 2022.

Soybean sowing in the southern region of Brazil, especially in Paraná, is commonly advanced to September, anticipating the subsequent corn crop. As a result, the seeds are exposed to stress conditions, particularly low temperatures. Physiologically high-quality seeds tend to withstand adverse conditions. Evaluating the physiological potential of soybean seeds is essential in a quality control program, and choosing vigor tests with adjusted methodologies for the target species is crucial for obtaining reliable results. These studies aimed to adapt the germination test to suboptimal temperatures for differentiating the vigor of soybean seed lots. Two studies were conducted. In the first study, ten commercial lots plus a control of seeds from the same cultivar were characterized for initial physiological potential. For the adjustment of the low-temperature germination test (LTGT), the lots were subjected to germination at different temperatures (16°C, 19°C, 22°C, and 25°C), and the first germination count (FGC) was evaluated at five days, with final count at eight days. In the second study, seeds from six soybean cultivars and four lots of each cultivar were used. Physiological quality characterization and adjustment of the low-temperature germination test followed the same methodologies and temperatures as in the first study. Additionally, the evaluation of total soluble proteins (PROT) and catalase enzyme activity (CAT) was performed on shoot and root extracts of seedlings from the six cultivars, subjected to germination at temperatures of 16°C and 22°C, to assess germinative behavior and enzymatic activity of lots and seek answers that allow differentiation of lots in terms of vigor when subjected to evaluation by the low-temperature germination test. The experimental design used was completely randomized, and the data obtained from each test were separately analyzed through analysis of variance. The means of the lots were compared using the Scott-Knott test at a 5% probability level. For FGC, LTGT, PROT, and CAT, the lots of each cultivar were compared within each suboptimal temperature, and the cultivars were compared to each other. The lots were compared within each suboptimal temperature and subjected to regression analysis up to the second degree at a 5%

significance level. The LTGT (eight days) at 19°C and the FGC (five days) at 22°C allow for differentiation of lots in terms of physiological potential. However, the LTGT at 22°C showed higher correlation values with field emergence. In the second study, low-temperature germination, FGC at 22°C, and LTGT at temperatures of 16°C and 19°C allow stratification of soybean lots and cultivars in terms of seed vigor, making it a potential test for evaluating soybean seed vigor. Soybean genotypes exhibit distinct behaviors in germination, total soluble proteins, and catalase enzyme activity in response to low germination temperatures.

Key words: *Glycine max* (L.) Merrill. Vigor. Germination at suboptimal temperatures. Seedling emergence. Physiological potential.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 3.1** – Primeira Contagem da Germinação - PCG (A) e germinação (B) de diferentes lotes de sementes de soja da cultivar BS2606IPRO, em função de diferentes temperaturas (T).48
- Figura 4.1** – Primeira contagem de germinação (PCG) e germinação (TGBT) dos lotes das seis cultivares de soja, em função das temperaturas.70
- Figura 4.2** – Primeira contagem de germinação (PCG) e Germinação (TGBT) de sementes das seis cultivares de soja, em função da temperatura.74

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Caracterização inicial da qualidade fisiológica dos onze lotes de sementes de soja, da cultivar BS2606IPRO, utilizados para os testes de germinação a baixa temperatura, Londrina-PR, 2018.....	44
Tabela 3.2	Valores de quadrado médio da análise de variância para as características de qualidade fisiológicas de sementes de soja, em função da temperatura de germinação e lotes, Londrina-PR, 2018.....	45
Tabela 3.3	Desdobramento dos efeitos simples da interação entre lotes de sementes de soja da cultivar BS2606IPRO e temperatura para as variáveis primeira contagem de germinação e germinação, Londrina-PR, 2018.....	49
Tabela 3.4	Coeficientes de correlação simples entre os parâmetros dos testes de primeira contagem de germinação (PCG) e germinação, nas temperaturas de 16°C, 19°C e 22°C, com os testes de caracterização da qualidade fisiológicas dos 11 lotes da cultivar BS2606IPRO de soja. Londrina, 2019.....	51
Tabela 4.1	Caracterização inicial da qualidade fisiológica dos lotes de sementes de soja, das seis cultivares utilizados no experimento, Londrina-PR, 2019.....	64
Tabela 4.2	Valores de quadrado médio da análise de variância da primeira contagem de germinação (PCG) e germinação a baixa temperatura (TGBT) dos quatro lotes de sementes de seis cultivares de soja, Londrina-PR, 2019.....	67
Tabela 4.3	Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre os lotes de cada cultivar x temperatura para as variáveis primeira contagem de germinação (PCG) e germinação (TGBT) em sementes de soja, Londrina-PR, 2019.....	69
Tabela 4.4	Médias da caracterização inicial de qualidade fisiológica de seis cultivares de soja, Londrina-PR, 2019.....	72
Tabela 4.5	Quadro de análise de variância para as características de	

	qualidade fisiológicas de sementes de soja, em função das temperaturas e cultivares, Londrina-PR, 2019.....	73
Tabela 4.6	Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares x temperaturas para a variável germinação de sementes de soja, Londrina-PR, 2019.....	75
Tabela 4.7	Quadro de análise de variância para as análises de proteína solúvel total e atividade da enzima catalase de plântulas de soja (parte aérea e raiz), em função das temperaturas de germinação e cultivares, Londrina-PR, 2021.....	76
Tabela 4.8	Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa temperatura x cultivar para as variáveis Proteína Parte Aérea (Prot-PA); Catalase Parte Aérea (CAT-PA); Proteína Raiz (Prot-Raiz); Catalase Raiz (CAT-Raiz), Londrina-PR, 2021.	77

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 ASPECTOS GERAIS E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA CULTURA DA SOJA.....	14
2.2 BAIXAS TEMPERATURAS NO PROCESSO DE GERMINAÇÃO DE SEMENTES E ESTABELECIMENTO DE PLANTAS.....	16
2.3 ECOFISIOLOGIA DA SOJA	18
2.4 PROCESSOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS QUE ENVOLVEM QUALIDADE DE SEMENTES.....	23
2.4.1 Importância das Sementes	23
2.4.2 Qualidade de Sementes	24
2.4.2.1 Testes para avaliação do vigor.....	24
2.4.2.2 Germinação a baixa temperatura	26
2.4.3 Enzimas Antioxidantes	28
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30
3 ARTIGO A - EFICÁCIA DO TESTE DE GERMINAÇÃO A BAIXA TEMPERATURA PARA CLASSIFICAÇÃO DE LOTES DE SEMENTES DE SOJA QUANTO AO VIGOR	37
3.1 RESUMO	37
3.2 INTRODUÇÃO	39
3.3 MATERIAL E MÉTODOS	41
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
3.5 CONCLUSÕES	52
3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
4 ARTIGO B - COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE SOJA NA AVALIAÇÃO DE VIGOR DE SEMENTES PELO TESTE DE GERMINAÇÃO A BAIXA TEMPERATURA	57
4.1 RESUMO	57
4.2 INTRODUÇÃO	59

4.3 MATERIAL E MÉTODOS	61
4.3.1 Caracterização Inicial da Qualidade Fisiológica das Sementes	61
4.3.2 Germinação Sob Baixa Temperatura para Avaliação de Vigor das Sementes	65
4.3.3 Atividade Enzimática das Plântulas de Soja.....	65
4.3.4 Delineamento Experimental	66
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.5 CONCLUSÕES	80
4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
5 CONCLUSÕES GERAIS	86

1 INTRODUÇÃO

O mercado brasileiro de sementes é dinâmico, forte e em constante evolução, movimentando a economia, liderado pelo milho e soja, que representam a maior parte deste mercado, seguido pelas demais grandes culturas como trigo, algodão e arroz, depois forrageiras, hortaliças e sementes de plantas ornamentais. As novas tecnologias agregadas às sementes tem aumentado o valor dessa matéria prima, impactando no custo de produção total e, por conta disso, informações sobre a qualidade das sementes adquiridas se tornaram mais relevantes.

A rotação e sucessão de culturas, com múltiplas safras em um único ano agrícola, contribuiu significativamente para alavancar a produção com resultados satisfatórios de produtividade. Uma das práticas de manejo utilizadas na região Sul e Centro Oeste do Brasil, principais regiões produtoras, é a antecipação da semeadura da soja visando o cultivo de uma segunda safra com a cultura de milho, algodão, entre outras. No entanto, essa prática pode e tem coincidido com períodos de frio na semeadura e menor temperatura de solo, prejudicando a fase inicial da cultura, especialmente na região Sul. Esse fato tem causado atrasos na emergência de plântulas, desuniformidade de estande e menor crescimento inicial da planta, podendo afetar o rendimento da cultura.

No cenário agrícola de expansão de área e produtividade e ocorrência mais frequentes de estresses abióticos, o mercado de sementes é extremamente relevante. A semente, além de carregar tecnologia e toda a carga genética da cultivar, tem na qualidade fisiológica um dos principais limitantes para a obtenção de adequados estandes e altos rendimentos de grãos, principalmente sob condições adversas. Para minimizar riscos e atender a demanda do agricultor, é necessário investir na produção de sementes com elevada qualidade para suportar os estresses que ocorrem durante a implantação da cultura no campo.

O teste de germinação é o mais utilizado para avaliação da qualidade dos lotes de sementes. Porém, esse teste é realizado em condições controladas de umidade, temperatura, luz e aeração, que são os ideais para o máximo desempenho fisiológico, mas nem sempre os resultados de uma alta germinação, obtida no laboratório, irá refletir em um excelente desempenho de campo, não sendo eficaz para classificação dos lotes quanto ao vigor. A AOSA (Association of Official Seed Analysts) e a ISTA (International Seed Testing

Association), conceituaram o vigor como “[...] o conjunto de características da semente que determinam o potencial para emergência rápida e uniforme de plântulas normais sob ampla diversidade de condições de ambiente” (MARCOS-FILHO, 2017).

Neste contexto, é fundamental aperfeiçoar as avaliações de vigor das sementes para conhecer o potencial fisiológico dos lotes e ter segurança na tomada de decisão. Os testes de vigor tornaram-se indispensáveis, pois permitem prever o desempenho dos lotes de sementes no campo. Aprimorá-los para atender as particularidades dessa dinâmica de produção e mercado tem se tornado um desafio para sementeiros e pesquisadores. Os testes de vigor mais utilizados em sementes de soja, preconizam o estresse por alta temperatura e umidade, como no caso de envelhecimento acelerado, e integridade das membranas, que é representado por testes como condutividade elétrica e lixiviação de potássio.

Lotes com capacidade de germinação semelhante, porém diferindo quanto ao vigor, têm demonstrando que sementes mais vigorosas expressam a germinação numa ampla faixa de temperatura, enquanto que as menos vigorosas necessitam de temperatura ideal da espécie para concluir o processo de germinação e emergência, principalmente em locais com histórico de ocorrência de temperaturas mais baixas no período de semeadura.

O teste de germinação à baixa temperatura, é uma alternativa para estudar vigor de sementes. Em condições de estresse térmico pode ocorrer alteração da germinação, redução da velocidade de emergência, injúrias radiculares e menor alongação de hipocótilo.

Alguns trabalhos mostram a eficiência deste teste para algodão, milho, sorgo e outras culturas de verão, porém a resposta em relação a temperatura subótima e o tempo de avaliação, varia entre as espécies, o que restringe a extrapolação do uso do teste para outras culturas (MARCOS-FILHO, 2015a). É necessário padronizar em qual temperatura a germinação se correlaciona com emergência de plântulas em campo, e o tempo de avaliação, além disso, a validação deve ser realizada com várias cultivares, uma vez que pode ocorrer interações entre genótipo-ambiente.

O objetivo deste estudo é padronizar e validar os testes de germinação a baixa temperatura, para avaliar o vigor de sementes de lotes e cultivares de soja e estimar o desempenho em condições de campo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ASPECTOS GERAIS E IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA CULTURA DA SOJA

A população planetária é crescente e em 2017 atingiu o número de 7,9 bilhões de pessoas, com previsão de chegar a 8,6 bilhões em 2030 e ultrapassar a casa de 9,7 bilhões até 2050 (ONU, 2019; WORLDOMETERS, 2021). O Brasil é relevante para garantir a segurança alimentar mundial no planejamento da FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). A soja desempenha importante papel na cadeia alimentar como principal fonte de gordura vegetal e de proteínas, elementar para alimentação animal e seus subprodutos como farelo e torta de soja, compõe a ração para a engorda de suínos, bovinos e frangos. Ainda, está presente em uma gama de produtos alimentícios que vão direto para a mesa do consumidor (APROSOJA BRASIL, 2018).

Segundo a United States Department of Agriculture - USDA (2021), a previsão da safra 2021/2022 para produção mundial de soja é de 384,0 milhões de toneladas em uma área de 131,5 milhões de hectares, isso representa uma produtividade média de 2,92 toneladas por hectare, sendo que Brasil, Estados Unidos e Argentina são os principais produtores, respectivamente, somando mais de 81% da soja produzida no mundo. Com os resultados das últimas safras, o Brasil se tornou o maior produtor mundial e maior exportador mundial de soja.

Segundo a CONAB (2021), a produção Brasileira de soja foi de 137,3 milhões de toneladas, representando 37,5% no cenário mundial, em uma área cultivada de 38,5 milhões de hectares, com produtividade média de 3,5 toneladas por hectare, um pouco à frente dos Estados Unidos, segundo maior produtor mundial, que teve uma produtividade de 3,4 toneladas por hectare (USDA, 2021; EMBRAPA, 2021).

Neste panorama, a grande expansão territorial, aliada ao desenvolvimento de tecnologias de produção para resultar no aumento da produtividade, tem favorecido o país, que a cada safra incrementa sua participação no mercado internacional de *commodity* agrícolas, das quais a principal é a soja. Foram exportados em grãos mais de 81 milhões de toneladas, mais 14,2 milhões de toneladas em farelo e 1,3 milhões de toneladas em óleo de soja processado

(CONAB, 2021; USDA, 2021). Isso movimenta no mercado financeiro valores superiores a U\$ 31 bilhões, portanto, é um dos produtos de maior importância econômica e de grande relevância social, visto que é responsável por 7,5 milhões de postos de trabalho (PESKE; BASSO, 2017).

Para atender essa demanda de produção de grãos numa agricultura dinâmica e moderna, a utilização de sementes com alto desempenho é um dos fatores para o sucesso. O mercado de sementes vem se aperfeiçoando na melhoria da qualidade, uma vez que a semente é o insumo básico e vital para o sistema de produção agrícola. Na safra de 2020/2021, mais de 2,6 milhões de hectares foram inscritos como campos de produção de sementes de soja no Brasil, estimando uma produção bruta de aproximadamente 11,7 milhões de toneladas de sementes (BRASIL, 2021), para atender uma demanda de mais 1,7 milhões de toneladas.

Mesmo com a oferta de produto no mercado, a taxa de utilização de sementes é próxima a 67% para a cultura da soja (ABRASEM, 2020). Esse baixo percentual de utilização impacta na manutenção do potencial competitivo da agricultura brasileira. É importante ressaltar, que o investimento na aquisição de sementes tem sua compensação monetária, pelo uso de um insumo com melhor segurança fitossanitária, qualidade fisiológica, pureza física e capacidade de atingir o potencial produtivo preconizado pela genética do material escolhido (RODRIGUES; CAMPANTE; BARRETO, 2016).

A semente tem assumido maior relevância no processo de produção de grãos, devido a sua importância tecnológica, uma vez que esta carrega um potencial produtivo, adventos da introdução de organismo geneticamente modificados, resistência às doenças e nematoides, ciclos variados para atender aos diversos sistemas e planejamentos de produção, além da ampla adaptabilidade ao clima, entre outros. Há outras tecnologias aderidas as sementes, como os tratamentos industriais, que movimentam um grande valor de mercado na indústria química e biológica (ZORATO, 2017; WENDT et al., 2017).

Grande parte dos fatores citados contribuíram para que o agricultor passasse a exigir elevada qualidade das sementes, não somente de germinação, mas sobretudo de vigor. Sendo assim, o mercado tem buscado um aprimoramento nos programas de controle de qualidade, demandando de mais pesquisas, para obter respostas que atendam suas necessidades e solucionem problemas ocorrentes, para atuar de forma preventiva, procurando não deixar brechas para

reclamações de qualidade (PESKE e PESKE, 2011).

É importante estudar o desempenho fisiológico de sementes de soja frente as condições de temperaturas baixas em um dos períodos mais sensíveis da cultura, que vai da germinação das sementes até o estabelecimento das plântulas. A temperatura, assim como, a condição hídrica do solo influencia no desempenho fisiológico e bioquímico da semente e da plântula, com possíveis reflexos no rendimento de grãos (AUMONDE et al., 2017). Tendo em vista, que na região Sul do Brasil, principalmente no Estado do Paraná, é corriqueira a antecipação se semeadura da soja para início de setembro, prevendo a subsequente cultura de milho, as sementes são expostas a essas situações de estresse, de maneira especial por baixa temperatura.

Neste contexto, pode ser significativo, validar mais uma opção de teste para avaliação de vigor em soja, visando regiões que tem semeadura antecipada, coincide com períodos de frio.

2.2 BAIXAS TEMPERATURAS NO PROCESSO DE GERMINAÇÃO DE SEMENTES E ESTABELECIMENTO DE PLANTAS

A temperatura atua como um dos controladores da germinação, é considerada ótima, quando proporciona à semente expressar seu máximo potencial, mensurado através da velocidade e percentual de germinação. Está especialmente ligada ao fato de que a temperatura altera a velocidade de absorção de água e modifica o tempo das reações químicas que irão mobilizar ou degradar as reservas armazenadas e a síntese de outras substâncias e hormônios necessários para a retomada de crescimento (BEWLEY; BLACK, 1994; SUZUKI et al., 2014). As temperaturas altas, ou ideais (entre 20°C e 30°C), provocam um aquecimento da água, com isso, aumenta a energia livre desta, resultando em um aumento de pressão de difusão da água, facilitando a absorção pela semente, enquanto nas temperaturas baixas, a absorção é dificultada pela diminuição da fluidez das membranas. É importante ressaltar que a amplitude e os valores absolutos variam para cada espécie (LIPTAY; SCHOPFER, 1983).

Nas plântulas as baixas temperaturas podem ocasionar rigidez nas membranas, que afeta a permeabilidade e, em situações extremas, levar ao congelamento da água no interior das células, formando cristais de gelo nos

apoplastos. Essa condição diminui o potencial hídrico, fazendo com que água não congelada se mova do interior da célula para os espaços intracelulares onde há formação dos cristais de gelo, causando desidratação, com isso a membrana se contrai e afasta-se da parede celular. Quanto mais baixa a temperatura mais drástico e irreversível é o dano causado. Nas condições ambientais de campo, esse fato pode ocorrer com presença de geadas, no entanto o esfriamento, que considera temperatura subótimas para o desenvolvimento da cultura, diminui a fluidez das membranas afetando complexos multiproteicos e fluxo de elétrons, dificultando as biossínteses fundamentais para realização da fotossíntese (DUKE; SCHRADER; MILLER, 1977; ATKINSON; URWIN, 2012; TAIZ et al., 2017).

A classificação das plantas em estivais e hibernais, por exemplo, está ligada a essa necessidade de calor para o desenvolvimento, além disso, todas as espécies e suas variabilidades de genótipos, tem uma temperatura mínima, ótima e máxima, ou seja, abaixo da mínima e acima da máxima, os processos metabólicos e fisiológicos podem não ocorrer (FLOSS, 2006). Entretanto, se esta condição estiver abaixo da ideal, mas acima da mínima irá retardar a emergência e induzir a formação de plântulas menores, além de prejudicar o desenvolvimento inicial. Esses efeitos da baixa temperatura tendem a diminuir ou serem superados se as sementes apresentarem alto vigor, que pode ser avaliado submetendo os lotes as mesmas condições de estresse que encontrariam no campo (SANTOS; ZONETTI, 2009).

As plantas cultivadas são continuamente expostas a diferentes tipos de estresse, tal como seca, calor, salinidade, frio, congelamento, luminosidade, déficit de nutrientes, pragas, patógenos entre outros, conhecidos como fatores abióticos e bióticos. No entanto, na maioria das vezes, eles ocorrem em combinações simultâneas, exigindo uma maior atuação de defesa da planta, consumindo suas energias de reserva e afetando o desenvolvimento e a produtividade (SUZUKI et al., 2014).

Os vegetais possuem mecanismos sensores de estresses que sinalizam as mudanças nas condições do ambiente e ativam as reações de proteção às situações de alteração. Estudos têm mostrado que existem respostas específicas para tolerar um único tipo de estresse ou combinações destes, como déficit hídrico e temperatura, porém são de alta complexidade e variabilidade de acordo com a espécie ou até mesmo a cultivar (SUZUKI et al., 2014; TAIZ et al., 2017). Conhecer os genes que atuam nessas reações e criam rotas alternativas para suportar estas

condições abióticas, tem sido um grande desafio, mas é importante para o melhoramento genético desenvolver cultivares adaptadas às condições climáticas singulares, como por exemplo a ocorrência de temperaturas baixas no momento da germinação e no estabelecimento de plantas para espécies de verão (ATKINSON; URWIN, 2012).

O crescimento e o desenvolvimento de uma planta dependem das suas atividades metabólicas e fisiológicas que, por sua vez, precisam de condições ambientais adequadas de água, luz, oxigênio e temperatura, sendo esta última, considerada como temperatura do ambiente. Há também a definição de temperatura da planta que é a diferença entre a quantidade de calor recebido, através da energia solar, e a quantidade de calor perdida em um determinado período de tempo (FLOSS, 2006).

Segundo Oliveira (2018) a condição fisiológica das sementes irá determinar a influência da temperatura nos seus processos metabólicos. Ou seja, o grau de maturidade ou o progresso da deterioração, afetará tanto o porcentual de germinação como também a velocidade e o sincronismo, por estar estritamente relacionada com as reações bioquímicas essenciais no processo germinativo (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Sbrussi e Zucareli (2014) verificaram ao pesquisar a interferência da temperatura na germinação de milho, que a temperatura subótima (16°C) afetou o desenvolvimento das plântulas com ausência de plântulas normais, e também que temperaturas supra ótimas (acima de 37°C) foram drásticas para o desempenho de lotes de sementes, apresentando um decréscimo no potencial germinativo. Com isso concluíram que as temperaturas baixas retardam a germinação e as altas aceleram o estresse oxidativo, no entanto foi possível observar que os lotes caracterizados com vigor alto tiveram maior desempenho germinativo em todas as temperaturas.

