

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

Ítallo Jesus Silva

TESTES DE VIGOR E ANATOMIA DE SEMENTES DE CANOLA

Diamantina
2022

ÍTALLO JESUS SILVA

TESTES DE VIGOR E ANATOMIA DE SEMENTES DE CANOLA

Dissertação apresentada ao programa de Pós Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Márcia Regina da Costa

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marcela Carlota Nery

**Diamantina - MG
2022**

Catálogo na fonte - Sisbi/UFVJM

S586 Silva, Ítallo Jesus
2022 Teste de vigor e anatomia de sementes de canola
[manuscrito] / Ítallo Jesus Silva. -- Diamantina, 2022.
93 p. : il.

Orientador: Prof. Márcia Regina da Costa.
Coorientador: Prof. Marcela Carlota Nery.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) -- Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Diamantina, 2022.

1. Brassica napus. 2. Vigor. 3. Deterioração controlada. 4. Envelhecimento acelerado. 5. Anatomia e Histoquímica. I. Costa, Márcia Regina da. II. Nery, Marcela Carlota. III. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. IV. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFVJM com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Este produto é resultado do trabalho conjunto entre o bibliotecário Rodrigo Martins Cruz/CRB6-2886 e a equipe do setor Portal/Diretoria de Comunicação Social da UFVJM

ÍTALLO JESUS SILVA


TESTES DE VIGOR E ANATOMIA DE SEMENTES DE CANOLA

Dissertação apresentada ao
MESTRADO EM PRODUÇÃO
VEGETAL, nível de MESTRADO como
parte dos requisitos para obtenção do
título de MESTRE EM PRODUÇÃO
VEGETAL

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Márcia
Regina da Costa

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Marcela
Carlot a Nery


Data da aprovação : 18/08/2022

Documento assinado digitalmente
 **MARCIA REGINA DA COSTA**
Data: 22/08/2022 15:54:35-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>


Prof.Dr.^a MÁRCIA REGINA DA COSTA - UFVJM

Documento assinado digitalmente
 **MARCELA CARLOTA NERY**
Data: 24/08/2022 13:23:55-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.Dr.^a MARCELA CARLOTA NERY - UFVJM


Documento assinado digitalmente
 **DENISE CUNHA FERNANDES DOS SANTOS**
Data: 23/08/2022 17:21:05-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.Dr.^a DAYANA MARIA TEODORO FRANCINO - UFV

Documento assinado digitalmente
 **Dayana Maria Teodoro Francino**
Data: 24/08/2022 10:04:52-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof.Dr.^a DENISE CUNHA FERNANDES DOS SANTOS DIAS - UFV

Prof.Dr.^a RAQUEL MARIA DE OLIVEIRA PIRES - UFLA

Documento assinado digitalmente
 **RAQUEL MARIA DE OLIVEIRA PIRES**
Data: 22/08/2022 20:21:53-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

DIAMANTINA

Aos meus pais Solange e Norberto (in memoriam)
por todo amor, sabedoria e educação.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me permitido realizar esse projeto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final.

A minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida.

A Laiane e família pelo apoio, paciência, motivação e carinho.

A Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), por contribuir com minha formação profissional e pela oportunidade.

A professora Dra. Marcela Carlota Nery pela orientação, confiança, compreensão e ensinamentos.

As professoras Dra. Márcia Regina da Costa e Dra. Dayana Maria Teodoro Francino pela disposição, sugestões e ensinamentos.

Aos amigos do Núcleo de Estudo em Sementes (NES-UFVJM) pelo companheirismo, alegria e descontração no decorrer dos trabalhos.

Aos técnicos de laboratório Fabiano e Michelle por todo o suporte nas atividades laboratoriais.

Aos professores e amigos do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal pelo ensinamento e contribuição a minha formação acadêmica.

Ao professor Dr. Rogério Alves Santana pela contribuição nas análises estatísticas.

Ao Dr. Bruno Laviola da Embrapa Agroenergia, Professor Dr. Guilherme Veira Pimentel da UFLA e a Empresa Celena Alimentos S/A pela cessão das sementes de canola para realização do presente trabalho.

A coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo, código de financiamento 001.

RESUMO

Silva, I. J. **TESTES DE VIGOR E ANATOMIA DE SEMENTES DE CANOLA**. 93 p. (Dissertação – Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2022.