2.3 ECOFISIOLOGIA DA SOJA

A imprevisibilidade e a variabilidade climática interferem diretamente nos sistemas produtivos, afetando o rendimento de grãos. Os estudos voltados à fisiologia de plantas e a interação com solo e ambiente, procuram manejos mais eficientes, como ajustes de época de semeadura para locais e cultivares específicos, visando amenizar esses impactos e diminuir os riscos inerentes à produção

(FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007; BORNHOFEN et al., 2015).

Um aspecto que pode atenuar as interferências climáticas é o uso do sistema de rotação e sucessão de culturas, pois tem ação física, química e biológica sobre o solo através do incremento de matéria orgânica, fazendo com que melhore a retenção e capacidade de armazenamento de água no solo, reduz as oscilações de temperaturas do solo, bem como aumenta a eficiência na disponibilização de nutrientes para as plantas. Dentre as possibilidades de rotação e sucessão, sem dúvida, a mais utilizada é soja/milho, nem sempre a mais adequada e recomendada pela pesquisa, porém é a com maior rentabilidade imediata (FRANCHINI et al., 2011).

A cultura da soja é influenciada, principalmente, pela temperatura, fotoperíodo e pelo estresse hídrico, por serem fatores com maior dificuldade de controle, já que as características de solo podem, com o tempo, serem manejadas e adequadas as condições próximas das ideais. A ação direta dos fatores ambientais como: luz, temperatura, água, gás carbônico, nutrientes e presença de doenças e pragas, que são considerados fatores externos, afetam diretamente o processo fotossintético. Além destes, há os fatores externos de ação indireta que também contribuem nesse processo, alguns deles são a latitude, longitude, topografia, textura e composição do solo, entre outros (FLOSS, 2006).

A temperatura atua como fator limitante da fotossíntese, sejam altas ou baixas, geram um efeito direto no balanço de carbono da planta. As espécies vegetais possuem limites inferiores e superiores de temperatura nas quais ainda são capazes de realizar fotossíntese, de modo geral é entre 5°C a 35°C. Para soja a temperatura considerada ótima está situada entre 20°C e 30°C, temperaturas superiores ou inferiores a essas, afetam a integridade de membranas dos cloroplastos, influenciando todas as reações bioquímicas da fotossíntese, resultando na redução da fotossíntese líquida (LARCHER, 2000; TAIZ et al., 2017).

Conforme a temperatura diminui, a velocidade das reações químicas também diminui, como consequência, terá menos energia metabólica disponível, a absorção de água e de nutrientes é restringida, os processos de biossíntese ocorrem em menor intensidade, a assimilação de carbono é reduzida e, em situações extremas, o crescimento é interrompido (LARCHER, 2000; FLOSS, 2006; DELLAGOSTIN et al., 2017).

As temperaturas baixas deixam as biomembranas rígidas, afetando

a sua fluidez, o que demanda mais energia para realizar os processos bioquímicos, também prejudica a disponibilização de fosfato no cloroplasto, limitando a fotossíntese, especialmente nas plantas classificadas em C3, dentre elas a soja (TAIZ et al., 2017).

Por outro lado, altas temperaturas causam alterações no estado físico-químico das biomembranas e na conformação das moléculas de proteína. Em decorrência desse estresse, a planta induz o fechamento dos estômatos como um dos mecanismos de defesa para diminuir a perda de água da planta, limitando a entrada de CO₂ para o processo da fotossíntese. Como consequência, diminui a concentração de CO₂ no interior das células, a enzima Rubisco começa a se ligar com o O₂ ativando a fotorrespiração. Quanto maior o tempo de exposição e essas condições ambientais, pior são os efeitos, pois diminui o fluxo de água na planta e com isso afeta a absorção de nutrientes, causa danos por oxidação nas células e em estágios mais avançados, a desnaturação de proteínas, levando a morte dos tecidos vegetais (LARCHER, 2000; DELLAGOSTIN et al., 2017, TAIZ et al., 2017).

Há uma amplitude térmica ideal para o desenvolvimento da soja, sendo os extremos influenciadores na produtividade e na qualidade, pois afetam a composição química do grão ou sementes (ÁVILA; ALBRECHT, 2010; TAIZ et al., 2017).

Para germinação das sementes de soja, a temperatura ideal do solo é de 25°C, porém ocorre de forma satisfatória na faixa de 20°C a 30°C. Quando a germinação ocorre em condições de temperatura baixa e essa condição se prolonga nos estádios iniciais, emergência das plântulas é retardada e pode causar anomalias, como deformação nas folhas e no ápice de crescimento, fazendo com que as plantas apresentem estatura reduzida (DELLAGOSTIN et al., 2017).

A disponibilidade de água também é um dos fatores abióticos de extrema importância na germinação das sementes. O primeiro evento que ocorre na germinação é a embebição, descrito como um processo físico da entrada de água em tecidos vivos ou mortos comumente conhecida como fase I deste processo. Durante a germinação o que diferencia as sementes vivas é a emissão da radícula, ao final da fase II, dando início a fase III, ou seja, ocorre a reativação do metabolismo do eixo embrionário que culminará com a emissão da raiz primária e o desenvolvimento da plântula, respectivamente (MARCOS-FILHO, 2015a).

O processo de absorção de água depende do potencial hídrico e do

potencial mátrico. O primeiro é a energia livre que está relacionada à água disponível, e o segundo é a habilidade da superfície matricial de hidratar e reter água. Esse processo envolve coesão e adesão quando se trata da relação água-água, diferente da relação água-solo, na qual esse processo é conhecido como força de capilaridade e de adsorção. Porém, ambas dependem do potencial osmótico que é determinado pela concentração de solutos presentes na água (TAIZ et al., 2017).

Todos esses princípios influenciam na fase inicial de emergência de plântulas, além disso, deve-se levar em consideração a temperatura do solo, sendo esta regulada, em partes, pela radiação solar e pelo conteúdo de água do solo. A água mantém e retém a temperatura do solo homogênea, sua presença interfere no tempo que o solo vai levar para esfriar ou para esquentar prolongando este período em relação ao solo seco que aquece e resfria rapidamente, isso explica por que em solo úmido diminui a incidência de geadas (FINCH-SAVAGE; BASSEL, 2016).

As temperaturas elevadas aumentam a taxa de respiração nas sementes, isso acelera a deterioração e se intensifica conforme o período de tempo que ficam expostos a estas condições. Outro agravante é que normalmente a alta temperatura vem acompanhada de déficit hídrico, comprometendo ainda mais o desempenho das sementes (FLOSS, 2006).

De forma geral, a soja tem boa adaptabilidade, a condição de temperatura ideal para seu desenvolvimento é entre 20°C e 30°C, podendo suportar por curtos períodos, uma amplitude muito maior, com variações mínimas de até 10°C e máximas de 40°C. Fora das faixas ideais a temperatura pode interferir nas taxas de crescimento e desenvolvimento e nos fatores de produtividade (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007; ÁVILA; ALBRECHT, 2010;). O quão forte isso irá influenciar, dependerá de qual estágio a planta está e a duração do período de estresse, e ainda, se houver outro fator limitante concomitante com a temperatura, como déficit hídrico, por exemplo (DANTAS et al., 2000).

O fotoperíodo, juntamente com a temperatura e a disponibilidade hídrica são importantes para o desenvolvimento da cultura da soja, e estes podem provocar alterações qualitativas e quantitativas ao longo do ciclo. A soja apresenta sensibilidade ao fotoperíodo, é uma espécie de dias curtos, e esta é também uma característica genética que pode se expressar de maneira diferente entre as cultivares, sendo um fator que limita que uma cultivar tenha o mesmo

comportamento e desempenho em regiões com condições edafoclimáticas distintas (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007; BORNHOFEN et al., 2015).

Existem alguns subperíodos que a soja é incapaz de perceber esses sinais. No entanto, entre os estádios de V2 até o florescimento, está mais propensa a responder a essa sensibilidade, com estímulo a indução da transformação meristemática e diferenciação dos primórdios florais. Para as cultivares menos sensíveis ao fotoperíodo, a indução para a diferenciação é influenciada pela temperatura e mensurada em graus-dia. No entanto, para ambas as situações, é importante conhecer as necessidades hídricas em cada fase da cultura (RODRIGUES et al., 2001).

Um dos fatores de manejo que interferem nas diferenciações morfológicas é a época de semeadura. A determinação desse período indica em que época do ano, com base em históricos climáticos, ocorrerão os principais eventos de diferenciação na planta, passando da fase juvenil para fase adulta e reprodutiva (GAZOLLA NETO; BAGATELI; GADOTTI, 2015; MONDO; NASCENTE, 2017). Segundo Oliveira (2010) e Amorim et al. (2011) a época da semeadura pode alterar a arquitetura e o comportamento da planta, influenciando na área foliar disponível para fazer fotossíntese e acúmulo de reservas para transferir para o grão, conseqüentemente, pode causar redução drástica no rendimento. Essa condição, além de significar menor fonte de reserva, pode impactar no índice de perca na colheita, pois a inserção de vagem pode ser baixa ou ocorrer acamamento e dificultar a operação mecânica.

A resposta dos vegetais a um ambiente adverso afeta suas propriedades de crescimento e desempenho, pois a produtividade está intimamente ligada com as condições bióticas, abióticas e o manejo empregado. Contudo, os agricultores preferem optar pela antecipação da semeadura nas regiões onde há zoneamento climático para o milho de segunda safra, mesmo sabendo que isso poderá prejudicar o rendimento (SCHEEREN, 2010; BORNHOFEN et al., 2015). Por outro lado, o melhoramento genético tem buscado oferecer materiais mais precoces, que se adaptam a essas condições, no entanto, as recomendações de semeadura para a região Sul, ainda permeiam entre início de outubro e meados de novembro.

Na prática, a abertura de semeadura tem ocorrido a partir de 15 de setembro, antecipando em aproximadamente um mês da época recomendada porque, desta forma propicia a colheita antecipada da soja para a semeadura do

milho. Isso tem acontecido, sobretudo nas regiões mais quentes, como Oeste, Noroeste e Norte do Paraná e no Brasil Central. Porém, em algumas safras, pode coincidir com períodos chuvosos e de baixa temperatura, o que seria uma condição estressante e prova de resistência para a semente (MIELEZRSKI; PESKE, 2018).

2.4 PROCESSOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS QUE ENVOLVEM QUALIDADE DE SEMENTES

2.4.1 Importância das Sementes

O ciclo de vida de uma planta de reprodução sexuada inicia-se e termina na semente, que é o meio de sobrevivência de mais de 70% das espécies vegetais, ou seja, a sucessão de gerações que permanece viável após a senescência da planta mãe. A agricultura e as civilizações evoluíram, de maneira simultânea, com a participação ativa das sementes. Carregam consigo habilidades e estratégias de sobrevivência que até hoje a ciência tem dificuldade de explicar, em especial, as não domesticadas, como as plantas daninhas (MARCOS-FILHO, 2015a).

Para a botânica grãos e sementes não se diferem, no entanto, a legislação define como semente o material destinado a reprodução com finalidade específica de semeadura (SILVA, 2017). Para que possa exercer com maestria essa finalidade, tornando-se uma planta adulta, vigorosa e produtiva, deve atender ao conceito de sementes de alta qualidade, o qual preconiza que ela possua todos os atributos de qualidade: genética, física, fisiológica e sanitária. Sendo assim, precisa ter, principalmente, altas taxas de vigor e germinação que lhe conferem a garantia de um desempenho superior da semente no campo, propiciando o sucesso para uma lavoura tecnicamente bem instalada, com o estabelecimento da população de plantas adequada, contribuindo para o alcance de altos níveis de produtividade (KOLCHINSKI; SCHUCH; PESKE, 2006; KRZYZANOWSKI; FRANÇA NETO; HENNING, 2018).

Desse modo, a semente pode ser considerada a principal matéria prima agrícola e vem tendo cada vez mais importância por ser protagonista das inovações tecnológicas, tendo seu valor agregado através do potencial genético produtivo, dos eventos de transgenia e do tratamento industrial de sementes. Isso reflete tanto na produção de grãos como na produção de sementes, exigindo o

desenvolvimento de técnicas e programas de controle de qualidade, para regulamentar o mercado e assegurar o desempenho na instalação das lavouras (KRZYZANOWSKI; FRANÇA NETO; HENNING, 2018).

2.4.2 Qualidade de Sementes

Quando se afirma que a qualidade de semente se origina no campo de produção, não desmerece a fundamental relevância que tem os programas de verificação de qualidade dentro das empresas de multiplicação de sementes e melhoramento genético. Hoje o laboratório tem um papel crucial na segurança da qualidade das sementes entregue ao produtor, para isso, precisa de pessoas treinadas e capacitadas para aplicar as metodologias de análises de sementes, ter senso crítico e saber interpretar e correlacionar os resultados (KRZYZANOWSKI et al., 2008; ZORATO, 2017).

Toda a dinâmica que envolve a produção de sementes, tem aumentado a necessidade do pessoal de laboratório trabalhar alinhado com o departamento técnico de produção e estar por dentro do que acontece a nível de campo, para saber as origens de situações adversas e inesperadas que podem ocorrer nos testes. Aliado a isso vem a indispensabilidade de fazer mais de um teste para determinar a viabilidade e o vigor de um lote, dentre os mais utilizados estão: germinação, o tetrazólio, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, comprimento de plântulas, teste de frio, emergência em solo ou areia, entre outros (FRANÇA NETO et al., 2007; ZORATO, 2018).

A escolha do teste de vigor que demonstra maior sensibilidade na diferenciação do potencial fisiológico, assim como no desempenho de um lote, permite estabelecer uma relação entre germinação e vigor no processo de deterioração das sementes, uma vez que uma pequena diferença na porcentagem de germinação poderá representar uma alteração significativa no processo de deterioração (TILLMANN e MENEZES, 2012).

2.4.2.1 Testes para avaliação do vigor

O teste de germinação pode superestimar o potencial fisiológico das sementes por não avaliar a sua interação com o ambiente, uma vez que é realizado

nas condições ideais para a semente expressar o máximo potencial fisiológico (GRZYBOWSKI, 2012; SOUZA et al., 2014). Portanto o uso do teste germinação, na maioria das vezes, não permite a diferenciação qualitativa, que propicia a ordenação hierárquica dos lotes, baseadas no potencial fisiológico.

As pesquisas em tecnologias de sementes têm se aprimorado nos últimos anos para espécies amplamente produzidas no país, como soja, milho, trigo, arroz, algodão, sementes de hortaliças entre outras de grande importância econômica. Neste sentido, muitos esforços estão concentrados para padronizar testes de vigor que reúnam informações mais seguras para diferenciar o potencial fisiológico de lotes de sementes e que estes apresentem alta correlação com a emergência a campo (MATTIONI; ALBUQUERQUE; MENDONÇA, 2009; MARCOS-FILHO, 2015b; GRZYBOWSKI; VIEIRA; PANOBIANCO, 2015).

Considerando que a soja é cultivada em todos as regiões do Brasil e que o ambiente de cultivo exerce forte influência desde a semeadura até a produtividade final, e o estabelecimento de plantas apresenta-se como uma fase de extrema importância para obtenção de um estande adequado, por este motivo, a pesquisa tem efetuado estudos para desenvolver métodos que permitam a avaliação do vigor dos lotes de sementes (ÁVILA; ALBRECHT, 2010).

De acordo com McDonald (1975), os testes de vigor podem ser classificados como físicos, fisiológicos, bioquímicos e de resistência a estresse. Os testes físicos avaliam características morfológicas ou físicas das sementes que possam estar associados ao vigor, tais como tamanho, densidade, coloração das sementes e teste de raio X. Os fisiológicos baseiam-se em atividades fisiológicas específicas que tenham sua manifestação dependente do grau de deterioração das sementes, podendo-se citar: testes de classificação do vigor de plântulas, primeira contagem de germinação, velocidade de germinação ou de emergência de plântulas. Os bioquímicos avaliam as mudanças bioquímicas relacionadas ao vigor das sementes; entre eles estão os testes de tetrazólio, condutividade elétrica e lixiviação de potássio. Por fim, os testes de resistência ao estresse analisam o comportamento das sementes quando expostas à condições desfavoráveis do ambiente, com destaque para os testes de envelhecimento acelerado, deterioração controlada, frio, germinação a baixa temperatura e submersão em água (TILLMANN e MENEZES, 2012; MARCOS-FILHO, 2015a).

O teste de frio, padronizado para a cultura do milho, tem sido

utilizado, principalmente nos Estados Unidos da América e Europa para outras espécies como soja, feijão, algodão e ervilha (AOSA, 1983). Os resultados permitem a diferenciação de lotes, devido a sua sensibilidade em prognosticar o desempenho das sementes no campo em condições de solo com temperatura abaixo da ideal para a germinação e emergência de plântulas da espécie.

Nos dias atuais, o envelhecimento acelerado é o teste mais utilizado para avaliação de vigor em soja. No entanto, um único teste de vigor pode não demonstrar todas as interações entre a semente e o ambiente que ocorrem desde quando a semente atinge a maturidade fisiológica até o período de armazenamento e entrega ao agricultor (MENDONÇA et al., 2008). Nesse sentido, precisam existir opções de testes que sejam assertivas e possibilitem obter informações suficientes para a tomada de decisão de aceitar ou rejeitar um lote de sementes para armazenamento ou semeadura.

Como todos os testes tem suas vantagens e desvantagens, o de envelhecimento acelerado, pode apresentar diferença na velocidade de absorção de água para sementes grandes e pequenas, ocasionando desuniformidade na amostra (PANOBIANCO; MARCOS-FILHO, 2001). Já no teste de germinação em baixa temperatura, por tornar o processo de absorção lento, favorece a ocorrência de fungos que passam a degradar os tecidos celulares influenciando no percentual de germinação. Isso ocorre devido a menor velocidade de recuperação da integridade do sistema de membranas celulares. A baixa temperatura induz a danos do sistema radicular e encurtamento do hipocótilo, entretanto é este efeito que permite a diferenciação do vigor de lotes com germinação semelhantes, pois sementes mais vigorosas suportam o estresse e são menos afetadas.

2.4.2.2 Germinação a baixa temperatura

O teste de germinação a baixa temperatura tem como princípio que temperaturas baixas nas etapas iniciais de embebição implicam de maneira negativa na germinação e no desenvolvimento das plântulas (VILLELA; NOVEMBRE; MARCOS-FILHO, 2007; MATTIONI; ALBUQUERQUE; MENDONÇA, 2009). Isso altera o padrão de germinação, reduz a velocidade de emergência e causa injurias radicular e menor alongação de hipocótilo (CHRISTIANSEN, 1964; CHRISTIANSEN; THOMAS, 1969).

Dessa forma, lotes com capacidade de germinação semelhante, porém diferindo quanto ao vigor, apresentam um percentual de plântulas normais e um desempenho de emergência em campo superior, principalmente quando a semeadura é realizada em locais sujeitos a baixa temperatura, demonstrando que lotes de sementes vigorosas expressaram a germinação numa ampla faixa de temperatura, enquanto que as menos vigorosas necessitam de temperatura ideal da espécie para concluir o processo de germinação e emergência (DIAS; ALVARENGA, 1999).

Inicialmente desenvolvido para avaliar o vigor de sementes de algodão, à temperatura de 18°C por 7 dias, o teste de germinação a baixa temperatura pode ser empregado e adaptado para outras culturas de verão como milho e ervilha, uma vez que apresentam maior sensibilidade ao frio (AOSA, 1983). Em soja, Santos (1996) realizou contagem com 6 dias, porém ainda há alguns aspectos que devem ser ajustados, como a temperatura e o tempo de exposição que precisam ser adequados para a maioria das cultivares (DELOUCHE; BASKIN, 1973; ISTA, 1995; DIAS; ALVARENGA, 1999).

O teste de germinação a baixa temperatura oferece vantagens em relação a outros testes de vigor, devido a padronização, a qual facilita a sua utilização, uma vez que a instalação e os critérios para interpretação são os mesmos do teste padrão de germinação. A germinação de sementes em teste de laboratório é considerada quando ocorre a emissão, o crescimento e desenvolvimento das estruturas essenciais do embrião, demonstrando sua aptidão para produzir uma planta normal sob condições favoráveis de campo (BRASIL, 2009). No entanto, as condições de campo são variáveis, podendo ser adversas, o que torna conveniente a sua complementação com teste de vigor.

Cada espécie apresenta temperaturas cardiais para a germinação de sementes, ou seja, a temperatura máxima, mínima e ótima para que o processo aconteça (MARCOS-FILHO, 2015a). A taxa inicial de embebição e a temperatura podem influenciar de forma significativa na germinação e no vigor das sementes (MCDONALD; SULLIVAN; LAUER, 1994; SOUZA et al., 2014; TAIZ et al., 2017). Um exemplo é o teste de frio que é bastante utilizado para cultura do milho e em alguns casos para soja, no entanto, ele preconiza o período de esfriamento em solo, onde há presença de microrganismos que podem influenciar o desempenho das sementes. Algumas metodologias alternativas como rolo de papel com solo ou

somente rolo de papel tem dado resultados positivos e apresentam maior facilidade de manuseio (MIGUEL; CICERO, 1999; GRZYBOWSKI; VIEIRA; PANOBIANCO, 2015; MARCOS-FILHO, 2015b). Porém para a soja observa-se resultados negativos com relação ao uso do teste de frio (SCHUAB et al., 2006; ATKINSON; URWIN, 2012).

Estudo realizado por Miguel e Cicero (1999), comparando o teste de frio com solo, rolo de papel com solo e rolo de papel sem solo, expondo em temperaturas de 10°C e 15°C por 3, 5 e 7 dias antes de coloca-los em ambiente favorável de 25°C, mostrou que o rolo de papel sem solo apresentou maior correlação com os testes de primeira contagem de germinação, condutividade elétrica e emergência de plântulas no campo. Em pesquisa conduzida da mesma forma, porém utilizando somente a temperatura de 10°C e para a cultura do algodão, apresentou resultados semelhantes, possibilitando a identificação de lotes mais vigorosos, quando expostos por 5 dias a temperatura de 10°C em rolo de papel sem solo (MIGUEL et al., 2001).

2.4.3 Enzimas Antioxidantes

As exposições aos estresses induzem as plantas à superprodução de espécies reativas de oxigênio (EROs), que são subprodutos do metabolismo aeróbico e fotossintético, e atuam como componentes de diversas vias de sinalização, mas ao serem submetidas a desequilíbrio ocasionam o início do estresse oxidativo. Esses radicais livres referem-se a átomos que possuem um ou mais elétrons não pareados na sua órbita externa, o que então lhe conferem a identidade de agente com alta reatividade, também chamados de radicais livres (BORBA, 2013; BARBOSA et al., 2014).

Uma vez perdido o equilíbrio entre a produção de EROs e a atividade dos mecanismos antioxidantes, as estruturas celulares ficam vulneráveis aos danos oxidativos, que podem levar ao avanço da degradação de membranas, pois podem afetar moléculas como proteínas, carboidratos, lipídios e ácido nucleicos, levando morte celular. As plantas contornam os estresses oxidativo através de um mecanismo antioxidante de defesa que é constituído por diferentes enzimas, entre elas: superóxido dismutase (SOD); catalase (CAT); ascorbato peroxidase (APX); peroxidase (POD), que neutralizam as EROs e atuam na proteção

contra o colapso do metabolismo vegetal (BARBOSA et al., 2014; TAIZ et al., 2017).

Entre essas enzimas que atuam nesse processo de defesa, a catalase desempenha um papel fundamental. Esta enzima é abundante nos peroxissomos, que são microcorpos associados aos cloroplastos e mitocôndrias, especializados na β -oxidação de ácidos graxos e no metabolismo de glioxilato, um aldeído de dois carbonos. Durante o estresse ocorre o aumento na taxa de fotorrespiração de um cloroplasto adjacente, o glicolato é então oxidado a aldeído ácido glioxilato, nesse processo de conversão é produzido peróxido de hidrogênio, o qual é uma EROs e pode facilmente destruir outros compostos, então a catalase converte o peróxido de hidrogênio em água (H_2O), liberando oxigênio (O_2), protegendo a célula de processos deteriorativos (MARINI et al., 2012; TAIZ et al., 2017).

Diante disso, para a sobrevivência das células, o equilíbrio entre as espécies reativas de oxigênio e a sua detoxificação através da atividade dessas enzimas é crucial (MARINI et al., 2012; BORBA, 2013), pois mesmo em concentrações mínimas, estes radicais são considerados tóxicos para as células, podendo acarretar injúrias que desencadearão danos oxidativos durante o processo de formação da planta. Com intuito de neutralizar as EROs, estas enzimas atuam no sistema com o propósito de minimizar os primeiros sinais de estresse causados (MARCOS-FILHO, 2015a).

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRASEM. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES E MUDAS. **Estatística: Resultado - Ano 2020.**

Disponível em: <http://www.abrasem.com.br/estatisticas/#>. Acesso em: 12 nov. 2021.

AMORIM, F. A.; HAMAWAKI, O. T.; SOUSA, L. B.; LANA, R. M. Q.; HAMAWAKI, C. D. L. Época de semeadura no potencial produtivo de soja em Uberlândia-MG.

Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 32, suplemento 1, p. 1793-1802, 2011.

AOSA. ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS; **Seed vigour testing handbook**. East Lasing, 1983. 93p.

APROSOJA BRASIL. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE SOJA. **Uso da soja**. 2018.

Disponível em: <https://aprosojabrasil.com.br/2014/sobre-a-soja/uso-da-soja/v>.

Acesso em: 18 jul. 2018.

ATKINSON, N.J.; URWIN, P. E. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n° 10, p. 3523-3544, 2012.

Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22467407>. Acesso em: 03 ago. 2018.

AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; MONTEIRO, M.A.; KOCH, F.

Análise de crescimento e do vigor como ferramenta de avaliação do estresse ambiental. In: AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; VILLELA, F.A.

Estresses ambientais e a produção de sementes: Ciência e aplicação. Pelotas, RS: Ed. Cópias Santa Cruz, 2017, 313p.

ÁVILA, M. R.; ALBRECHT, L. P. Isoflavonas e a qualidade das sementes de soja.

Informativo ABRATES. v.20, n° 1-2, p. 015-029, 2010.

Disponível em: https://www.abrates.org.br/img/informations/b4da4695-fbe3-42ce-9577-ce0e06d d1e6b_INFORMATIVO%20FINAL.pdf. Acesso em 03 ago. 2018.

BARBOSA, M.R.; SILVA, M.M.A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARAI, T.R.

Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v.44, n.3, p.453-460, 2014.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: Physiology of development and germination**.

2° ed. New York and London: Ed. Plenum Press.1994. 445 p.

BORBA, I. C. G. Metabolismo antioxidativo para a classificação de lotes de

sementes quanto ao vigor. 2013, 80f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2013.

BORNHOFEN, E.; BENIN, G.; GALVAN, D.; FLORES, M. F. Época de semeadura e desempenho qualitativo de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n° 1, p. 46-55, jan./mar. 2015.

Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/29143>. Acesso em 03 ago. 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. 2009. 399 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **SIGEF - Controle da Produção de Sementes e Mudas**: Indicadores. 2021.

Disponível em: <https://indicadores.agricultura.gov.br/sigefsementes/index.htm>. Acesso em: 12 nov. 2021.

CARVALHO, N. M; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 424p, 2000.

CHRISTIANSEN, M.N. Influence of chilling upon subsequent growth and morphology of cotton seedlings. **Crop Science**, n°. 4, 584-586, 1964.

CHRISTIANSEN, M.N.; THOMAS, R.O. Season long effects of chilling treatments applied to germinatory cotton seed. **Crop Science**, n. 9, 672-673, 1969.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Portal de informações agropecuárias**. 2021.

Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-estimativa-de-evolucao-graos.html>. Acesso em: 12 nov. 2021

DANTAS, B. F.; ARAGÃO, C. A.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J.; RODRIGUES, J. D. Efeito da duração e da temperatura de alagamento na germinação e no vigor de sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 22, n° 1, p.88-96, 2000.

DELLAGOSTIN, S. M.; MARTINAZZO, E. G.; PIMENTEL, J. R.; TROYJACK, C.; PEDO, T. Temperaturas extremas e qualidade fisiológica de sementes de plantas de lavoura. In: AUMONDE, T.Z., PEDÓ, T., MARTINAZZO, E.G., VILLELA, F.A. (Org.). **Estresses ambientais e a produção de sementes: ciência e aplicação**. 1ed. Pelotas: 2017, v. 1, p. 171-198

DELOUCHE, J.C.; BASKIN, C.C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, v.1, n°.2, p.427-452,

1973.

DIAS, D. C. F. S.; ALVARENGA, E. M. Teste de germinação a baixa temperatura. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina-PR: ABRATES, 1999. p. 7-1 – 7-4.

DUKE; S.H.; SCHRADER, L. E.; MILLER, M.G. Low temperature effects on soybean (*Glycine max* [L.] Merr. cv. Wells) mitochondrial respiration and several dehydrogenases during imbibition and germination. **Plant Physiology**. v. 60, p. 716-722, 1977.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja em números** EMBRAPA Soja. 2021.

Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 12 nov. 2021.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. **EMBRAPA**, Circular técnica 48, Londrina, set. 2007.

FINCH-SAVAGE, W. E; BASSEL, G. W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, Vol. 67, N° 3, p. 567–591, 2016.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**: o estudo do que está por trás do que se vê. 3° ed. Passo Fundo: Editora UPF, 2006. 751 p.

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; PÁDUA, G. P.; COSTA, N. P.; HENNING, A. A. Tecnologia da produção de sementes de soja de alta qualidade – série sementes. **EMBRAPA** - Circular técnica 40, Londrina, mar. 2007.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. **EMBRAPA Soja**, Londrina, Documento n° 327, 1° ed., jun. 2011.

GAZOLLA NETO, A.; BAGATELI, J. R.; GADOTTI, G. I. Plantabilidade e qualidade fisiológica de sementes de soja, **SEED News**, Pelotas, Ano XIX, n° 4, p. 8-11, jul./ago. 2015.

GRZYBOWSKI, C. R. S. **Respostas de sementes de milho a testes alternativos de vigor**. 2012, 46F. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegeta. Curitiba, 2012.

GRZYBOWSKI, C. R. S.; VIEIRA, R. D.; PANOBIANCO, M. Testes de estresse na

avaliação de vigor de sementes de milho. **Revista Ciências Agrárias**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 590-596, jul./set. 2015.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION – ISTA. **Handbook of vigour methods**. 3° ed. Hampton J.G. & Tekrony D.M, p. 66-69, 1995.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S.T. Crescimento inicial de soja em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira Agrocência**, Pelotas, v. 12 n° 2, p. 163-166, abr-jun, 2006.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. A alta qualidade de sementes de soja: fator importante para a produção da cultura. **EMBRAPA**, circular técnica 136, Londrina, maio 2018.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A.; COSTA, N. P. O controle de qualidade agregando valor à semente de soja – série sementes. **EMBRAPA**, Circular técnica 54, Londrina, jan. 2008.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução de Carlos Henrique B. A. Prado e Augusto Cesar Franco. São Carlos – SP, Ed. Rima Artes e Textos, 2000. 531p.

LIPTAY, A.; SCHOPFER, P. Effect of water stress, seed coat restraint, and abscisic acid upon different germination capabilities of two tomato lines at low temperature. **Plant Physiology**, v.73, 1983.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2° ed. Londrina: Ed. ABRATES, 2015a. 660p.

MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: na overview of the past, presente and future perspective. **Scientia Agrícola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, jul./aug. 2015b.

MARCOS-FILHO, J. Conceituação do vigor de sementes em seus múltiplos aspectos. In: XX Congresso Brasileiro de Sementes. **Informativo ABRATES**. Londrina, v. 27 – n° 2. p. 28-28, 2017.

MARINI, P.; MORAES, C. L.; MARINI, N.; MORAES, D. M. D.; do AMARANTE, L. Alterações fisiológicas e bioquímicas em sementes de arroz submetidas ao estresse térmico. **Revista Ciência Agrônômica**, Ceará, n.43, v.4, p.722-730, 2012.

MATTIONI, F; ALBUQUERQUE, M. C. F.; MENDONÇA, E. A. F. Desempenho de sementes de algodoeiro submetidas a diferentes tipos de estresses. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 080-085, 2009.

MCDONALD, M.B. A review and evaluation of seed vigor tests. **Proceedings of the**

Associations of Official Seed Analysts, v.65, p.109-139, 1975.

MCDONALD, M. B.; SULLIVAN, J. L.; LAUER, M. J. The pathway of water uptake in maize seeds. **Seed Science and Technology**, v. 22, p. 79-90, 1994.

MENDONÇA, E. A. F.; AZEVEDO, S. C.; GUIMARÃES, S. C.; ALBUQUERQUE, M. C. F. Teste de vigor em sementes de algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 30, n° 3, p. 001-009, 2008.

MIELEZRSKI, F.; PESKE, F. B. Brasil: a agricultura em constante expansão. **SEED News**, Pelotas, Ano XXII, n° 1, p. 10-13, jan./fev. 2018.

MIGUEL, M.H.; CARVALHO, M.V.; BECKERT, O.P.; MARCOS-FILHO, J. Teste de frio na avaliação do potencial fisiológico de sementes de algodão. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.4, p. 741-746, out./dez. 2001.

MIGUEL, M. H.; CÍCERO, S. M. Teste de frio na avaliação do vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, vol. 21 n° 2, p. 35-42, 1999.

MONDO, V. H. V.; NASCENTE, A. S. Vigor de sementes e a produtividade de grãos de feijão-comum. **SEED News**, Pelotas, Ano XXI, n° 3, p. 10-12, maio/jun. 2017.

OLIVEIRA, A. B. **Fenologia, desenvolvimento e produtividade de cultivares de soja em função de época de semeadura e densidade de plantas**. 2010. 78f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

OLIVEIRA, L. E. M. **Temas em fisiologia vegetal**. 2018.

Disponível em: <http://www.ledson.ufpa.br/metabolismo-da-germinacao/fatores-que-afetam-a-germinacao/fatores-abioticos/>. Acesso em: 05 jul. 2018.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **População mundial deve ter mais 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos**. 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/06/1676601>. Acesso em: 10 set. 2019.

PANOBIANCO, M., MARCOS-FILHO, J. Envelhecimento acelerado e deterioração controlada em sementes de tomate. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 525-531, 2001.

Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0103-90162001000300014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 02 Jun. 2018.

PESKE, S. T.; PESKE, F. B. Absorção de água sob estresse. **SEED News**, Pelotas, Ano XV, n° 3, p. 22-27, maio/jun. 2011.

PESKE, S.T. Dinâmica do Mercado de Sementes no Brasil. **SEED News**, Ed.

Especial XX CBS 2017, ano XXI, nº5, p.12-15, Pelotas, 2017.

PESKE, S.T; BASSO, F. Abertura nacional da colheita de soja. **SEED News**, Pelotas, Ano XXI, nº 2, p. 36-41, mar/abr. 2017.

RODRIGUES, J. A. P.; CAMPANTE, P.; BARRETO, M. Lei de proteção de cultivares e a sua importância para a pesquisa e desenvolvimento de novas variedades vegetais. **Associação Brasileira de Sementes e Mudanças**. Brasília, anuário 2016.

RODRIGUES, O.; DIDONET, A. D.; LHAMBY, J. C. B.; BERTAGNOLLI, P. F.; LUZ, J. S. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 431-437, 2001. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S0100-204X2001000300006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 15 jul. 2018.

SANTOS, V.L.M.; SILVA, R.F.; CARDOSO, A.A.; SEDIYAMA, T. Avaliação da qualidade de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) colhidas em duas épocas, utilizando-se temperaturas sub e supra-ótimas. **Revista Brasileira de Sementes**. v.18, n.1, p.57-62, 1996.

SANTOS, G. A.; ZANETTI, P. C. Influência da temperatura na germinação e desenvolvimento do girassol (*Helianthus annuus* L.). **Iniciação Científica – CESUMAR**, v. 11, nº 1, p. 23-27, jan/jun. 2009.

SBRUSSI, C. A. G.; ZUCARELI, C. Germinação de sementes de milho com diferentes níveis de vigor em resposta à diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 215-226, jan./fev. 2014

SCHEEREN, B. Escolha de variedades e planejamento de semeadura. **SEED News**, Pelotas, Ano XIV, nº 4, p. 10-11, jul/ago. 2010.

SCHUAB, S. R. P.; BRACCINI, A. L.; FRANÇA NETO, J. B.; SCAPIM, C. A.; MESCHÉDE, D. K. Potencial fisiológico de sementes de soja e sua relação com a emergência das plântulas em campo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 28, n. 4, p. 553-561, Oct./Dec. 2006.

SILVA, A. F. C. P. Pirataria de sementes. **SEED News**, Ed. Especial XX CBS 2017, ano XXI, nº5, p. 34-36, Pelotas, 2017.

SOUZA, G. E.; STEINER, F.; ZOZ, T.; OLIVEIRA, S. S. C.; CRUZ, S. J. S. Comparação entre métodos para a avaliação do vigor de sementes de algodão. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 1, n. 2, p. 35-41, out./dez. 2014.

SUZUKI, N.; RIVERO, R. M.; SHULAEV, V.; BLUMWALD, E.; MITTLER, R. Abiotic and biotic stress combinations. **New Phytologist**, v. 203, p. 32-43, 2014.
Disponível em: <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/nph.12797>.
Acesso em: 03 ago. 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia de Desenvolvimento Vegetal**. 6. Ed. Porto Alegre, Artmed, 2017.

TILLMANN, M. A. A.; MENEZES, N. L. Análise de sementes. In: PESKE, S. T.; VILELLA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3° Ed. Pelotas: ed. Universitária/UFPel, 2012. p. 161-272.

USDA. UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **World Agricultural Production**. Foreign Agricultural Service, 2021.

Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2021.

VILLELA, F. A.; NOVENBRE, A. L. C.; MARCOS-FILHO, J. Estado energético da água na germinação de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 1, p. 27-34, 2007.

WENDT, L.; MALAVASI, M. M.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; GOMES JUNIOR, F. G. Relação entre testes de vigor com a emergência a campo em sementes de soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.12, n° 2, p. 166-171, 2017.

Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318041180_Relacao_entre_testes_de_vigor_com_a_emergencia_a_campo_em_sementes_de_soja. Acesso em 03 ago. 2018.

WORLDOMETERS. **População Mundial**, 2021. Disponível em: <https://www.worldometers.info/pt/>. Acesso em: 12 nov. 2021.

ZORATO, M. F. Laboratório de análise de sementes – engrenagem fundamental na produção de sementes contemporânea. **SEED News**, Pelotas, Ano XXI, n° 2, p. 28-35, mar/abr. 2017.

ZORATO, M. F. Liderar equipes de laboratório de sementes. **SEED News**, Pelotas, Ano XXII, n° 1, p. 34-36, jan./fev. 2018.

3 ARTIGO A - AJUSTE DO TESTE DE GERMINAÇÃO EM TEMPERATURA SUBÓTIMA PARA CLASSIFICAÇÃO DE LOTES DE SEMENTES DE SOJA QUANTO AO VIGOR

3.1 RESUMO

Diante da necessidade de padronização de métodos simples e eficientes, como uma alternativa aos testes de vigor existentes, e das condições de estresse, possíveis de ocorrer em campo durante a implantação da cultura, a avaliação da germinação em temperaturas subótimas pode ser considerada opção para checagem do vigor das sementes de soja. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi ajustar as temperaturas subótimas para o teste de germinação que possibilite verificar o vigor de lotes de sementes de soja e estimar o desempenho em condições de campo. O experimento foi realizado com onze lotes de sementes da cultivar de soja BS2606IPRO, caracterizados quanto a qualidade fisiológica, utilizando os seguintes testes: germinação, envelhecimento acelerado, tetrazólio, comprimento e massa seca de parte aérea e de raiz de plântulas e emergência de plântulas em campo. Para padronizar o teste de germinação a baixa temperatura (TGBT) foram utilizadas diferentes temperaturas (16°C; 19°C; 22°C; e 25°C) com avaliação de primeira contagem de germinação aos cinco dias e contagem final aos oito dias. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições para cada tratamento formado a partir da combinação do lote x temperatura, um fatorial 11 x 4. Os dados obtidos foram analisados através da análise de variância, as médias dos lotes foram comparadas pelo teste de Scott-Knotte, as médias e temperaturas foram submetidas a análise de regressão até 2º grau, a 5% de probabilidade. Foram determinados os coeficientes de correlação simples entre os resultados do teste de primeira contagem e de germinação a baixa temperatura, com os demais testes realizados. A germinação (8 dias) na temperatura de 22°C, se correlaciona com a emergência de plântulas em campo, fazendo deste, um teste potencial para avaliação do vigor de sementes de soja. A temperatura de 16°C não resulta em plântulas normais na primeira contagem de germinação (cinco dias) e na germinação (oito dias) não foi capaz de diferenciar os lotes de sementes de soja quanto ao vigor, e também não se correlaciona com os demais testes de qualidade fisiológica. A germinação a 19°C e a primeira contagem

de germinação a 22°C permitem a estratificação dos lotes quanto ao potencial fisiológico.

Palavras-chave: Potencial fisiológico. *Glycine max* (L.) Merrill. Qualidade de sementes, estresse térmico.

ADJUSTMENT OF THE SUBOPTIMAL TEMPERATURE GERMINATION TEST FOR CLASSIFICATION OF LOTS SOYBEAN SEED AS TO VIGOR

ABSTRACT

Given the need for standardization of simple and efficient methods as an alternative to existing vigor tests, and considering the stress conditions that may occur in the field during crop establishment, evaluating germination at suboptimal temperatures can be considered an option for assessing the vigor of soybean seeds. In this regard, the objective of this study was to adjust suboptimal temperatures for the germination test that allows the assessment of soybean seed lots' vigor and estimation of performance under field conditions. The experiment was conducted with eleven lots of BS2606IPRO soybean seeds, characterized for physiological quality using the following tests: germination, accelerated aging, tetrazolium, shoot and root length, and dry mass of seedlings, as well as seedling emergence in the field. To standardize the low-temperature germination test (LTGT), different temperatures (16°C, 19°C, 22°C, and 25°C) were used, with evaluation of the first germination count at five days and final count at eight days. The experimental design was completely randomized, with four replications for each treatment formed by the combination of lot x temperature, in an 11 x 4 factorial arrangement. The obtained data were analyzed through analysis of variance, and means of the lots were compared using the Scott-Knott test. The means and temperatures were subjected to second-degree regression analysis at a 5% probability level. Simple correlation coefficients were determined between the results of the first germination count and low-temperature germination test and the other performed tests. Germination (8 days) at a temperature of 22°C correlates with seedling emergence in the field, making it a potential test for evaluating soybean seed vigor. A temperature of 16°C does not result in normal seedlings in the first germination count (five days), and in

germination (eight days), it was unable to differentiate soybean seed lots regarding vigor and did not correlate with other physiological quality tests. Germination at 19°C and the first germination count at 22°C allow stratification of lots based on physiological potential.

Keywords: Physiological potential. Seed quality, thermal stress. *Glycine max* (L.) Merril.

Palavras-chave: Potencial fisiológico. *Glycine max* (L.) Merril. Qualidade;

3.2 INTRODUÇÃO

Com uma safra recorde de mais de 137 milhões toneladas, a soja vem se reafirmando como uma das culturas de maior importância no Brasil e no mundo, atuando estrategicamente como um dos pilares do agronegócio brasileiro (CONAB, 2021).

O desempenho produtivo da soja, a torna foco de grande parte das tecnologias desenvolvidas para o campo. Inúmeros são os fatores que possibilitam o incremento de produtividade, como o desenvolvimento genético de cultivares que apresentam características de adaptação para diferentes regiões e sistemas de produção, tecnologia de aplicação, manejo do solo e a facilidade de acesso a informação, com o uso de softwares voltados para práticas de agricultura de precisão, o que torna as decisões mais assertivas para cada situação (SILVA et al., 2016).

Nesse contexto, a semente é o principal veículo para que todas as tecnologias sejam empregadas de forma eficiente. Para tanto, torna-se imprescindível o uso de lotes de sementes de alta qualidade fisiológica, para que ocorra a emergência rápida e uniforme, formando um estande de plantas promissoras às altas produtividades, visando enfrentar os diferentes fatores bióticos e abióticos que limitam o desempenho produtivo (SILVA et al., 2016; MARCOS-FILHO, 2015a; GAZOLLA-NETO et al., 2015; CANTARELLI et al., 2015; TAVARES et al., 2013; MATTIONI et al., 2012).

Dentre os fatores abióticos que podem afetar a performance das sementes e plântulas, a temperatura é crucial, podendo alterar a velocidade, a

porcentagem e a uniformidade da germinação. Quando se trata de temperaturas abaixo das faixas consideradas ótimas para a espécie, o tempo de germinação é influenciado pela velocidade de embebição e a mobilização das reservas, pode causar redução no crescimento das plântulas, além da exposição aos microrganismos do ambiente. As injúrias causadas pela baixa temperatura, estão associadas a danificação do sistema de membranas, que tem sua permeabilidade afetada devido as alterações na fluidez devido ao endurecimento dos lipídios das membranas (TAIZ et al., 2017; MARCOS-FILHO, 2015a).

Um programa de produção de sementes eficiente, necessariamente deve contar com avaliação da qualidade fisiológica, que possibilite estimar o vigor, o desempenho em campo de plântulas e o descarte de lotes que não atendem ao padrão, diminuindo assim os riscos para o consumidor final (CANTARELLI et al., 2015). A agricultura está cada vez mais exigente em sementes de elevada qualidade. Segundo Popinigis (1977), a qualidade fisiológica pode ser definida como a capacidade de desempenhar funções vitais, caracterizada pela germinação, vigor e longevidade, que afeta diretamente a implantação da cultura em condições de campo.

Levando em consideração que a semeadura da soja vem sendo antecipada e associada com a escolha de cultivares de ciclo precoce, oportunizando o cultivo de até três safras no ano agrícola, e que na região Sul, em especial no Estado do Paraná, essa prática coincide com solos frios e temperaturas mais baixas, especialmente no período noturno. Verifica-se que essa prática acarreta em prejuízo à germinação e à velocidade de emergência.

Diante disso, os testes de vigor tornam-se imprescindíveis, uma vez que possibilitam avaliar com rigor o desempenho dos lotes de sementes no campo, pois o teste de germinação é realizado em condições ideais, desprezando os fatores abióticos, com isso dificulta a diferenciação de lotes que irão se sobressair em condições adversas. Uma das possibilidades é o teste de germinação à baixa temperatura.

Os principais testes de vigor utilizados pelas empresas produtoras de sementes são o tetrazólio, que revela os danos fisiológicos ocorridos nas sementes, e o envelhecimento acelerado, que expõe ao estresse por alta temperatura. Entretanto as sementes se comportam de maneira distinta quando encontram um ambiente de baixa temperatura. A utilização do teste de germinação a

baixa temperatura para classificação de lotes de semente quanto ao vigor demanda de padronização e validação quanto a eficiência em segregar os lotes, definição do tempo para avaliação e ainda apresentar correlação com o desempenho das sementes e plântulas em condições de campo. Aperfeiçoar os testes de vigor para atender as particularidades dessa dinâmica de produção e mercado, tem se tornado um desafio para sementeiros e pesquisadores.

Sendo assim, o objetivo deste estudo foi ajustar as temperaturas subótimas para o teste de germinação que possibilite verificar o vigor de lotes de sementes de soja e estimar o desempenho em condições de campo

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina – UEL, em Londrina, Paraná e em parceria com o Laboratório de análise de sementes da empresa Vilela, em São Sebastião da Amoreira, Paraná.

O experimento foi realizado com onze lotes comerciais de sementes de soja da cultivar BS2606IPRO (C, L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9 e L10). Foram tomados lotes de germinação semelhante e que diferiram quanto ao vigor, produzidos na safra do ano agrícola 2017/2018, oriundas de campo de produção de sementes localizado no Município de São Jerônimo da Serra, Paraná, na latitude Sul 23°38'15,5" e longitude oeste 50°41'03,4", com altitude de aproximadamente 850 m.

Todas as avaliações dos lotes foram conduzidas com a presença de um lote controle (C), que foi obtido através da colheita de plantas entre estágio fenológico R 7 e R 7.1 do mesmo campo, o qual originou os lotes de sementes da cultivar utilizada. As plantas foram secadas à sombra e debulhadas manualmente, foi possível obter uma amostra com a máxima qualidade fisiológica, que, no momento de padronizar o teste, foi crucial para identificar a melhor faixa de temperatura que possibilite um estresse para o lote expressar seu vigor, porém sem inviabilizar as sementes.

Para caracterização da qualidade fisiológica inicial dos lotes de sementes, foram realizados os seguintes testes: germinação, envelhecimento acelerado, tetrazólio, comprimento e massa seca de parte aérea e de raiz de plântulas e emergência de plântulas em campo, conforme metodologias descritas a

seguir:

Germinação: o método utilizado está descrito nas Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009), que consiste na condução de oito subamostras de 50 sementes, compondo 4 repetições de 100 sementes, colocadas em rolo de papel (RP), utilizando três folhas de papel Germitest®, umedecidos com água na proporção de 2,5 vezes o seu peso seco. Após a instalação do teste, as sementes foram acondicionadas em germinador com temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, e realizada a primeira contagem com cinco dias, finalizando o teste com oito dias. O resultado foi expresso em percentual de plântulas normais.

Envelhecimento acelerado: as sementes foram acondicionadas em uma tela, sem sobreposição, e encaixada na caixa de acrílico, tipo gerbox com tela e tampa, na qual, adicionou-se 50 mL de água e depois foram fechadas com tampa para formar uma câmara úmida. Os recipientes ficaram em equipamento do tipo Biochemical Oxygen Demand (BOD) para simular o período de estresse de 48 horas a uma temperatura de 41°C e 95% de umidade relativa do ar (MARCOS-FILHO, 1999). Após o período, procedeu o teste de germinação conforme metodologia descrita, com quatro repetições de 50 sementes e a leitura do teste realizada com cinco dias após a instalação da germinação, sendo o resultado expresso em percentual de plântulas normais.

Tetrazólio: para avaliação dos danos fisiológicos para verificar a viabilidade e o vigor das sementes, o ensaio foi realizado com quatro repetições de 50 sementes. As sementes já contadas e separadas foram pré-acondicionadas em papel de germinação umedecido 2,5 vezes o peso do papel seco, por um período de 16 horas com temperatura de 25°C , depois foram imersas em solução 0,075% de 2,3,5- trifenil cloreto de tetrazólio, sendo, então, mantidas em estufa a 38°C por três horas para a coloração. Em seguida, foram lavadas e avaliadas individualmente (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018).

Comprimento de plântulas: Para este teste, seguiu-se a metodologia do teste de germinação, porém diferindo-se no número de sementes por repetição. Segundo Nakagawa (1999), utilizou 20 sementes (duas fileiras de 10), acomodadas na parte superior do rolo de papel para que tenham espaço suficiente e sem barreiras para o desenvolvimento das raízes, o resultado foi expresso pela média ponderada em cm, com 4 repetições de 20 sementes.

Massa seca: Para determinar a massa seca foram utilizadas as

plântulas do teste de comprimento de plântulas depois da medição, removidos os cotilédones e separadas em parte aérea e raiz, sendo plúmula e hipocótilo considerado parte aérea. As porções foram acondicionadas em sacos de papel para secagem em estufa de ar forçado a 80°C até massa constante, depois procedeu-se a pesagem em balança analítica com precisão de 0,001 g (NAKAGAWA, 1999). Considerou-se os lotes mais vigorosos os de maior peso, expresso em g por plântula, pois isso representando uma maior eficiência na conversão de reservas para o desenvolvimento de plântulas, portanto maior potencial fisiológico.

Emergência de plântulas no campo: foram utilizados canteiros de solo revolvido e nivelado, abrindo-se sulcos de aproximadamente 3,0 cm de profundidade e foram acondicionadas 50 sementes por linha, com espaçamento de 10 cm entre as linhas e cerca de 2,0 cm entre as sementes na linha, desta forma foram feitas 4 linhas para cada repetição, totalizando 200 sementes (KRZYZANOWSKI; FRANÇA NETO; HENNING, 2018). Para obter homogeneidade entre os blocos, foram tomados alguns cuidados, como irrigar um dia antes o local, com o intuito de uniformizar a umidade do solo e minimizar danos por embebição ou déficit hídrico, após semeadura e, irrigar somente no dia seguinte a semeadura. O teste foi realizado no final do inverno, quando a temperatura do solo ainda está baixa, possibilitando expressar o vigor dos lotes sob condições ambientais de estresse por baixas temperaturas do solo. A avaliação foi realizada 12 dias após a instalação do teste. O resultado é expresso em percentual de plântulas emergidas.

Na germinação a baixa temperatura, foram utilizadas oito sub-amostras de 50 sementes, compondo 4 repetições formadas por 2 pares de 50 sementes, em rolos de papel Germitest®, umedecidos com água destilada, na quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco (DIAS; ALVARENGA, 1999), sendo em seguida, mantidos no germinador sob diferentes temperaturas (16°C; 19°C; 22°C; e 25°C). Foram avaliados os percentuais de plântulas normais e anormais, sementes duras e mortas, em primeira e segunda contagem, aos cinco e oito dias, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições para cada tratamento formado a partir da combinação dos lotes com as temperaturas, portanto um fatorial 11 x 4. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e as médias dos lotes comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. No teste de germinação a baixa

temperatura os lotes foram comparados dentro de cada temperatura subótima e, também submetidos a estudo de regressão até 2º a 5% de significância. Ainda, foram determinados os coeficientes de correlação simples entre os resultados do teste de primeira contagem e de germinação a baixa temperatura, com os demais testes realizados, utilizando o software estatístico R (versão 1.3-5) com o pacote “agricolae” (MENDIBURU, 2021).

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A germinação de sementes não variou entre os diferentes lotes na caracterização da qualidade fisiológica inicial. Por outro lado, os testes de envelhecimento acelerado (EA), tetrazólio viabilidade (TZ_Viab), tetrazólio vigor (TZ_Vigor), emergência de plântulas em campo (EC) e os testes de desempenho de plantas, a massa seca da raiz (MSR), a massa seca da parte aérea (MSPA), o comprimento da raiz (CR) e o comprimento da parte aérea (CPA), indicaram diferenças em relação ao vigor, possibilitando a separação entre lotes com relação ao potencial fisiológico (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Caracterização inicial da qualidade fisiológica dos onze lotes de sementes de soja, da cultivar BS2606IPRO, utilizados para os testes de germinação a baixa temperatura, Londrina-PR, 2018.

Lotes	G ¹	EA ¹	TZ Viab ¹	TZ Vigor ¹	EC ¹	MSR ²	MSPA ²	CR ³	CPA ³
C	98 a ⁴	92 a	97 a	93 a	97 a	0,051 a	0.121 a	10,59 a	6,75 a
L1	94 a	85 b	85 d	77 c	89 c	0,055 a	0,086 c	9,00 b	4,69 b
L2	96 a	83 b	89 c	73 d	91 b	0,056 a	0,096 b	8,77 b	4,48 b
L3	94 a	74 d	92 b	77 c	89 c	0,045 b	0,095 b	10,84 a	5,36 b
L4	94 a	74 d	92 b	83 b	93 b	0,040 b	0,071 f	7,02 b	4,26 b
L5	96 a	80 c	88 c	76 c	87 c	0,037 b	0,075 e	8,32 b	5,10 b
L6	93 a	76 c	86 d	70 e	86 d	0,040 b	0,088 c	9,67 a	5,60 b
L7	93 a	75 d	82 e	65 f	83 e	0,041 b	0,070 f	8,42 b	4,83 b
L8	94 a	69 e	89 c	70 e	86 d	0,027 d	0,056 g	8,06 b	4,87 b
L9	96 a	77 c	87 c	76 c	92 b	0,043 b	0,078 d	7,84 b	4,64 b
L10	96 a	73 d	92 b	73 d	89 c	0,032 c	0,075 e	7,10 b	5,02 b
CV %	2,26	3,27	2,39	3,32	2,29	1,75	2,09	14,41	14,55

¹%; ²g; ³cm; ⁴Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Coeficiente de Variação (CV); Germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), tetrazólio viabilidade (TZ_Viab), tetrazólio vigor (TZ_Vigor), emergência de plântulas em campo (EC), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), comprimento da raiz (CR), comprimento da parte aérea (CPA).

Pelo teste de envelhecimento acelerado, desconsiderando o lote controle (C), foi constatado que os lotes L1 e L2 apresentaram desempenho superior aos demais lotes, sendo o pior o L8. No teste de tetrazólio para avaliação de vigor, se sobressaiu o lote L4 e os lotes inferiores foram os L6 e L8. Entretanto no teste de emergência de plântulas em campo, os melhores índices de vigor foram apresentados pelos lotes L2, L4 e L9 e o pior desempenho pelo lote L7. Pode observar que variabilidade nos resultados dependendo do teste empregado, porém foi possível identificar uma tendência dos lotes que tiveram pior desempenho (L7 e L8).

No teste de germinação a baixa temperatura foi constatada interação significativa entre os fatores temperatura e lotes para as variáveis primeira contagem de germinação ao quinto dia e germinação ao oitavo dia (Tabela 3.2).

Tabela 3.2. Valores de quadrado médio da análise de variância para as características de qualidade fisiológicas de sementes de soja, em função da temperatura de germinação e lotes, Londrina-PR, 2018.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios	
		PCG	G
Temperaturas (T)	3	97392,278*	4895,500*
Lotes (L)	10	268,3*	172,4556*
T x L	30	234,324*	69,170*
Resíduo	132	13,899	15,409
CV (%)		9,31	4,81

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

CV: coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade; G: germinação; PCG: primeira contagem de germinação.

Na primeira contagem de germinação (cinco dias), identificou-se que a temperatura de 22°C permitiu diferenciar os lotes quanto ao vigor, e os lotes L2 e L3 tiveram melhor desempenho, enquanto o L1 e o L7 os piores resultados. Os lotes L2, L7 e L8 se correlacionaram nos resultados de emergência de plântulas em campo da caracterização inicial (Tabela 3.1). Para a temperatura de 16°C e 19°C na primeira contagem, o teste de germinação a baixa temperatura não apresentou plântulas normais, evidenciado que após alcançar o limite mínimo de temperatura, a taxa de germinação aumenta exponencialmente com aumento da temperatura (Tabela 3.3).

Ilbi, Kavak e Eser (2009) pesquisaram em sementes de milho a correlação entre o teste de germinação padrão, teste de frio e germinação a baixa temperatura (12°C, 15°C e 18°C) com emergência em campo, como uma alternativa

para avaliar vigor. Os resultados apontaram que a germinação padrão teve baixa correlação com a emergência em campo, pois não foi eficiente para diferenciar lotes quanto ao vigor. Já o teste de frio e a germinação na temperatura de 18°C foram os que melhor se correlacionaram com a emergência em campo. Salientando que o teste de emergência foi conduzido na mesma época de abertura da sementeira do milho, que também tinha baixas temperaturas.

Para a variável germinação (oito dias) a diferenciação entre lotes é possível tanto na temperatura de 19°C quanto na de 22°C, fato não constatado tanto a 16°C quanto na temperatura ideal de 25°C. Os lotes L2 e L3 apresentaram os melhores resultados tanto para a temperatura de 19°C, quanto de 22°C. Os lotes L4, L7, L1 e L10 foram os piores na temperatura de 19°C, mas a 22°C o lote L1 também foi um dos melhores, ou seja, efeito temperatura exerceu forte influência no seu desempenho. O lote L7 seguiu tendo o pior resultado também a 22°C.

Sbrussi e Zucareli (2014) avaliaram o desempenho de lotes de milho com níveis de vigor distintos, sob diferentes temperaturas e concluíram que a temperatura mais baixa retarda a germinação das sementes, e os lotes de baixo vigor foram os mais afetados. Por outro lado, lotes de maior vigor suportaram melhor as condições de temperaturas elevadas durante o processo germinativo, o que foi também observado nesta pesquisa, principalmente pelos resultados do L2, alto vigor, e L7, baixo vigor.

Souza et al. (2014) avaliaram a potencialidade dos testes de vigor para avaliação da qualidade fisiológica de lotes de sementes de algodão, dentre eles o teste de germinação a baixa temperatura e concluíram que houve correlação com teste de envelhecimento acelerado, condutividade elétrica e lixiviação de potássio, que foram considerados eficientes para diferenciação de lotes quanto ao vigor.

Em pesquisa realizada com sementes de girassol, cujo o objetivo era avaliar o efeito de diferentes temperaturas (25°C, 27,5°C, 30°C e 32,5°C) na germinação e no desenvolvimento inicial da cultura, Santos e Zonetti (2009) concluíram que a temperatura influenciou tanto no percentual de germinação, quanto na velocidade de germinação, neste caso, o aumento da temperatura afetou negativamente o percentual de germinação, enquanto que temperaturas mais elevadas (30°C) resultaram em maior número de sementes germinadas por unidade de tempo, ou seja, maior velocidade.

No teste de primeira contagem de germinação, nas temperaturas de

16°C e 19°C, houve protrusão de radícula, porém, as plântulas ainda não apresentavam todas as estruturas para serem consideradas plântulas normais, no entanto na contagem final da germinação, observou-se que as temperaturas mais baixas o percentual de plântulas normais foi inferior e aumentou conforme se elevou a temperatura. A temperatura ótima para germinação nem sempre é a que irá expressar maior velocidade de germinação, pois quanto mais elevada é a temperatura mais rápida é a absorção de água e as reações químicas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000; MARCOS-FILHO, 2015a).

Tabela 3.3. Desdobramento dos efeitos simples da interação entre lotes de sementes de soja da cultivar BS2606IPRO e temperatura para as variáveis primeira contagem de germinação e germinação, Londrina-PR, 2018.

Fatores	Primeira contagem da germinação ¹			
	16 ²	19 ²	22 ²	25 ²
C	0 a ³	0 a	93 a	98 a
L1	0 a	0 a	35 f	94 a
L2	0 a	0 a	74 b	96 a
L3	0 a	0 a	76 b	94 a
L4	0 a	0 a	55 d	94 a
L5	0 a	0 a	67 c	96 a
L6	0 a	0 a	67 c	93 a
L7	0 a	0 a	47 e	93 a
L8	3 a	0 a	59 d	94 a
L9	0 a	0 a	55 d	96 a
L10	0 a	0 a	57 d	96 a
CV (%) = 9,31				
Fatores	Germinação ¹			
	16 ²	19 ²	22 ²	25 ²
C	75 a ³	88 a	96 a	98 a
L1	77 a	66 d	87 b	94 a
L2	71 a	80 b	90 b	96 a
L3	77 a	77 b	89 b	94 a
L4	70 a	61 e	84 c	94 a
L5	74 a	71 c	86 c	96 a
L6	73 a	73 c	85 c	93 a
L7	78 a	67 d	74 d	93 a
L8	74 a	71 c	81 c	94 a
L9	77 a	70 c	84 c	96 a
L10	75 a	67 d	84 c	96 a
CV (%) = 4,81				

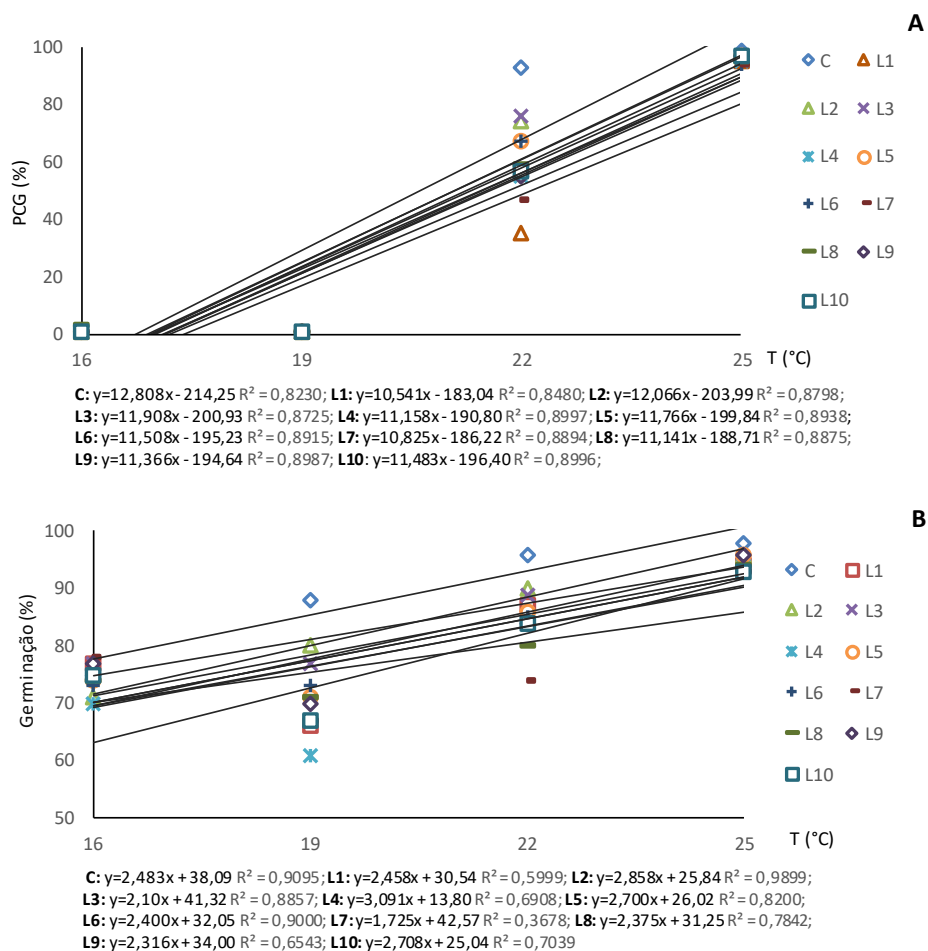
¹ %; ² °C; ³ Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

No teste de primeira contagem de germinação (5 dias) em função das temperaturas, os resultados apresentaram um ajuste linear crescente, com uma alta taxa de incremento, mas possibilitando a diferenciação dos lotes na temperatura de 22°C (Figura 3.1 A). Corroboram com os resultados apresentados por Lopes e Franke (2011) que avaliaram a germinação de sementes de *Lotus subbiflorus*, em

diferentes temperaturas e concluíram que a velocidade da germinação é linearmente dependente da temperatura, ou seja, é um fator limitante para do processo germinativo.

No teste de germinação (8 dias) em função da temperatura, os resultados apresentaram um ajuste linear crescente, porém com uma taxa de incremento menor. Entretanto duas temperaturas (19°C e 22°C) diferenciaram melhor os lotes com relação ao vigor (Figura 3.1 B).

Figura 3.1. Primeira Contagem da Germinação - PCG (A) e germinação (B) de diferentes lotes de sementes de soja da cultivar BS2606IPRO, em função de diferentes temperaturas (T).



A sensibilidade a temperatura pode ser causada pela combinação de dois fatores, a mudança na ordenação molecular de membranas e organelas, e o aumento da constante de velocidade de reações enzimáticas, que indicam uma alteração dos processos. Ou seja, a temperatura afeta as membranas não só das

células como dos componentes celulares: retículo endoplasmático, complexo de Golgi, mitocôndrias que faz com que ocorra a compartimentalização interna das células, que serve para ordenar e direcionar os processos metabólicos. Estudos com leguminosas, mostram que durante a embebição e a germinação ocorrem mudanças rápidas na respiração mitocondrial e, quando as sementes expostas às temperaturas subótimas a taxa respiratória é reduzida e, conseqüentemente, afeta a velocidade do processo de germinação das sementes (RAISON, 1973; DUKE et al., 1977; TAIZ et al., 2017).

Na análise correlação simples (Tabela 3.4) observou-se que para o teste de primeira contagem de germinação a baixa temperatura (5 dias), para 16°C e 19°C, os resultados foram muito baixos ou zero, impossibilitando o estabelecimento de índices de correlação. Já para temperatura de 22°C houve correlação significativa com todos os testes realizados na caracterização, exceto MSR, entretanto as correlações mais fortes foram com MSPA, TZ-Viab e CPA, respectivamente. Porém a correlação com a emergência de plântulas em campo foi mais forte do que com o envelhecimento acelerado.

O teste de germinação a baixa temperatura (8 dias), para 16°C não resultou em correlações significativas. Na temperatura de 19°C, foi significativo com os testes, exceto com a germinação, o que já era esperado, pois o teste de germinação, por ser conduzido em condições ideais, não é eficiente para segregar lotes com diferentes níveis de vigor. Novamente, as correlações mais fortes foram obtidas com os testes que avaliam desempenho de plântulas e com o E.A. Para a emergência de plântulas em campo houve correlação significativa, porém mais fraca. A 22°C, também houve correlação com todos os testes e uma forte correlação com emergência de plântulas em campo, mostrando que, ao mesmo tempo que a TGBT possibilita diferenciar lotes quanto ao vigor (Tabela 3.3), assim como expressa potencial para estimar o comportamento dos lotes em condições de campo.

Na cultura de algodoeiro, o teste de germinação a baixa temperatura (18°C) foi eficiente para estimar o desempenho de plântulas, quando comparado a outras condições de estresse como de déficit hídrico e alta temperatura, com base nas análises de desempenho de plântulas (comprimento de raiz e parte aérea), porém, na pesquisa, não houve correlação com a emergência de plântulas em campo, nem com o teste de germinação (MATTIONI; ALBUQUERQUE; MENDONÇA, 2009).

Segundo Schuab et al. (2006), que correlacionaram testes de avaliação do potencial fisiológico de soja com a emergência de plântulas em campo, constataram que foi possível observar que os testes de envelhecimento acelerado, germinação, tetrazólio e condutividade elétrica foram os que melhor se correlacionaram com a emergência de plântulas em campo. Entretanto, advertem que a interpretação dos resultados obtidos entre os testes de laboratório e de emergência de plântulas em campo não deve considerar apenas a análise de correlação, mas também a comparação de médias, uma vez que há grande variabilidade entre os resultados.

Estudo realizado com milho para avaliar o potencial fisiológico de lotes em condições de estresses hídrico e térmico, utilizou o teste de germinação a baixa temperatura (15, 16, 17 e 18°C) e submersão em água com diferentes temperaturas (20, 25 e 30°C) e períodos de exposição (24, 36, 48 e 72 horas), os resultados foram comparados com testes de vigor tradicionais e emergência de plântulas em campo e concluíram que o teste de submersão em água por 48 horas a 25 °C é promissor para avaliação do vigor de sementes de milho. Entretanto, sugerem novos estudos visando determinar uma metodologia consistente para a condução do teste de germinação a baixa temperatura (GRZYBOWSKI; VIEIRA; PANOBIANCO, 2015).

Pela análise de eletroforese de DNA extraído da radícula de plântulas de soja, 24 horas após a exposição das sementes diferentes métodos de disponibilidade de água para embebição, foi possível detectar que a velocidade de absorção que ocorre nas primeiras horas da germinação, quando as sementes foram imersas na água, afeta a integridade das membranas e do DNA, causando perda no desempenho das sementes, esse efeito negativo se intensificou quando combinado com a temperatura baixa (20°C) (PEREIRA; MASETTO, 2021). Na prática, situação de chuvas logo após semeadura, associada a baixa temperatura do solo, podem expor as sementes a essa condição de estresse, afetar o processo natural de replicação e transcrição do DNA, impactando na perda de viabilidade celular (WATERWORTH et al., 2011).

Temperaturas abaixo da ótima recomendada para germinação tornam o processo de embebição mais lento (ZUCARELI et al., 2011), podendo dificultar a reorganização das membranas celulares (CARVALHO et al., 2009), sendo este fato influenciado pelo potencial fisiológico e genótipo das sementes. Por

isso, a necessidade de ajustar um período e uma temperatura que melhor possa proporcionar a expressão do vigor, sem subestimar ou superestimar o resultado e que apresente uma boa correlação com a emergência de plântulas em campo.

O efeito do vigor das sementes sobre a produtividade das culturas, foi evidenciado em várias pesquisas (KOLCHINSKI et al., 2006; SCHEEREN et al., 2010; SILVA, 2010). Portanto, o vigor das sementes deve ser visto não apenas como um valor numérico, mas sim como um conceito de qualidade, cheio de complexidades, por isso que, até os dias atuais, não foi possível normatizar testes para avaliação de vigor. Talvez um dos principais gargalos seja correlacionar os resultados obtidos em laboratório com a emergência em campo, pois depende do tipo de adversidade que a semente vai encontrar após a semeadura, e, em país como o Brasil, que produz soja em praticamente todo o seu território e possui uma diversidade climática em toda sua extensão, uniformizar padrões de vigor é um desafio gigantesco para a pesquisa.

Tabela 3.4. Coeficientes de correlação simples entre os parâmetros dos testes de primeira contagem de germinação (PCG) e germinação, nas temperaturas de 16°C, 19°C e 22°C, com os testes de caracterização da qualidade fisiológicas dos 11 lotes da cultivar BS2606IPRO de soja. Londrina, 2019.

Testes	Temperaturas					
	16°C		19°C		22°C	
	PCG	Germinação	PCG	Germinação	PCG	Germinação
G	-	0.136 ^{ns}	-	0.269 ^{ns}	0.394*	0.392*
E.A	-	0.029 ^{ns}	-	0.514*	0.340**	0.597*
TZ-Viabi	-	-0.201 ^{ns}	-	0.466*	0.587*	0.455*
TZ-Vigor	-	-0.082 ^{ns}	-	0.322**	0.484*	0.618*
CPA	-	-0.063 ^{ns}	-	0.476*	0.532*	0.446*
CR	-	-0.037 ^{ns}	-	0.547*	0.470*	0.450*
MSPA	-	0.032 ^{ns}	-	0.732*	0.634*	0.705*
MSR	-	0.049 ^{ns}	-	0.322**	0.113 ^{ns}	0.417*
E.C.	-	-0.189 ^{ns}	-	0.332**	0.453*	0.677*

*: significativo a 1%; **: significativo a 5%; ^{ns}: Não significativo pelo teste de F; G (germinação); E.A (envelhecimento acelerado); TZ-Viabi (tetrazólio viabilidade); TZ-Vigor (tetrazólio vigor); CPA (comprimento de parte aérea); CR (comprimento de raiz); MSPA (massa seca de parte aérea); MSR (massa seca de raiz) e E.C. (emergência de plântulas em campo).

Alguns testes vêm sendo utilizados em soja com bastante eficácia para determinação de vigor e diferenciação de lotes, dentre eles o envelhecimento acelerado, tetrazólio, análise de imagens, condutividade elétrica, primeira contagem, separação de plântulas fortes e fracas e ainda os testes baseados no desempenho de plântulas (comprimento e massa seca de raiz e parte aérea, índice de velocidade

de emergência, entre outros) (MARCOS FILHO, 2015b). Entretanto, a escolha do teste que melhor represente a emergência em campo, vai depender de cada situação, deve-se analisar as particularidades. Assim, as empresas buscam estratégias de controle de qualidade baseadas nas suas realidades, muitas vezes na tentativa e erro (WENDT et al., 2017; GRZYBOWSKI; VIEIRA; PANOBIANCO, 2015). A possibilidade de ter mais alternativas de metodologias para avaliação de vigor, torna-se interessante para os programas de controle de qualidade.

3.5 CONCLUSÕES

A germinação (8 dias) na temperatura de 22°C, se correlaciona com a emergência de plântulas em campo, fazendo deste, um teste potencial para avaliação do vigor de sementes de soja.

A temperatura de 16°C não resulta em plântulas normais na primeira contagem de germinação (cinco dias) e na germinação (oito dias) não foi capaz de diferenciar os lotes de sementes de soja quanto ao vigor, e também não se correlaciona com os demais testes de qualidade fisiológica.

A germinação a 19°C e a primeira contagem de germinação a 22°C permitem a estratificação dos lotes quanto ao potencial fisiológico.

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. 2009. 399 p.

CANTARELLI, L. D.; SCHUCH, L. O. B.; TAVARES, L. C.; RUFINO, C. A. Variabilidade de plantas de soja originadas de sementes de diferentes níveis de qualidade fisiológica. **Acta Agronômica**, v. 64, n.3, p. 234-238, 2015.

Disponível em: <http://search.proquest.com/openview/2be8cddaba4f8fd2d6db955ec8f4fdff/1?pqorigsite=gscholar>. Acesso em: 21 nov. 2021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n3.45511>.

CARVALHO, N. M; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 424p, 2000.

CARVALHO, L. F.; SEDIYAMA, C. S.; REIS, M. S.; DIAS, D. C. F. S.; MOREIRA, M. A. Influência da temperatura de embebição da semente de soja no teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 9-17, 2009.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Portal de informações agropecuárias**. 2021.

Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-estimativa-de-evolucao-graos.html>. Acesso em: 12 nov. 2021.

DIAS, D. C. F. S.; ALVARENGA, E. M. Teste de germinação a baixa temperatura. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina-PR: ABRATES, 1999. p. 7-1 – 7-4.

DUKE; S.H.; SCHRADER, L. E.; MILLER, M.G. Low temperature effects on soybean (*Glycine max* [L.] Merr. cv. Wells) mitochondrial respiration and several dehydrogenases during imbibition and germination. *Plant Physiology*. v. 60, p. 716-722, 1977

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina-PR. Embrapa Soja, 2018. 108p.

GAZOLLA-NETO, A.; FERNANDES, M. C.; GOMES, A. D.; GADOTTI, G. I.; VILLELA, F. A. Distribuição espacial da qualidade fisiológica de sementes de soja em campo de produção. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 119-127, 2015. Disponível em: http://periodicos.ufersa.edu.br/revistas/index.php/sistema/article/view/4342/pdf_283. Acesso em: 21 nov. 2021.

- GRZYBOWSKI, C. R. S.; VIEIRA, R. D.; PANOBIANCO, M. Testes de estresse na avaliação do vigor de sementes de milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 3, p. 590-596, jul-set, 2015
- ILBI, H., KAVAK, S., ESER, B. Cool germination test can be an alternative vigour test for maize. *Seed Science & Technology*, 37, 516-519, 2009.
Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20093360052>. Acesso em: 08/04/2022.
- KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S.T. Crescimento inicial de soja em função do vigor das sementes. *Revista Brasileira Agrociência*, Pelotas, v. 12 n° 2, p. 163-166, abr-jun, 2006.
- KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. A alta qualidade de sementes de soja: fator importante para a produção da cultura. **EMBRAPA**, Circular técnica 136, Londrina, maio 2018.
- LOPES, R. R.; FRANKE, L. B. Aspectos térmico-biológicos da germinação de sementes de cornichão anual sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.10, p.2091-2096, 2011
- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2° ed. Londrina: Ed. ABRATES, 2015a. 660p.
- MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: na overview of the past, presente and future perspective. **Scientia Agrícola**, v. 72, n. 4, p. 363-374, jul./aug. 2015b.
- MARCOS-FILHO, J. Testes de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina-PR: ABRATES, 1999. p. 3-1 – 3-24.
- MATTIONI, F; ALBUQUERQUE, M. C. F.; MENDONÇA, E. A. F. Desempenho de sementes de algodoeiro submetidas a diferentes tipos de estresses. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 080-085, 2009.
- MATTIONI, F.; ALBUQUERQUE, M. C. F.; MARCOS-FILHO, J.; GUIMARÃES, S. C. Vigor de sementes e desempenho agrônomico de plantas de algodão. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 34, n. 1, p. 108-116, 2012.
Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbs/v34n1/a14v34n1>. Acesso em: 21 nov. 2021.
- MENDIBURU, F. Package 'agricolae_1.3-5.tar.gz'. 2021.
Disponível em: <https://cran.rproject.org/web/packages/agricolae/index.html>. Acesso em: 23 fev. 2022.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina-PR: ABRATES, 1999. p. 2-1 – 2-24.

PEREIRA, L. S., MASETTO, T. E. Water uptake dynamics in soybean seeds: influence in seeds performance and DNA integrity. *Ciência Rural*, v.51, n.3, 2021.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília, DF: AGIPLAN, 1977

RAISON, J.K. The influence of temperature-induced phase changes on the kinetics of respiratory and other membrane-associated enzyme systems. *J Bioenerg*, v.4, p.285-309, 1973.

SANTOS, G. A.; ZONETTI, P. C. Influência da temperatura na germinação e desenvolvimento do girassol (*Helianthus annuus* L.). **Iniciação Científica – CESUMAR**, v. 11, n. 1, p. 23-27, 2009.

SBRUSSI, C. A. G.; ZUCARELI, C. Germinação de sementes de milho com diferentes níveis de vigor em resposta à diferentes temperaturas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 1, p. 215-226, 2014.

SCHEEREN, B. Escolha de variedades e planejamento de semeadura. *SEED News*, Pelotas, Ano XIV, n 4, p. 10-11, 2010.

SCHUAB, S. R. P.; BRACCINI, A. L.; FRANÇA NETO, J. B.; SCAPIM, C. A.; MESCHÉDE, D. K. Potencial fisiológico de sementes de soja e sua relação com a emergência das plântulas em campo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 28, n. 4, p. 553-561, 2006.

SILVA, C.S. **Vigor de sementes de soja e desempenho da cultura**. 2010. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. Pelotas – RS, 2010.

SILVA, M.G.; ALMEIDA, T.L.; SCHEUNEMANN, L.C; SILVA, R.N.O.; PANOZZO, L.E. Qualidade fisiológica de sementes de soja com diferentes teores iniciais de umidade. **Centro Científico Conhecer** - Goiânia, v.13 n.23; p.1695, 2016.

SOUZA, G. E.; STEINER, F.; ZOZ, T.; OLIVEIRA, S. S. C.; CRUZ, S. J. S. Comparação entre métodos para a avaliação do vigor de sementes de algodão. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v.1, n.2, p.35-41, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia de**

Desenvolvimento Vegetal. 6. Ed. Porto Alegre, Artmed, 2017, 858 p.

TAVARES, L.C.; RUFINO, C.A.; BRUNES, A.P.; TUNES, L.M.; BARROS, A.C.S.A.; PESKE, S.T. Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: rendimento e qualidade fisiológica da geração F1. **Ciência Rural**. v. 43, n. 8, p. 1357-1363, 2013.

Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v43n8/a22213cr2012-0950.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2021.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013000800003>

WATERWORTH, W. M., DRURY, G. E., BRAY, C. M., WEST, C. E. Repairing breaks in the plant genome: the importance of keeping it together. *New Phytologist*, v.192, n.4, p.805-822, 2011.

Disponível em: <<https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1469-8137.2011.03926.x>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

WENDT, L.; MALAVASI, M. M.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; GOMES JUNIOR, F. G. Relação entre testes de vigor com a emergência a campo em sementes de soja. *Agrária – Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v.12, n° 2, p. 166-171, 2017.

Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318041180_Relacao_entre_testes_de_vigor_com_a_emergencia_a_campo_em_sementes_de_soja. Acesso em: 03 ago. 2018.

ZUCARELI, C.; CAVARIANI, C.; OLIVEIRA, E. A. P.; NAKAGAWA, J. Métodos e temperaturas de hidratação na qualidade fisiológica de sementes de milho. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 684-692, 2011.

4 ARTIGO B - COMPORTAMENTO DE CULTIVARES DE SOJA NA AVALIAÇÃO DE VIGOR DE SEMENTES PELO TESTE DE GERMINAÇÃO A BAIXA TEMPERATURA

4.1 RESUMO

A temperatura é um fator determinante para a germinação, emergência e adequado estabelecimento da cultura no campo, pois quanto mais baixa, mais lenta é a absorção e a ativação das reações químicas para a retomada do crescimento do embrião. A germinação a baixa temperatura pode ser eficiente na separação de lotes de sementes de soja quanto ao vigor, entretanto, existem variações na velocidade de absorção de água pelas sementes de diferentes cultivares de soja, que são resultados da composição bioquímica das sementes, da resposta do genótipo ao estresse. Neste sentido, objetivou-se avaliar o comportamento germinativo e atividade enzimática de lotes e cultivares de soja na avaliação do vigor de sementes pelo teste de germinação a baixa temperatura. Foram utilizadas sementes de seis cultivares (BMX Potência RR, TMG 7062 IPRO, M6410IPRO, 63164RSF IPRO, BS2606IPRO e TMG7067IPRO), sendo quatro lotes de cada, com características físicas e germinação inicial semelhantes. Para a caracterização da qualidade fisiológica de sementes, foram avaliados: germinação, envelhecimento acelerado, tetrazólio, comprimento e massa seca da parte aérea e de raiz de plântulas e emergência de plântulas em campo. Para o teste de avaliação do vigor das sementes sob germinação a baixa temperatura (TGBT) foram utilizadas diferentes temperaturas (16°C; 19°C; 22°C; e 25°C) com avaliação da primeira (PCG) e segunda (TGBT) contagem de germinação. Também foram avaliadas as proteínas solúveis totais (PROT) e a atividade da enzima catalase (CAT), utilizando extratos de parte aérea e de raiz das plântulas das seis cultivares, submetidas a germinação nas temperaturas de 16°C e 22°C. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e as médias dos lotes comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Para PCG, TGBT, PROT e CAT os lotes de cada cultivar, foram comparados dentro de cada temperatura subótima e as cultivares comparadas entre si, com estudo de regressão até 2º a 5% de significância para efeitos de temperaturas. O teste de primeira contagem de germinação à 22°C e germinação a baixa temperatura a 16°C e a 19°C permitem estratificar lotes e

cultivares de soja quanto ao vigor de sementes. As cultivares apresentam comportamentos distintos quanto a germinação, proteínas solúveis totais e atividade da enzima catalase atividades enzimáticas em resposta a baixa temperatura para germinação. A cultivar 63I64RSF IPRO mostrou-se mais tolerante ao estresse de frio causado pelo teste de germinação a baixa temperatura.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merril. Cultivares. Proteínas solúveis. Catalase. Estresse térmico. Potencial Fisiológico.

BEHAVIOR OF SOYBEAN CULTIVARS IN THE ASSESSMENT OF SEED VIGOR BY THE LOW TEMPERATURE GERMINATION TEST

ABSTRACT:

Temperature is a determining factor for germination, seedling emergence, and proper crop establishment in the field, as lower temperatures result in slower absorption and activation of chemical reactions for embryo growth resumption. Germination at low temperatures can be effective in differentiating lots of soybean seeds in terms of vigor. However, variations in water absorption rate among seeds of different soybean cultivars exist due to differences in seed biochemical composition and genotype response to stress. In this regard, the objective was to evaluate the germination behavior and enzymatic activity of soybean lots and cultivars in assessing seed vigor through the low-temperature germination test. Seeds from six cultivars (BMX Potência RR, TMG 7062 IPRO, M6410IPRO, 63I64RSF IPRO, BS2606IPRO, and TMG7067IPRO) were used, with four lots of each, exhibiting similar physical characteristics and initial germination. The physiological quality of the seeds was characterized through germination, accelerated aging, tetrazolium, length and dry weight of seedling shoots and roots, and field seedling emergence. For the evaluation of seed vigor using the low-temperature germination test (TGBT), different temperatures (16°C, 19°C, 22°C, and 25°C) were used, with assessment of the first (PCG) and second (TGBT) germination counts. Total soluble proteins (PROT) and catalase enzyme activity (CAT) were also evaluated using extracts from the shoots and roots of the six cultivars subjected to germination at 16°C and 22°C. The data obtained were subjected to analysis of variance, and the means of the lots were

compared using the Scott-Knott test at a 5% significance level. For PCG, TGBT, PROT, and CAT, the lots of each cultivar were compared within each suboptimal temperature, and the cultivars were compared among themselves, with regression analysis performed up to the second degree at a 5% significance level for temperature effects. The first germination count test at 22°C and low-temperature germination at 16°C and 19°C allow for stratification of soybean lots and cultivars in terms of seed vigor. Cultivars exhibit distinct behaviors in terms of germination, total soluble proteins, and catalase enzyme activity in response to low-temperature germination. The cultivar 63I64RSF IPRO showed greater tolerance to cold stress induced by the low-temperature germination test.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merril. Cultivars. Soluble proteins. Catalase. Thermal stress. Physiological potential..

4.2 INTRODUÇÃO

A sensibilidade de sementes viáveis às adversidades do campo varia de acordo com o grau de deterioração (WENDT et al., 2017). Nesse sentido, pode-se exemplificar com a condição climática desfavorável de baixas temperaturas que ocorrem nos meses de setembro e outubro, época de semeadura da soja, na região Sul do Brasil.

O baixo vigor das sementes tem sido associado a reduções na velocidade e porcentagem de emergência, causando desuniformidade e prejudicando o estabelecimento da lavoura, conseqüentemente a produtividade (KOLCHINSKI et al., 2006; DELLAGOSTIN et al., 2017).

Para amenizar os efeitos das incertezas meteorológicas, a escolha de cultivares adaptadas e o uso de sementes de alta qualidade são imprescindíveis, para não comprometer a implantação e o desenvolvimento da cultura da soja.

Pesquisas têm mostrado que além dos fatores ambientais, a qualidade fisiológica de sementes de soja é também influenciada pelo genótipo, principalmente as características ligadas ao teor de lignina do tegumento, que pode influenciar na sua espessura e, por conseguinte, na regulação de absorção de água, trocas gasosas, fragilidade e suscetibilidade ao dano mecânico, afetando a qualidade e o desempenho das sementes (MENEZES et al., 2009; ATKINSON;

URWIN, 2012; PEREIRA; MASETTO, 2021).

Existem variações na velocidade de absorção de água pelas sementes de diferentes cultivares de soja, que são resultados da composição bioquímica das sementes e também são fortemente influenciadas pela temperatura, uma vez que quanto mais baixa, mais lenta é a absorção e a ativação das reações químicas para a retomada do crescimento do embrião, além disso, há cultivares que toleram uma faixa mais ampla de variação de temperatura (COSTA et al., 2002; CHEBRULU et al., 2016; SZCZERBA et al., 2021).

As plantas podem ser classificadas em resistentes ou sensíveis ao frio. A soja é uma espécie sensível ao frio em que uma interrupção no crescimento e/ou lesão pode ocorrer desde a germinação até o amadurecimento das sementes (HOLMBERG, 1973). Essas condições de estresse em que as sementes e plântulas podem ser submetidas desencadeiam eventos integrados que podem ocorrer em níveis diferentes de desenvolvimento, ocasionando alterações morfológicas, anatômicas, celulares e bioquímicas que podem ser constatadas em diversos estádios de desenvolvimento da planta, em diferentes espécies, com duração e intensidades distintas (MARINI et al., 2013).

As exposições ao estresse induzem as plantas a acumular espécies reativas de oxigênio (EROs), que são como subprodutos do metabolismo aeróbico e fotossintético, que atuam como componentes de diversas vias de sinalização, mas ao serem submetidas a desequilíbrio ocasionam o início do estresse oxidativo. Uma das alterações é o aumento da fotorrespiração dos cloroplastos adjacentes, onde o glicolato é oxidado a aldeído ácido glioxilato, durante essa conversão é produzido peróxido de hidrogênio, o qual pode facilmente destruir outros compostos. Diante disso, a catalase, que é uma enzima presente nos peroxissomos, cloroplastos e mitocôndrias, converte o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em água (H_2O), liberando oxigênio (O_2), protegendo a célula de processos deteriorativos (BARBOSA et al., 2014; TAIZ et al., 2017).

Quando as sementes são submetidas aos testes de vigor com o objetivo de causar estresse, esses processos oxidativos são acionados. As avaliações das enzimas do sistema antioxidativo se torna uma alternativa enriquecedora durante o processo inicial do desenvolvimento e germinação de sementes, podendo ser utilizadas para classificação de lotes de sementes quanto ao vigor ou para elucidar a respostas das sementes a determinada condição de

estresse (TOMMASI et al., 2001).

Na determinação do vigor são analisados os atributos da qualidade fisiológica, os quais podem considerar condições de estresse ou através da mensuração do declínio de alguma função bioquímica ou fisiológica (MARCOS-FILHO, 2015). A escolha dos testes de vigor deve levar em consideração os que melhor predizem o estabelecimento de plântulas no campo.

O vigor das sementes deve ser visto não apenas como uma estimativa numérica, mas sim como um conceito de qualidade, pois é a combinação de características que determinam o potencial de desempenho do lote após a semeadura. Os testes de vigor utilizados em soja, sobretudo os que preconizam o estresse térmico por alta temperatura, têm possibilitado a diferenciação de lotes de cultivares na emergência de plântulas no campo, entretanto, não é o caso, quando as sementes destes lotes são expostas à semeadura em condições de baixa temperatura do solo.

Perante o exposto, objetivou-se avaliar o comportamento germinativo e atividade enzimática de lotes e cultivares de soja na avaliação do vigor de sementes pelo teste de germinação a baixa temperatura.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina – UEL, em Londrina, Paraná e em parceria com Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR-EMATER (IDR-Paraná), em Londrina, Paraná.

O experimento foi realizado com sementes de seis cultivares de soja (BMX Potência RR; TMG 7062 IPRO; M6410IPRO; 63I64RSF IPRO; BS2606IPRO; e TMG7067IPRO). Foram avaliadas amostras de quatro lotes de cada cultivar, produzidos na safra agrícola 2018/2019, com características físicas e germinação inicial semelhantes e dentro dos padrões de comercialização para a espécie, diferindo-se quanto ao vigor.

4.3.1 Caracterização Inicial da Qualidade Fisiológica das Sementes

Para caracterização da qualidade inicial dos lotes de sementes

foram realizados os seguintes testes: germinação, envelhecimento acelerado, tetrazólio, comprimento de plântulas e massa seca de parte aérea e de raiz de plântulas e emergência de plântulas em campo, conforme metodologias descritas a seguir:

Germinação: realizado conforme as Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009), com oito sub-amostras de 50 sementes, compondo 4 repetições de 100 sementes, colocadas em rolo de papel (RP), utilizando 3 folhas de papel Germitest®, umedecidos com água na proporção de 2,5 vezes o seu peso seco. Após a instalação, as sementes foram acondicionadas em germinador com temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, e realizada a primeira contagem com 5 dias, finalizando o teste com 8 dias. O resultado é expresso em percentual de plântulas normais.

Envelhecimento acelerado: O período de envelhecimento das sementes foi de 48 horas à temperatura de 41°C , em umidade relativa próxima a 100% (MARCOS-FILHO, 1999). Para obter esta condição 200 sementes foram acondicionadas em uma tela, sem sobreposição, e encaixada na caixa de acrílico, tipo gerbox com tela e tampa, na qual, adicionou-se 50 mL de água, de depois foram fechadas com tampa para formar uma câmara úmida. Os recipientes ficaram em equipamento do tipo Biochemical Oxygen Demand (B.O.D.). Após o envelhecimento, procedeu com o teste conforme a metodologia descrita para germinação, com quatro repetições de 50 sementes e a leitura foi realizada 5 dias após a instalação da germinação, sendo o resultado expresso em percentual de plântulas normais.

Tetrazólio: para avaliação da viabilidade (classes 1-5) e o vigor (classes 1-3) das sementes, o ensaio foi realizado com quatro repetições de 50 sementes. As sementes já contadas e separadas, foram pré-acondicionadas em papel de germinação umedecido 2,5 vezes o peso do papel seco, por um período de 16 horas à 25°C , depois foram imersas em solução 0,075% de 2,3,5- trifenil cloreto de tetrazólio, sendo, então, mantidas em estufa a 38°C por três horas para a coloração. Em seguida, foram lavadas e avaliadas individualmente, com resultados expressos em porcentagem (FRANÇA-NETO; KRZYZANOWSKI, 2018).

Comprimento de plântulas: realizado seguindo a metodologia do teste de germinação, com quatro repetições de 20 sementes (duas fileiras de 10), acomodadas na parte superior do rolo de papel para que tenham espaço suficiente e sem barreiras para o desenvolvimento das raízes, o resultado é expresso pela média

ponderada em centímetros (NAKAGAWA, 1999).

Massa seca: Para determinar a massa seca foram utilizadas as plântulas do teste de comprimento de plântulas. Após a medição, foram removidos os cotilédones, separados em parte aérea e raiz, sendo plúmula e hipocótilo considerado parte aérea. As porções foram acondicionadas em sacos de papel para secagem em estufa de ar forçado a temperatura de 80°C até a desidratação completa, com pesagem em balança analítica com precisão de 0,001 g (NAKAGAWA, 1999).

Emergência de plântulas no campo: foram utilizados canteiros de solo revolvido e nivelado, no qual abriu-se sulcos de aproximadamente 3,0 cm de profundidade e foram acondicionadas 50 sementes por linha, com espaçamento de 10 cm entre as linhas e cerca de 2,0 cm entre as sementes na linha. Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes, em blocos casualizados, totalizando 200 sementes por tratamento (KRZYZANOWSKI; FRANÇA NETO; HENNING, 2018). Para obter homogeneidade entre os blocos, foram tomados alguns cuidados, como irrigar um dia antes o local, com o intuito de uniformizar a umidade do solo e minimizar danos por embebição ou déficit hídrico, após semeadura e, irrigar somente no dia seguinte a semeadura. O teste foi realizado no final do inverno, quando a temperatura do solo ainda está baixa, possibilitando expressar o vigor dos lotes sob condições ambientais de estresse por baixas temperaturas do solo. A avaliação foi realizada 12 dias após a instalação do teste, com resultado expresso em percentual de plântulas emergidas.

Os dados dos testes da caracterização inicial dos atributos fisiológicos, os dados obtidos em cada teste foram analisados separadamente através da análise de variância e as médias dos lotes comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade (Tabela 4.1).

Os lotes de sementes das seis cultivares de soja, apresentaram percentual de germinação semelhantes, não houve diferença estatísticas entre os diferentes lotes, dentro de cada cultivar. Entretanto, o vigor diferenciou-se pelos testes de envelhecimento acelerado (EA) e tetrazólio (TZ vigor) para os lotes das cultivares TMG7067IPRO, M6410IPRO, já BS2606IPRO e TMG 7062 IPRO foram diferenciadas pelo EA e pelo comprimento da parte aérea (CPA). As cultivares 63164RSF IPRO e BMX Potência RR diferenciaram-se pelo TZ vigor e a última também pelo CPA. O teste de emergência de plântulas em campo, possibilitou

diferenciar estatisticamente, somente os lotes das cultivares M6410IPRO e TMG 7062 IPRO.

Tabela 4.1. Caracterização inicial da qualidade fisiológica dos lotes de sementes de soja, das seis cultivares utilizados no experimento, Londrina-PR, 2019.

Cultivar:		BMX Potência RR							
Lotes	G ¹	EA ¹	TZ Viab ¹	TZ Vigor ¹	EC ¹	MSR ²	MSPA ²	CR ³	CPA ³
L1	91 a ⁴	84 a	94 a	77 b	90 a	0,122 a	0,487 a	7,60 a	12,64 b
L2	92 a	84 a	93 a	85 a	92 a	0,113 a	0,480 a	7,57 a	12,86 b
L3	92 a	88 a	93 a	84 a	93 a	0,128 a	0,518 a	7,68 a	14,23 a
L4	90 a	85 a	95 a	82 a	90 a	0,114 a	0,470 a	7,56 a	13,46 a
CV %	2,74	3,67	2,49	3,52	2,62	6,69	8,90	8,64	4,32
Cultivar:		TMG 7062 IPRO							
Lotes	G ¹	EA ¹	TZ Viab ¹	TZ Vigor ¹	EC ¹	MSR ²	MSPA ²	CR ³	CPA ³
L1	91 a ⁴	88 a	86 a	68 a	98 a	0,136 a	0,451 a	4,53 a	12,27 b
L2	91 a	83 b	86 a	59 a	94 a	0,141 a	0,472 a	5,38 a	12,72 b
L3	89 a	79 b	88 a	64 a	86 b	0,149 a	0,416 a	4,86 a	12,78 b
L4	89 a	79 b	88 a	66 a	86 b	0,141 a	0,436 a	4,96 a	14,34 a
CV %	3,84	3,45	3,23	9,31	2,74	13,13	9,49	9,96	5,82
Cultivar:		M6410IPRO							
Lotes	G ¹	EA ¹	TZ Viab ¹	TZ Vigor ¹	EC ¹	MSR ²	MSPA ²	CR ³	CPA ³
L1	91 a ⁴	79 b	96 a	84 a	92 a	0,130 a	0,373 a	5,81 a	11,51 a
L2	93 a	79 b	93 a	86 a	92 a	0,140 a	0,422 a	6,44 a	12,06 a
L3	92 a	88 a	92 a	85 a	83 b	0,140 a	0,461 a	6,61 a	13,53 a
L4	88 a	82 b	92 a	79 b	91 a	0,140 a	0,403 a	5,99 a	12,93 a
CV %	3,54	4,34	2,60	4,18	2,76	10,68	8,04	7,07	8,52
Cultivar:		63164RSF IPRO							
Lotes	G ¹	EA ¹	TZ Viab ¹	TZ Vigor ¹	EC ¹	MSR ²	MSPA ²	CR ³	CPA ³
L1	93 a ⁴	79 a	89 b	66 b	95 a	0,192 a	0,566 a	6,48 a	14,39 a
L2	91 a	86 a	95 a	79 a	94 a	0,178 a	0,550 a	6,18 a	13,30 a
L3	93 a	81 a	89 b	72 a	97 a	0,176 a	0,607 a	6,16 a	11,43 a
L4	89 a	84 a	85 b	63 b	96 a	0,164 a	0,523 a	6,04 a	12,67 a
CV %	3,49	4,38	4,11	7,50	2,27	11,82	7,08	9,96	10,03
Cultivar:		BS2606IPRO							
Lotes	G ¹	EA ¹	TZ Viab ¹	TZ Vigor ¹	EC ¹	MSR ²	MSPA ²	CR ³	CPA ³
L1	94 a ⁴	90 a	93 a	87 a	95 a	0,134 a	0,468 a	7,20 a	13,72 a
L2	93 a	89 a	92 a	85 a	94 a	0,125 a	0,427 a	7,65 a	13,78 a
L3	93 a	86 b	93 a	84 a	94 a	0,130 a	0,445 a	7,02 a	12,39 b
L4	94 a	84 c	94 a	85 a	95 a	0,134 a	0,454 a	7,26 a	14,24 a
CV %	2,52	1,41	1,86	2,03	1,94	11,92	8,47	7,34	5,92
Cultivar:		TMG7067IPRO							
Lotes	G ¹	EA ¹	TZ Viab ¹	TZ Vigor ¹	EC ¹	MSR ²	MSPA ²	CR ³	CPA ³
L1	90 a ⁴	78 d	89 a	78 c	92 a	0,160 b	0,544 a	6,08 a	13,04 a
L2	90 a	82 c	89 a	80 c	91 a	0,203 a	0,563 a	5,44 a	11,81 b
L3	93 a	87 b	91 a	83 b	93 a	0,192 a	0,538 a	6,26 a	13,45 a
L4	90 a	92 a	91 a	87 a	91 a	0,200 a	0,574 a	6,26 a	14,13 a
CV %	2,95	2,44	2,31	2,07	2,37	11,22	8,53	12,05	7,30

¹%; ²g; ³cm; ⁴Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Coeficiente de Variação (CV); Germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), tetrazólio viabilidade (TZ_Viab), tetrazólio vigor (TZ_Vigor), emergência de plântulas em campo (EC), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), comprimento da raiz (CR), comprimento da parte aérea (CPA).

4.3.2 Germinação Sob Baixa Temperatura para Avaliação de Vigor das Sementes

Para avaliação do vigor das sementes sob germinação a baixa temperatura (TGBT) foram utilizadas oito sub-amostras de 50 sementes, compondo 4 repetições formadas por 2 pares de 50 sementes, em rolos de papel Germitest®, umedecidos com água destilada, na quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato seco (DIAS; ALVARENGA, 1999), sendo em seguida mantidos nos germinadores do tipo BOD, sob diferentes temperaturas (16°C; 19°C; 22°C; e 25°C). Foram avaliados com cinco dias os percentuais de plântulas normais, denominado primeira contagem de germinação (PCG) e a germinação final (TGBT) foi avaliada no oitavo dia, onde contabilizou-se plântulas normais, plântulas anormais, sementes duras e mortas, sendo os resultados expressos em percentuais.

4.3.3 Atividade Enzimática das Plântulas de Soja

Para avaliação da atividade enzimática as sementes de soja foram primeiramente submetidas ao teste de germinação a baixa temperatura, conforme descrito no item 4.3.2. Foram utilizadas 4 repetições com 20 sementes cada, espaçadas de forma equidistante e colocadas para germinar nas temperaturas de 16°C e 22°C. Após o oitavo dia de germinação, as plântulas normais e livre de contaminantes foram tomadas aleatoriamente do rolo de papel, separadas em parte aérea (hipocótilo) e radicular, com retirada de aproximadamente 10 gramas de amostra. O material vegetal foi então acondicionado em sacos de papel devidamente identificados e levados para o congelamento rápido em nitrogênio líquido e armazenados em ultra freezer a temperatura -80 °C até o momento das análises.

Foi determinado através de extrato enzimático bruto proteínas solúveis totais e atividade da enzima catalase (CAT).

Os extratos vegetais necessários para as análises de teor de proteína e atividade da catalase (CAT) foram obtidos com aproximadamente 0,500 g do material vegetal que foi macerado em nitrogênio líquido, com auxílio de cadinho previamente resfriados, adicionado 10 mL do tampão fosfato de potássio 50mM (pH 7,0) e 1% (p/v) de polivinilpolipirrolidona, previamente resfriado e centrifugados durante 10 minutos a 7500 rpm a 4°C. O sobrenadante foi coletado com auxílio de

pipeta e transferido para microtubos do tipo “eppendorfs” de 2 mL e mantidos em freezer a -14°C até o momento das análises.

Os extratos vegetais foram submetidos à quantificação de proteínas solúveis totais, realizada pelo método descrito por Bradford (1976), essa metodologia é baseada na mudança da coloração do reagente Coomassie Brilliant Blue G-250 quando ligado a proteína. Dessa forma, foi realizada a curva de calibração do reagente, utilizando albumina de soro bovino (BSA 0 – 15 $\mu\text{g. } \mu\text{L}^{-1}$) como padrão. Para a análise foram utilizados 30 μL do extrato da parte aérea e 120 μL do extrato da radícula, os quais foram transferidos para tubos de ensaio, adicionados 570 e 480 μL de água destilada, respectivamente, e 2,4 mL do reagente de Bradford. A leitura foi realizada em espectrofotômetro modelo Evolution 300 UV-VIS a 595nm. A concentração de proteínas totais foi calculada pela comparação das leituras dos materiais com as obtidas na curva padrão, e expressa em mg de proteína g^{-1} de matéria fresca.

Para atividade da catalase (CAT) utilizou-se 200 μL do extrato vegetal em 2,8 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM (pH 7,0 + 0,1 mM EDTA), contendo 15 mM de peróxido de oxigênio, realizando-se as leituras a 240 nm no modo Kinect com 8 ciclos de 30 segundos. A atividade enzimática foi determinada pela decomposição do H_2O_2 durante 1 min, considerando o coeficiente de extinção molar do H_2O_2 de $36,0 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ para calcular a atividade da enzima, expressa em $\text{mmol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg proteína}^{-1}$ (CAT).

4.3.4 Delineamento Experimental

Para todos os testes foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com quatro repetições para cada tratamento formado a partir da combinação do cultivar e lote, com as temperaturas de germinação.

Para os testes de primeira contagem de germinação (PCG), germinação a baixa temperatura (TGBT), proteína e CAT os lotes de cada cultivar foram comparados dentro de cada temperatura subótima e as cultivares comparadas entre si. O efeito da temperatura foi estudado pela de regressão até 2° a 5% de significância.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da análise de variância está apresentado na Tabela 4.2. Houve interação significativa entre os fatores temperatura x lotes das cultivares, exceto a cultivar M6410IPRO que na variável primeira contagem de germinação (PCG) demonstrou efeito significativo para o fator temperatura.

Tabela 4.2. Valores de quadrado médio da análise de variância da primeira contagem de germinação (PCG) e germinação a baixa temperatura (TGBT) dos quatro lotes de sementes de seis cultivares de soja, Londrina-PR, 2019.

BMX Potência RR			
Fonte de Variação	GL	Quadrados médios	
		PCG	TGBT
Temperaturas (T)	3	33296,729*	441,932*
Lotes (L)	3	1188,229*	262,265*
T*L	9	1204,562*	160,710*
Erro	48	41,458	11,786
CV (%)		16,96	3,83
TMG 7062 IPRO			
Fonte de Variação	GL	PCG	TGBT
Temperaturas (T)	3	29701,833*	776,765*
Lotes (L)	3	1504,875*	67,55*
T*L	9	1492,930*	114,835*
Erro	48	7,468	15,192
CV (%)		8,07	4,63
M6410IPRO			
Fonte de Variação	GL	PCG	TGBT
Temperaturas (T)	3	29673,937*	284,307*
Lotes (L)	3	15,937 ^{ns}	171,807*
T*L	9	52,145 ^{ns}	99,821*
Erro	48	54,239	11,848
CV (%)		22,21	3,95
63164RSF IPRO			
Fonte de Variação	GL	PCG	TGBT
Temperaturas (T)	3	27738,515*	29,041*
Lotes (L)	3	736,515*	136,875*
T*L	9	1599,793*	36,694*
Erro	48	45,765	7,062
CV (%)		19,60	2,95
BS2606IPRO			
Fonte de Variação	GL	PCG	TGBT
Temperaturas (T)	3	30966,432*	123,354*
Lotes (L)	3	1241,515*	3,104 ^{ns}
T*L	9	1052,321*	21,562*
Erro	48	59,515	7,572
CV (%)		21,29	3,03
TMG7067IPRO			
Fonte de Variação	GL	PCG	TGBT
Temperaturas (T)	3	29365,682*	75,598*
Lotes (L)	3	1058,973*	435,557*
T*L	9	963,973*	100,043*
Erro	48	43,119	16,338
CV (%)		18,64	4,61

*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{ns}: Não Significativo. CV: coeficiente de variação, GL: Graus de liberdade.

Nas temperaturas de 16°C e 19°C as cultivares avaliadas não

apresentaram plântulas classificadas como normais no teste de primeira contagem de germinação (5 dias) (Tabela 4.3). Foi observada a emissão da radícula e início do alongamento de hipocótilo, ou seja, havia germinação biológica, porém estas não foram contabilizadas porque o objetivo era considerar plântulas normais conforme as características descritas nas RAS (BRASIL, 2009).

Sob temperatura de 22°C verificou-se, de maneira geral, a diferenciação de lotes na primeira contagem de germinação para as cultivares, exceto M6410IPRO para a qual não houve interação significativa entre os fatores avaliados. Para a temperatura de 25°C não foi possível diferenciar os lotes quanto ao vigor na primeira contagem, todos apresentaram ótimo desempenho com valores similares ao da germinação final (Tabela 4.3).

De acordo com Pimentel et al. (2017) nas condições de campo, o processo germinativo é influenciado por diversos fatores ambientais, os principais são a temperatura e a umidade do solo. Normalmente, aumentam o tempo de resposta das sementes para iniciar a protrusão radicular e a formação da nova plântula, atrasando assim, o adequado desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da planta. Alguns estudos destacaram que temperaturas abaixo da ótima para a cultura da soja podem afetar negativamente o processo de retomada do crescimento do embrião, quando combinada com outro fator estressante, como a restrição hídrica por exemplo, pode ter efeitos drásticos no estabelecimento inicial (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012; TAIZ et al., 2017).

No teste de germinação a baixa temperatura, com avaliação aos oito dias (segunda contagem), observou-se que, de maneira geral, nas temperaturas de 16°C, 19°C e 22°C, foi possível diferenciação entre os lotes para todas as cultivares. Para a cultivar BMX Potência RR essa diferença se expressou somente na temperatura de 16°C, onde os lotes L4 e L3 tiveram um desempenho inferior aos demais. Para a cultivar TMG 7062 IPRO, houve diferenças nas temperaturas de 16°C e 22°C. Para M6410IPRO foi possível identificar as diferenças entre lotes para as três temperaturas, dado que a 16°C e a 19°C o lote L3 teve pior desempenho, o lote L2 teve maior vigor em todas as temperaturas, e a 22°C os lotes L1 e L4 se mostraram inferiores aos demais (Tabela 4.3).

Na cultivar 63I64RSF IPRO, foi possível diferenciar os lotes em todas as temperaturas e o lote L4 apresentou pior desempenho estatístico em todas elas, enquanto que o lote L2 foi superior em todas. Para a cultivar TMG7067IPRO o

lote L4 obteve superioridade em relação aos demais, ao mesmo tempo que o lote L1 teve pior desempenho (Tabela 4.3).

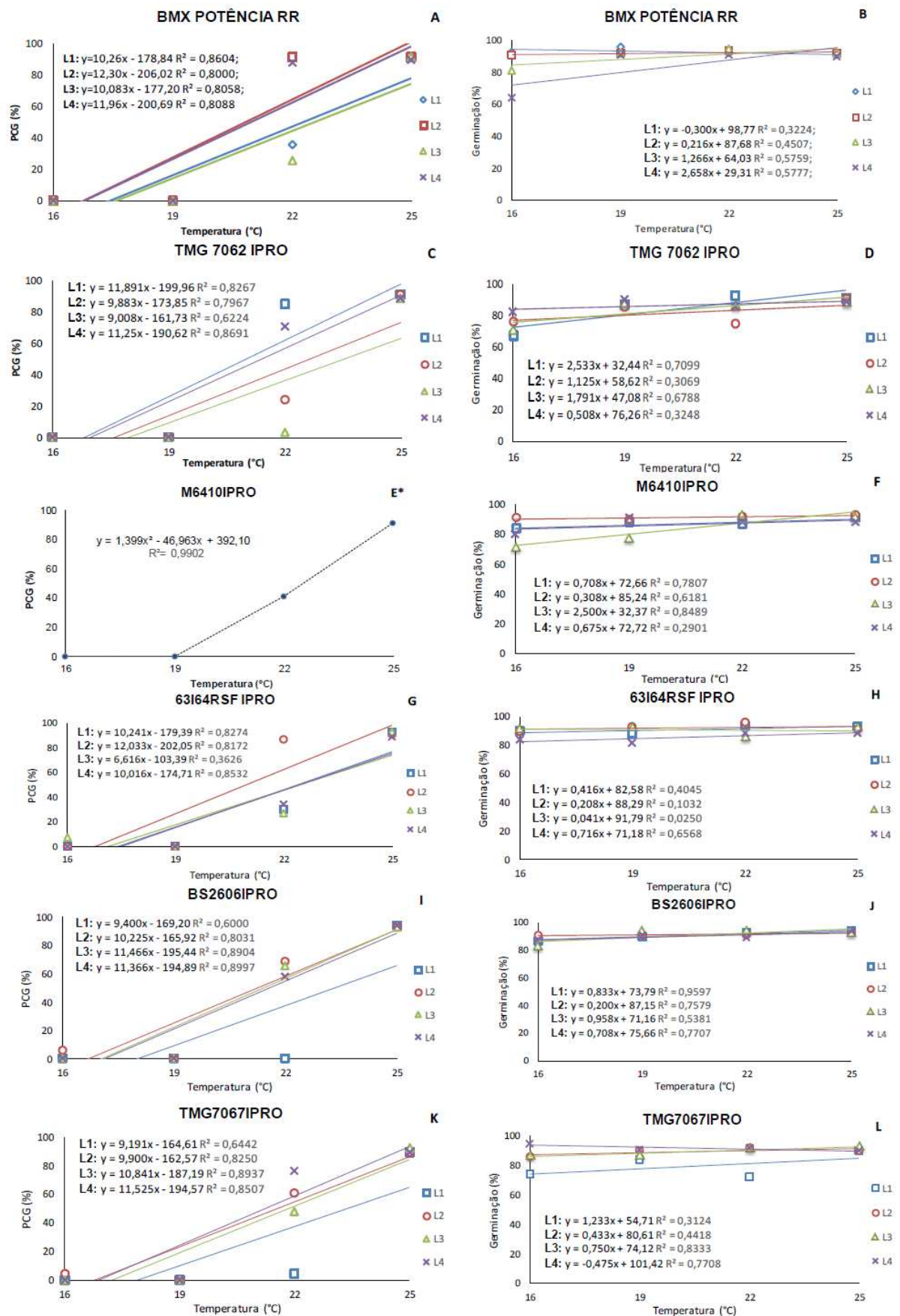
Tabela 4.3. Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre os lotes de cada cultivar x temperatura para as variáveis primeira contagem de germinação (PCG) e germinação (TGBT) em sementes de soja, Londrina-PR, 2019.

BMX Potência RR ¹								
Variável:	PCG ²				TGBT ²			
Lotes	16 ³	19 ³	22 ³	25 ³	16 ³	19 ³	22 ³	25 ³
L1	0 a ⁴	0 a	36 b	91 a	93 a	96 a	92 a	91 a
L2	0 a	0 a	92 a	92 a	91 a	92 a	94 a	92 a
L3	0 a	0 a	26 c	92 a	81 b	92 a	95 a	92 a
L4	0 a	0 a	88 a	90 a	64 c	91 a	91 a	90 a
CV %:	19,96				3,83			
TMG 7062 IPRO ¹								
Variável:	PCG ²				TGBT ²			
Lotes	16 ³	19 ³	22 ³	25 ³	16 ³	19 ³	22 ³	25 ³
L1	0 a	0 a	85 a	91 a	67 c	87 a	93 a	91 a
L2	0 a	0 a	24 c	91 a	76 b	86 a	75 c	91 a
L3	0 a	0 a	3 d	89 a	71 c	88 a	87 b	89 a
L4	0 a	0 a	71 b	89 a	82 a	90 a	86 b	89 a
CV %:	8,07				4,63			
63I64RSF IPRO ¹								
Variável:	PCG ²				TGBT ²			
Lotes	16 ³	19 ³	22 ³	25 ³	16 ³	19 ³	22 ³	25 ³
L1	0 b	0 a	30 b	93 a	90 a	88 b	94 a	93 a
L2	0 b	0 a	87 a	91 a	90 a	93 a	96 a	91 a
L3	7 a	0 a	27 c	93 a	92 a	93 a	86 b	93 a
L4	0 b	0 a	34 b	89 a	84 b	82 b	89 b	89 a
CV %:	19,60				2,95			
TMG7067IPRO ¹								
Variável:	PCG ²				TGBT ²			
Lotes	16 ³	19 ³	22 ³	25 ³	16 ³	19 ³	22 ³	25 ³
L1	0 b	0 a	5 d	90 a	74 c	84 b	71 b	90 a
L2	5 a	0 a	61 b	90 a	86 b	90 a	92 a	90 a
L3	0 b	0 a	77 a	93 a	87 b	87 b	92 a	93 a
L4	0 b	0 a	48 c	90 a	95 a	91 a	92 a	90 a
CV %:	18,64				4,61			
BS2606IPRO ¹					M6410IPRO ¹			
Variável:	PCG ²				TGBT ²			
Lotes	16 ³	19 ³	22 ³	25 ³	16 ³	19 ³	22 ³	25 ³
L1	0 b	0 a	0 b	94 a	84 b	88 a	87 b	91 a
L2	6 a	0 a	69 a	93 a	91 a	90 a	92 a	93 a
L3	0 b	0 a	66 a	93 a	72 d	78 b	93 a	92 a
L4	0 b	0 a	58 a	90 a	80 c	91 a	88 b	88 a
CV %:	21,29				3,95			

¹ Cultivar; ² %; ³ °C; ⁴ Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Na Figura 4.1 são apresentados os ajustes para os efeitos das temperaturas na primeira contagem de germinação e germinação para os lotes.

Figura 4.1. Primeira contagem de germinação (PCG) e germinação (TGBT) dos lotes das seis cultivares de soja, em função das temperaturas.



Para primeira contagem de germinação (cinco dias) houve um ajuste linear crescente, com taxa de incremento maior em relação a germinação (oito dias), pelo fato que nas temperaturas de 16°C e 19°C praticamente não houve plântulas normais, porém a 22°C foi possível segregar os lotes para a maioria das cultivares (Figura 4.1 – A, C, G, I e K). A cultivar M6410IPRO (Figura 4.1 – E) não apresentou efeito significativo de lotes e interação, mas efeito isolado de temperatura também com ajuste linear crescente.

Borowski e Michaáek (2014), avaliaram a resposta de plântulas e plantas ao resfriamento, utilizando oito cultivares de soja durante o processo de embebição/germinação (28/28°C - controle, 10/28°C, 28/10°C e 10/10°C) e em vasos por até duas semanas (25/20°C - controle, 25/0°C, 10/0°C), considerando oscilação da temperatura do dia e da noite. Os resultados obtidos mostraram que na temperatura de 10°C usada durante a germinação (28/10°C), e ainda em maior extensão durante a embebição e germinação (10/10°C), reduziram a velocidade de germinação, porcentagem de sementes germinadas e comprimento da radícula em relação ao controle, em concordância com os resultados apresentados nesta pesquisa.

Os gráficos B, D, F, H, J e L, apresentados na Figura 4.1, demonstram ajuste linear crescente para a variável germinação em função da temperatura, porém a taxa de crescimento foi menor em relação a primeira contagem de germinação. Observou-se que a medida a temperatura diminuiu, aumentou a diferença do percentual de germinação entre os lotes, possibilitando segregação quanto ao vigor. Contudo, duas cultivares, 63I64RSF IPRO e BS2606IPRO, apresentaram taxa de incremento linear ainda mais baixas. Nos gráficos H e J nota-se que as diferenças não foram tão expressivas quando diminuiu a temperatura, evidenciando que há comportamento diferente entre os genótipos, o que pode estar relacionado a características morfofisiológicas.

Nas análises de caracterização da qualidade inicial das seis cultivares avaliadas, apresentadas na Tabela 4.4, as comparações pelo teste de germinação, apontou que somente a cultivar BS2606IPRO se diferenciou, mostrando-se superior as demais. Entretanto, no envelhecimento acelerado três cultivares se destacaram estatisticamente com melhor desempenho, BS2606IPRO, TMG7067IPRO e BMX Potência RR.

No teste de tetrazólio, quando avaliado viabilidade (classes 1-5), os

resultados em números se aproximaram dos percentuais de germinação, entretanto, estatisticamente, houve diferença entre as cultivares, sendo que BMX Potência RR, M6410IPRO e BS2606IPRO tiveram melhor resultado e TMG 7062 IPRO obteve pior média. Para o tetrazólio vigor, que considera as classes de 1 a 3, manteve o comportamento observado para a viabilidade, exceto pela cultivar TMG7067IPRO que também apresentou desempenho melhor (Tabela 4.4).

Tabela 4.4. Médias da caracterização inicial de qualidade fisiológica de seis cultivares de soja, Londrina-PR, 2019.

Cultivares	G ¹	EA ¹	TZ Viab ¹	TZ Vigor ¹	EC ¹	MSR ²	MSPA ²	CR ³	CPA ³
BMX Potência RR	91 b	85 a	94 a	82 a	91 b	0,119 c	0,489 b	7,60 a	13,30 a
TMG 7062 IPRO	90 b	82 b	87 c	64 c	91 b	0,141 b	0,444 c	4,93 c	13,03 a
M6410IPRO	91 b	82 b	93 a	84 a	90 b	0,137 b	0,414 d	6,21 b	12,51 a
63I64RSF IPRO	92 b	83 b	90 b	70 b	96 a	0,177 a	0,561 a	6,21 b	12,94 a
BS2606IPRO	93 a	87 a	93 a	85 a	95 a	0,131 b	0,448 c	7,28 a	13,53 a
TMG7067IPRO	91 b	84 a	90 b	82 a	92 b	0,189 a	0,555 a	6,01 b	13,10 a
CV %	3,23	5,16	3,27	6,57	3,74	11,98	8,96	9,19	9,06

¹%; ²g; ³cm; ⁴Médias seguidas por letras diferentes na coluna, diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Coeficiente de Variação (CV); Germinação (G), envelhecimento acelerado (EA), tetrazólio viabilidade (TZ_Viab), tetrazólio vigor (TZ_Vigor), emergência de plântulas em campo (EC), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), comprimento da raiz (CR), comprimento da parte aérea (CPA).

As pesquisas buscam a recomendação do melhor teste para avaliar vigor de sementes de soja, porém, quando se trata de genótipos, normalmente há inconsistências de resultados entre o desempenho de cada cultivar em diferentes testes. Schuab et al. (2006), comparando os diferentes testes utilizados na avaliação do potencial fisiológico das sementes de soja e a relação desses testes com a emergência das plântulas em campo, relataram que para algumas cultivares, das 10 analisadas, o teste de germinação e primeira contagem demonstraram maior relação com a emergência de plântulas em campo. O autor verificou que as cultivares que tinha uma qualidade superior se mantiverem com melhor desempenho na maioria dos testes e as cultivares que tinha uma qualidade fisiológica inferior, mantiveram o pior resultado na maior parte dos testes, no entanto as intermediárias oscilaram entre os testes. Um fato inconsistente do experimento, foi a cultivar que se evidenciou em quase todos os testes, foi a que apresentou pior desempenho da condutividade elétrica.

Na emergência de plantas em campo se sobressaíram apenas as

cultivares BS2606IPRO e 63I64RSF IPRO. Contudo, todos as cultivares apresentaram médias acima de 90% de emergência de plântulas, com 12 dias após a semeadura, o que na produção de sementes é considerado percentual adequado (Tabela 4.4). Vale ressaltar que, pelos dados da caracterização inicial, que engloba os testes mais utilizados na rotina de controle de qualidade de sementes de soja das empresas produtoras, a cultivar TMG 7062 IPRO foi a que teve pior desempenho e a BS2606IPRO a que teve melhor desempenho, nas demais houve variação entre os testes.

Nas avaliações de desempenho de plântulas (MSR, MSPA, CR e CPA), ocorreram oscilações consideráveis entre cultivares e os testes, não tendo uma tendência clara, excluindo o comprimento de parte aérea, que não diferiu entre as diferentes cultivares estudadas (Tabela 4.4). Contudo, a massa seca alocada em plântula possui relação com a eficiência da semente em hidrolisar, metabolizar, transloucar e estocar compostos na nova plântula a partir das reservas armazenadas na semente (AUMONDE et al., 2017; TAIZ et al., 2017). Portanto, a superior massa seca alocada na plântula pode manter estreita relação ao vigor da semente, assim, com a tolerância ao estresse ambiental. Nesse sentido as cultivares 63I64RSF IPRO e TMG7067IPRO se destacaram, e a primeira também demonstrou elevada performance na emergência de plântulas em campo.

Não foi constatada interação significativa entre os fatores temperatura e cultivares para a variável primeira contagem de germinação, na qual se observou efeito significativo isolado de temperatura. Contudo, para a variável germinação, foi verificada interação entre os fatores temperatura e cultivares (Tabela 4.5).

Tabela 4.5. Quadro de análise de variância para as características de qualidade fisiológicas de sementes de soja, em função das temperaturas e cultivares, Londrina-PR, 2019.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios	
		PCG	TGBT
Temperaturas (T)	3	179317,565*	1217,822*
Cultivares (C)	5	193,667 ^{ns}	385,381*
T*C	15	285,113 ^{ns}	102,635*
Erro	360	240,569	31,625
CV (%)		44,11	6,37

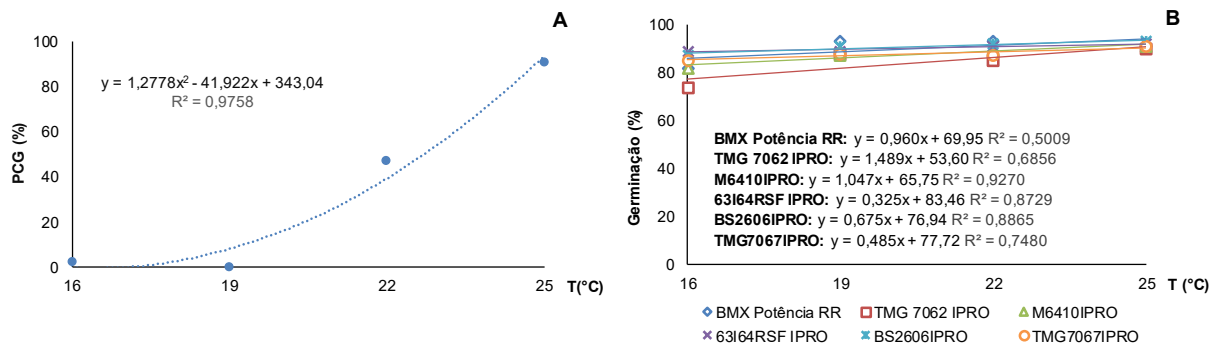
^{ns}: Não Significativo; *: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; CV: coeficiente de variação.

Para a primeira contagem de germinação a baixa temperatura,

verificou-se ajuste quadrático com aumento da porcentagem conforme a temperatura se aproxima da ideal (Figura 4.2-A), contudo, não se observou plântulas normais nas menores temperaturas na primeira contagem. Para a germinação, contagem aos oito dias, contatou-se ajuste linear crescente para todas as cultivares avaliadas em resposta ao aumento da temperatura de geminação. Observou variações nas taxas de incremento da germinação entre as cultivares, com maior diferença nas menores temperaturas, permitindo a diferenciação do nível de vigor e identificação da sensibilidade de genótipos (Figura 4.2- B).

Corroborando com estes resultados Streck et al. (2020), num estudo com 37 genótipos de arroz, concluíram que temperaturas abaixo de 17°C reduziu o número de plântulas emergidas e retardaram o desenvolvimento, e à medida que temperatura do solo aumentou, favoreceu a germinação e reduziu o tempo de emergência. Além disso, a exposição ao frio propiciou a diferenciação de genótipos promissores à tolerância ao estresse de baixas temperaturas.

Figura 4.2. Primeira contagem de germinação (PCG) e Germinação (TGBT) de sementes das seis cultivares de soja, em função da temperatura.



Na germinação em baixa temperatura, quando as cultivares foram submetidas a 16°C, 19°C e 22°C, todas foram capazes de diferenciar os lotes em relação ao vigor, todavia, a respostas das cultivares foi diferente em cada situação de estresse por frio. A 16°C a cultivar TMG 7062 IPRO, seguiu a tendência da caracterização inicial, apresentando pior desempenho, seguida da BMX Potência RR e M6410IPRO (Tabela 4.6).

Estudo realizado na Polônia, com objetivo de investigar a influência da baixa temperatura na germinação, desenvolvimento e produtividade de três cultivares de soja, corroboram com os resultados encontrados nessa pesquisa. Quando as sementes foram postas para germinar nas temperaturas de 10°C, 15°C e

25°C, concluíram que a medida que se aumentou a temperatura de 10°C (não houve protrusão de radícula até o sexto dia) para 15°C, houve maior percentual de germinação e possibilitou fazer a diferenciação entre os genótipos mais resistentes e os mais suscetíveis ao frio. Quando avaliaram produtividade, a temperatura também influenciou negativamente no rendimento de grãos (SZCZERBA et al., 2021).

Na temperatura de 19°C, a BMX Potência RR foi a que teve melhor desempenho, juntamente com a BS2606IPRO. As demais foram inferiores, mas não se diferenciaram entre si. Enquanto que para 22°C, apenas duas cultivares tiveram as médias inferiores, a TMG 7062 IPRO, indicando um menor vigor, e a TMG7067IPRO. Provavelmente pela condição térmica estar mais próxima da ótima, (25°C), não foi possível diferenciar estatisticamente as cultivares com relação ao percentual de germinação (Tabela 4.6).

Desse modo, identifica-se que é possível diferenciar vigor utilizando temperaturas abaixo da faixa ideal e, percebe-se variabilidade de resposta nas cultivares conforme a temperatura e a variável analisada.

Tabela 4.6. Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares x temperaturas para a variável germinação de sementes de soja, Londrina-PR, 2019.

Fatores	Germinação ¹			
	16 ²	19 ²	22 ²	25 ²
BMX Potência RR	82 b ³	93 a	93 a	91 a
TMG 7062 IPRO	74 c	88 b	85 b	90 a
M6410IPRO	82 b	87 b	90 a	91 a
63I64RSF IPRO	89 a	89 b	91 a	92 a
BS2606IPRO	87 a	91 a	92 a	93 a
TMG7067IPRO	85 a	88 b	87 b	91 a

CV (%) = 6,37

¹ %; ² °C; ³ Médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Com intuito de desenvolver uma equação capaz de prever o tempo de emergência de plântulas de soja, conforme ocorre variações de temperatura e profundidade de semeadura, com base na velocidade de alongamento do hipocótilo, Hatfield e Egli (1974) analisaram duas cultivares de soja em temperaturas de 10°C a 40°C. Observaram que conforme subiram a temperatura, aumentou o comprimento do hipocótilo, sendo a temperatura de 30°C a mais eficiente e próximo das temperaturas extremas (10°C e 40°C) não houve germinação. Concluíram que o melhor momento para semear a soja para que a emergência ocorresse em menor

tempo, foi quando a temperatura do solo estava na faixa de 25°C a 35°C, desde que não houvesse outros fatores limitando a emergência de plântulas. Os resultados corroboraram com os que foram obtidos nesta pesquisa, mostrando um crescimento linear do percentual de germinação em relação ao aumento da temperatura.

Borowski e Michaáek (2014), testaram oito cultivares e também verificaram que a baixa temperatura tem um efeito inibidor no crescimento, desenvolvimento e outros processos fisiológicos de plantas sensíveis ao frio, que é o caso da soja. Costa et al. (2002), constataram ao determinar a capacidade máxima e a velocidade de absorção de água pelas sementes de dezessete cultivares, que existe diferença na velocidade de absorção e que há características distintas entre os genótipos que os torna mais ou menos permeáveis a água, porém, em termos práticos, essas diferenças não são pronunciadas a ponto de gerar discrepância na emergência das plântulas de soja em campo. Cavariani et al. (2009), também relataram que a velocidade de hidratação de sementes de soja é afetada pela cultivar e local de produção, referindo-se ao ambiente de formação e maturação das sementes e os estresses ambientais as quais estão expostas.

Foi constatada interação significativa entre os fatores temperatura e cultivares para as variáveis proteína de parte aérea (Prot-PA), proteína de raiz (Prot-raiz) e catalase de raiz (CAT-Raiz). Contudo, para a variável catalase de parte aérea (CAT-PA) não foi verificada interação entre os fatores temperatura e cultivar, porém, com efeito isolado significativo para cultivares (Tabela 4.7).

Tabela 4.7. Quadro de análise de variância para as análises de proteína solúvel total e atividade da enzima catalase de plântulas de soja (parte aérea e raiz), em função das temperaturas de germinação e cultivares, Londrina-PR, 2021.

Fonte de Variação	GL	Quadrados médios			
		Prot-PA	CAT-PA	Prot-Raiz	CAT-Raiz
Temperatura (T)	1	4789,326*	0,464 ^{ns}	45,700 ^{ns}	0,463 ^{ns}
Cultivar (C)	5	2204,627*	4,491*	390,129**	2,164*
T x C	5	2533,999*	0,957 ^{ns}	1155,866*	1,890*
Erro	84	173,248	0,304	146,041	0,193
CV (%)		26,98	43,22	20,81	50,72

^{ns}: Não significativo; *, **: significativo a 1% e a 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; CV: coeficiente de variação; GL: Graus de liberdade; Prot-PA: Proteína Parte Aérea; CAT-PA: Catalase Parte Aérea; Prot-Raiz: Proteína Raiz; CAT-Raiz: Catalase Raiz.

Na temperatura de 16°C houve diferença entre as cultivares, a M6410IPRO apresentou maior quantidade de proteína solúvel total, tanto da parte

aérea, quanto do sistema radicular. As cultivares TMG 7062 IPRO, BS2606IPRO e 63I64RSF IPRO apresentaram menores valores de proteína, respectivamente (Tabela 4.8).

Tabela 4.8. Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa temperatura x cultivar para as variáveis Proteína Parte Aérea (Prot-PA); Catalase Parte Aérea (CAT-PA); Proteína Raiz (Prot-Raiz); Catalase Raiz (CAT-Raiz), Londrina-PR, 2021.

Cultivar	Prot-PA		CAT-PA	Prot-Raiz		CAT-Raiz	
	16°C	22°C	Médias temp.	16°C	22°C	16°C	22°C
BMX Potência RR	63,97Ba*	41,79Ab	1,53B	66,79Aa	62,83Aa	1,34Aa	1,12Ba
BS2606IPRO	39,65Ca	40,82Aa	1,13C	42,81Bb	61,90Aa	0,79Ba	0,44Ca
63I64RSF IPRO	43,75Ca	42,63Aa	0,61D	58,94Aa	51,46Ba	0,43Ba	0,56Ca
M6410IPRO	99,63Aa	37,54Ab	2,12A	70,19Aa	54,55Bb	1,10Aa	1,06Ba
TMG 7062 IPRO	34,68Ca	37,12Aa	1,36B	64,42Aa	54,61Ba	0,53Bb	2,03Aa
TMG7067IPRO	53,41Ba	50,43Aa	0,89C	41,17Bb	67,23Aa	0,60Ba	0,42Ca
CV (%)	26,98		43,22	20,81		50,72	

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Se compararmos esses resultados com o percentual de germinação (Tabela 4.6), quando as sementes foram submetidas a 16°C, as cultivares BS2606IPRO e 63I64RSF IPRO foram as que tiveram melhor desempenho, possivelmente, tenham alguma tolerância ao estresse por frio. Já a cultivar TMG 7062 IPRO, obteve o pior desempenho germinativo nesta mesma condição, porém, teve um conteúdo de proteína da raiz mais alto. Sugere-se que a cultivar é mais sensível ao frio, ou que o sistema de defesa não é tão eficiente para esse tipo de estresse.

O teor de proteína está relacionado com a qualidade fisiológica da semente. Sementes expostas a estresses ambientais podem sofrer deterioração e, portanto, apresentar uma diminuição nos níveis de proteína (Henning et al., 2010). Em trigo, Koch (2019) constatou teores de açúcares solúveis totais, amido e proteína superiores em plântulas expostas a restrição hídrica e sob influência de diferentes temperaturas e as cultivares avaliadas apresentando respostas distintas, ou seja, houve interação entre as condições ambientais e genótipos.

Rodrigues et al. (2019), observaram em seu experimento com sementes de *Aspidosperma polyneuron*, degradação irregular das proteínas de reservas durante a germinação em condições de estresse hídrico, evidenciando que refletiu no crescimento lento e anormal das plântulas, visto que as proteínas de

reserva são importantes na germinação e no desenvolvimento inicial das plântulas, gerando novos tecidos embrionários.

Na temperatura de 22°C, não houve diferença estatística entre as cultivares para o teor de proteína de parte aérea. Isso ocorreu porque essa temperatura está mais próxima da ideal (25°C), causando menos danos à germinação. Já as cultivares TMG7067IPRO, BMX Potência RR e BS2606IPRO se destacaram com maior teor de proteína na raiz, respectivamente (Tabela 4.8). Comparando com a germinação a 22°C (Tabela 4.6), BMX Potência RR e BS2606IPRO apresentaram os maiores percentuais, em contrapartida a TMG7067IPRO apresentou menores valores, possivelmente o sistema de defesa dela foi mais responsivo em uma temperatura intermediária.

Para enzima catalase a cultivar que expressou menor média de atividade foi a 63I64RSF IPRO, tanto na parte aérea, quanto na raiz (16°C), demonstrando, assim, que seu mecanismo de defesa antioxidante não precisou ser ativado de forma tão intensa. As plântulas oriundas das cultivares M6410IPRO, BMX Potência RR e BS2606IPRO, tiveram maior atividade de catalase na média de parte aérea e raiz na temperatura de 16°C, exceto a BS2606IPRO que, estatisticamente, apresentou menor atividade de catalase nas raízes (Tabela 4.8).

Esses resultados possivelmente ocorreram devido a situações de estresse, a que as plantas foram expostas, porque podem sofrer interferências dos fatores externos, sejam eles bióticos e abióticos. Essas condições induzem a superprodução de espécies reativas de oxigênio (EROs), podendo causar danos às estruturas celulares e até mesmo acarretar a morte das plantas. Entre os mecanismos de defesa, a enzima catalase atua como antioxidantes na eliminação do H₂O₂ gerado durante a fotorrespiração e a beta-oxidação dos ácidos graxos, atuando nos peroxissomos e glioxissomos, podendo também ser encontrada em mitocôndrias, onde converte duas moléculas de H₂O₂ a H₂O e oxigênio molecular (BARBOSA et al., 2014; DUBEY, 2011).

Pesquisa feita com as sementes de milho durante o armazenamento, mostraram que quando há um decréscimo da atividade enzimática, aumenta a vulnerabilidade das sementes. A redução da catalase pode provocar menor capacidade de prevenção de danos oxidativos, e conseqüentemente, perda mais rápida da viabilidade (TIMÓTEO; MARCOS-FILHO, 2013).

Nesse estudo foi evidenciado que as cultivares reagiram de forma distinta quando comparadas as médias de atividade enzimática com as médias de germinação na mesma condição de temperatura. A média de atividade da enzima catalase de parte aérea foi mais alta para cultivar M6410IPRO. Já a cultivar TMG 7062 IPRO apresentou um resultado intermediário para parte aérea, mas para raiz, na temperatura de 22°C, foi a que teve maior atividade, se destacando das demais (Tabela 4.8).

Os resultados obtidos na germinação, evidenciou a catalase oscilando entre as cultivares tendo BMX Potência RR, BS2606IPRO e TMG7067IPRO maior atividade de catalase na temperatura mais baixa, enquanto que nas demais foi o oposto. Corroborando com Borowski; Michałek (2014) que observaram germinação em baixa temperatura, diminuindo a velocidade de germinação, porcentagem de sementes germinadas e comprimento da radícula, entretanto, aumentando a atividade da catalase das plântulas (BOROWSKI; MICHAŁEK, 2014). Sob o ponto de vista bioquímico, o vigor envolve a biossíntese de energia e de proteínas, ácidos nucleicos, carboidratos e lipídeos e a capacidade de reorganização e recuperação da integridade dos sistemas de membranas celulares, a translocação e a utilização das substâncias de reserva. Os efeitos de estresses combinados, que é comum ocorrer no momento da semeadura da soja, podem exacerbar a ocorrência de danos morfofisiológicos, bioquímicos e metabólicos, ocasionando danos drásticos as plântulas (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012).

Zhang et al. (2014), constataram em arroz, que o estresse causado pelo frio interfere no metabolismo e inicia mudanças em várias propriedades fisiológicas das plantas. Essas mudanças acionam o sistema de detecção de frio, através das indicações de diminuição da fotossíntese, o aumento de espécies reativas de oxigênio e malonaldeído (que é um composto orgânico, considerado um marcador para estresse oxidativo). E verificou que a reação da planta para superar o estresse é o aumento de açúcares solúveis, prolina e antioxidantes que se acumulam e protegem as plantas de arroz de mais danos. Além disso, há distinções entre as cultivares.

Ainda que não tenham sido realizadas análises para caracterizar a proteína ou o tipo da proteína, possibilitando a identificação de alguma com função específica na tolerância ao estresse por baixa temperatura, as plantas quando

submetidas a situações estressantes, respondem e apresentam mecanismos de defesa distintos, mas com objetivos semelhantes, que é a defesa da planta para que ela continue o seu desenvolvimento.

As enzimas conhecidas como removedoras de produtos tóxicos e de radicais livres, tem uma estreita relação com o vigor das sementes (MARCOS-FILHO, 2015). Entretanto, a expressão numérica da atividade enzimática da catalase, não vai necessariamente definir se a cultivar ou o lote tem vigor alto ou baixo, e sim a capacidade de reagir a condição de estresse a que foi exposta. É importante ressaltar que para respostas mais consistentes e se entender de maneira mais clara o comportamento do sistema oxidativo de cada cultivar seria necessário a determinação da atividade de outras enzimas como a superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX), peroxidase (POD), dentre outras, pois atuam juntamente com a catalase na eliminação de EROs.

O adequado estabelecimento da lavoura é primordial para dar condições da cultura se desenvolver e obter altos rendimentos, entretanto, como foi discutido ao logo do artigo, os fatores abióticos interagem com o genótipo que respondem de maneiras diferentes ao estresse por baixa temperatura. Diante disso, valeria a pena intensificar as investigações do ponto de vista genético, fisiológico e bioquímico para identificação de cultivares mais tolerantes as baixas temperaturas. Essas respostas podem auxiliar o produtor a escolher as cultivar de acordo com a época que planeja fazer a semeadura, oportunizando em tempo hábil o cultivo da segunda safra ou até da terceira safra.

É importante ressaltar que essas informações irão dar segurança para o produtor, sobretudo da região Sul quanto recomendação de semeadura antecipada, com a escolha da cultivar adequada, considerando que o único fator de estresse for a baixa temperatura do solo e quando as demais condições estiverem favoráveis. Nesse sentido, o teste de germinação a baixa temperatura pode ser uma ferramenta que vem agregar nos programas de controle de qualidade das empresas produtoras de sementes para estimar vigor e diferenciar lotes.

4.5 CONCLUSÕES

Na germinação a baixa temperatura, a primeira contagem (cinco dias) à temperatura de 22°C, e na geminação (oito dias) nas temperaturas de 16°C e

19°C, permitem estratificar lotes e cultivares de soja quanto ao vigor de sementes.

Os genótipos de soja apresentam comportamentos distintos quanto a germinação, proteínas solúveis totais e atividade da enzima catalase em resposta às baixas temperaturas para germinação.

A cultivar 63I64RSF IPRO mostrou-se mais tolerante ao estresse de frio causado pelo teste de germinação a baixa temperatura, com melhor desempenho na emergência de plântulas em campo e na germinação a 16°C e menor atividade da enzima catalase.

4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATKINSON, N.J.; URWIN, P. E. The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *Journal of Experimental Botany*, v. 63, n° 10, p. 3523-3544, 2012.

Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22467407>. Acesso em: 03 ago. 2018.

AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; MONTEIRO, M.A.; KOCH, F. Análise de crescimento e do vigor como ferramenta de avaliação do estresse ambiental. In: AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; VILLELA, F.A. **Estresses ambientais e a produção de sementes: Ciência e aplicação**. Pelotas, RS: Ed. Cópias Santa Cruz, 2017, 313p.

BARBOSA, M.R.; SILVA, M.M.A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARAI, T.R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. *Ciência Rural*, v.44, n.3, p.453-460, mar, 2014.

BOROWSKI, E., MICHALEK, S. The effect of chilling temperature on germination and early growth of domestic and Canadian soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars. **Acta Scientiarum Polonorum - Hortorum Cultus** v.13, n.2, p.31-43, 2014.

Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/286175071_The_effect_of_chilling_temperature_on_germination_and_early_growth_of_domestic_and_Canadian_soybean_Glycine_max_L_Merr_cultivars. Acesso em: 25 mar. 2022.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, n. 1/2, p. 248-254, 1976.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para análise de sementes**. 2009. 399 p.

CARVALHO, N.M. NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, 2012, 590p.

CAVARIANI, C., TOLEDO, M. Z., RODELLA, R. A., FRANÇA NETO, J. B., NAKAGAWA, J. Speed of hydration as affected by seed coat characteristics in soybean of different cultivars and locations. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.1, p.30-39, 2009.

Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-66902017000100125&script=sci_arttext. Acesso em: 20 jan. 2022.

CHEBROLU, K. K., FRITSCHI, F. B., YE, S., KRISHNAN, H. B., SMITH, J. R., GILLMAN, J. D. Impact of heat stress during seed development on soybean seed metabolome. **Metabolomics**, 12:28, 2016.

Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11306-015-0941-1#:~:text=Seed%20metabolome%20was%20very%20responsive,from%20the%20heat%20sensitive%20genotype>. Acesso em: 10 abr. 2022.

DOI: 10.1007/s11306-015-0941-1

COSTA, J. A., PIRES, J. L. F., THOMAS, A. L., ALBERTON, M. Variedades de soja diferem na velocidade e capacidade de absorver água. **Scientia Agraria**, v.3 n.1-2, p.91-96, 2002.

DIAS, D. C. F. S.; ALVARENGA, E. M. Teste de germinação a baixa temperatura. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina-PR: ABRATES, 1999. p. 7-1 – 7-4.

DUBEY, R.S. Metal toxicity, oxidative stress and antioxidative defense system in plants. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2011, p.178-203.

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina-PR. Embrapa Soja, 2018. 108p.

HATFIELD, J.; EGLI, D. Effect of temperature on the rate of soybean hypocotyl elongation and field emergence. **Crop Science**, 14, 423–426, 1974.

Disponível em: <https://doi.org/10.2135/cropsci1974.0011183X001400030025x>.

Acesso em: 05 fev. 2022

HENNING, F.A., MERTZ, L.M., JACOB JÚNIOR, E.A., MACHADO, R.D., FISS, G., ZIMMER, P.D. Composição química e mobilização de alto nível de reservas em sementes de soja e baixo vigor. **Bragança**, v. 69, n. 3, pág. 727-733, 2010.

Doi: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000300026>.

HOLMBERG, S.A. Soybeans for cool temperate climates. **Agric Hortic Genet**. 1973, 31: 1-20

KOCH, F. **Respostas ecofisiológicas, enzimáticas e de produtividade de plantas de trigo provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor e expostas a restrição hídrica**. 2019, 116f. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2019.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S.T. Crescimento inicial de soja em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 12

n° 2, p. 163-166, abr-jun, 2006.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA NETO, J. B.; HENNING, A. A. A alta qualidade de sementes de soja: fator importante para a produção da cultura. **EMBRAPA**, Circular técnica 136, Londrina, maio 2018.

MARCOS-FILHO, J. Testes de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina-PR: ABRATES, 1999. p. 3-1 – 3-24.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2° ed. Londrina: Ed. ABRATES, 2015. 660p.

MARINI, P.; MORAES, C. L.; LARRÈ, C. F.; LIMA, M. C.; MORAES, D. M. D.; do AMARANTE, L. Indicativos da perda de qualidade de sementes de arroz sob diferentes temperaturas através da atividade enzimática e respiratória. **Interciência**, Caracas, n.1 v.38, p.54-59, 2013.

MENEZES, M., PINHO, E. V. R. V., JOSÉ, S. C. B. R., BALDONI, A., MENDES, F. F. Aspectos químicos e estruturais da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 44, n. 12, 2009.
Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001200022>>. Acesso em: 27 mar. 2022.
Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001200022>

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina-PR: ABRATES, 1999. p. 2-1 – 2-24.

PEREIRA, L. S., MASETTO, T. E. Water uptake dynamics in soybean seeds: influence in seeds performance and DNA integrity. **Ciência Rural**, v.51, n.3, 2021.

PIMENTEL, J. R.; MONTEIRO, M. A.; AUMONDE, T. Z.; PEDO, T. Nutrição de plantas, vigor de sementes e estresses abióticos. In: AUMONDE, T.Z., PEDÓ, T., MARTINAZZO, E.G., VILLELA, F.A. (Org.). **Estresses ambientais e a produção de sementes: ciência e aplicação**. 1ed. Pelotas: 2017, v. 1, p. 89-113

RODRIGUES, G.A.G., RIBEIRO, M.I., LUZ, E.M.Z., PORTO, E.C., MATIAS, G.L., CORSATO, J.M., FORTES, A.M.T. Drought stress effects on germination and reserve degradation of *Aspidosperma polyneuron* seeds. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 4, p. 1-10, 2019.

SCHUAB, S. R. P.; BRACCINI, A. L.; FRANÇA NETO, J. B.; SCAPIM, C. A.; MESCHÉDE, D. K. Potencial fisiológico de sementes de soja e sua relação com a

emergência das plântulas em campo. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 28, n. 4, p. 553-561, Oct./Dec. 2006.

STRECK, E. A., AGUIAR, G. A., SILVA, P. U., FRONZA, R. T. L., MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. Genetic tolerance to low temperatures in irrigated rice. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 3, 2020.

Disponível em: <http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/6938>. Acesso em: 10 abr. 2022.

SZCZERBA, A.; PŁAZ'EK, A.; PASTUSZAK, J.; KOPE'Ć, P.; HORNYÁK, M.; DUBERT, F. Effect of Low Temperature on Germination, Growth, and Seed Yield of Four Soybean (*Glycine max* L.) Cultivars. **Agronomy**, 11, 800, 2021.

Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/4/800>. Acesso em: 27 mar. 2022.

Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy11040800>

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia de Desenvolvimento Vegetal**. 6. Ed. Porto Alegre, Artmed, 2017.

TIMÓTEO, T.S., MARCOS-FILHO, J. Seed performance of different corn genotypes during storage. **Journal of Seeds Science**, v.35, n.2, p.207-215, 2013.

TOMMASI, F.; PCIOLLA, C.; PINTO, M. C.; GARA, L. D. A comparative study of glutathione and ascorbate metabolism during germination of *Pinus pinea* L. seeds. **Journal of Experimental Botany**, v.52, n.361, p.1647-1654, 2001.

WENDT, L.; MALAVASI, M. M.; DRANSKI, J. A. L.; MALAVASI, U. C.; GOMES JUNIOR, F. G. Relação entre testes de vigor com a emergência a campo em sementes de soja. Agrária – **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.12, n° 2, p. 166-171, 2017.

Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/318041180_Relacao_entre_testes_de_vigor_com_a_emergencia_a_campo_em_sementes_de_soja. Acesso em: 03 ago. 2018.

ZHANG, Q., CHEN, Q., WANG, S., HONG, Y., WANG, Z. Rice and cold stress: methods for its evaluation and summary of cold tolerance-related quantitative trait loci. **Rice**. 7: 24, 2014.

Doi.: <https://doi.org/10.1186/s12284-014-0024-3>

5 CONCLUSÕES GERAIS

A germinação (8 dias) na temperatura de 22°C, se correlaciona com a emergência de plântulas em campo, fazendo deste, um teste potencial para avaliação do vigor de sementes de soja.

A temperatura de 16°C não resulta em plântulas normais na primeira contagem de germinação (cinco dias) e na germinação (oito dias) não foi capaz de diferenciar os lotes de sementes de soja quanto ao vigor, e também não se correlaciona com os demais testes de qualidade fisiológica.

A germinação a 19°C e a primeira contagem de germinação a 22°C permitem a estratificação dos lotes quanto ao potencial fisiológico.

Na germinação a baixa temperatura, a primeira contagem (cinco dias) à temperatura de 22°C, e na germinação (oito dias) nas temperaturas de 16°C e 19°C, permitem estratificar lotes e cultivares de soja quanto ao vigor de sementes.

Os genótipos de soja apresentam comportamentos distintos quanto a germinação, proteínas solúveis totais e atividade da enzima catalase em resposta às baixas temperaturas para germinação.

A cultivar 63I64RSF IPRO mostrou-se mais tolerante ao estresse de frio causado pelo teste de germinação a baixa temperatura, com melhor desempenho na emergência de plântulas em campo e na germinação a 16°C e menor atividade da enzima catalase.