A canola, *Brassica napus* L. var. *oleifera* Moench, é uma oleaginosa grande importância mundial, além de ser uma valiosa fonte de produção de biodiesel e se destacar em sistema de rotação de culturas. No entanto, informações referentes à avaliação do potencial fisiológico das sementes desta espécie ainda são escassas. Neste estudo, dois experimentos foram realizados. O experimento I teve como objetivo avaliar a metodologia do teste de deterioração controlada, para analisar a qualidade de sementes em diferentes níveis de qualidade. Foram utilizados cinco lotes de sementes de canola do híbrido Nuola 300, safras 2019 e 2021, sendo utilizado o esquema fatorial 5x2x4 (cinco lotes, duas temperaturas 41°C e 45°C, ambas por 24 horas, e quatro níveis de grau de umidade das sementes, 15%, 18%, 20% e 22%). Com base nos resultados obtidos, recomenda-se para a realização do teste de deterioração controlada utilizando sementes com grau de umidade de 18%, temperatura de 45°C e 24 horas como período de execução. O experimento II teve como objetivo verificar a qualidade de sementes de canola por meio do teste de envelhecimento acelerado, bem como as alterações anatômicas e histoquímicas de sementes de canola após o envelhecimento. Nesse experimento, foram utilizados cinco lotes de sementes de canola do híbrido Diamond, safras 2019 e 2021, em esquema fatorial 5x3x4 (cinco lotes, três soluções: água destilada (100% UR), solução saturada de NaCl (76% UR) e solução saturada de KCl (87% UR), a 41°C pelos quatro períodos de envelhecimento 24, 48, 72 e 96 horas). Para caracterização anatômica e histoquímica, os cortes foram corados com Azul de Toluidina, Xylidine Ponceau e Sudan IV, foram utilizadas as sementes sem envelhecer e após o envelhecimento acelerado com solução de KCl (24 horas) como tratamento eficiente e pelo método tradicional (96 horas) como tratamento mais drástico. Constatou-se que o teste de envelhecimento acelerado com solução saturada de KCl realizado a 41°C, por 24 horas, é eficaz para avaliar o vigor de sementes de canola. Em relação à presença de proteínas e lipídios, as sementes não envelhecidas e envelhecidas com solução KCl/24 horas apresentaram semelhanças quanto ao padrão de coloração e à estrutura celular. Portanto, conclui-se que o uso da solução saturada de KCl (87% UR) não afetou a qualidade fisiológica da semente.

Palavras-chaves: *Brassica napus*, vigor, deterioração controlada, envelhecimento acelerado.

ABSTRACT

Silva, I. J. **VIGOR TESTS AND ANATOMY OF CANOLA SEEDS**. 93 p. (Dissertation – Master's in Plant Production) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2022.

The canola, *Brassica napus* L. var. *oleifera* Moench, is one of the most important oilseeds in the world, besides being a valuable source of biodiesel production and standing out in the crop rotation system. However, information regarding the evaluation of the physiological potential of the seeds of this species is still scarce. In this study, two experiments were performed. Experiment I aimed to evaluate the methodology of the controlled deterioration test, to analyze the quality of seeds at different quality levels. Five batches of canola seeds from the Nuola 300 hybrid, harvest 2019 and 2021, were used, using the 5x2x4 factorial scheme (five batches, two temperatures 41°C and 45°C, both for 24 hours, and four levels of humidity level of seeds, 15%, 18%, 20%, and 22%). Based on the results obtained, it is recommended to carry out the controlled deterioration test using seeds with a humidity level of 18%, at a temperature of 45°C, and 24 hours as the execution period. Experiment II aimed to verify the quality of canola seeds through the accelerated aging test, as well as the anatomical and histochemical changes of canola seeds after aging. In this experiment, five batches of canola seeds from the Diamond hybrid harvests in 2019 and 2021, were used in a 5x3x4 factorial scheme (five batches, three solutions: Distilled water (100% RH), saturated NaCl solution (76% RH), and saturated KCl (87% RH), at 41°C for the four aging periods (24, 48, 72 and 96 hours). the seeds were used without aging and after accelerated aging with KCl solution (24 hours) as an efficient treatment and by the traditional method (96 hours) for being the most drastic treatment. KCl performed at 41°C for 24 hours is effective to evaluate the vigor of canola seeds. Regarding the presence of proteins and lipids, the seeds not aged and aged with KCl/24 hours solution showed similarities in terms of staining pattern and cell structure. Therefore, it is concluded that the use of saturated KCl solution (87% RH) did not affect the physiological quality of the seed.

Keywords: *Brassica napus*, vigor, controlled deterioration, accelerated aging.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ARTIGO CIENTÍFICO I

- Figura 1** - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico com a formação de grupos com base nos testes de peso de mil sementes (PMS), primeira contagem (PC), germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG), estande inicial (EI), emergência (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e teste de frio (TF) em cinco lotes de sementes de canola.....**34**
- Figura 2** - Correlação de Pearson simples (r) entre as variáveis germinação (G) e emergência (E) e as combinações dos procedimentos do teste de deterioração controlada realizado em sementes de canola: T1= 15%/41°C, T2= 18%/41°C, T3= 20%/41°C, T4= 22%/41°C, T5= 15%/45 °C, T6= 18%/45 °C, T7= 20%/41 °C e T8= 22%/45 °C. Os valores marcados com um “X” não apresentam correlação significativa a 5% de probabilidade, pelo teste t.....**38**
- Figura 3** - Dispersão de autovetores ao longo de um plano circular e formação de grupos obtidos por análise de componentes principais de acordo com as variáveis germinação (G) e emergência (E) e as combinações dos procedimentos do teste de deterioração controlada realizado em sementes de canola: T1= 15%/ 41 °C, T2= 18%/41 °C, T3= 20%/41°C e T4= 22%/41 °C.....**40**
- Figura 4** - Dispersão de autovetores ao longo de um plano circular e formação de grupos obtidos por análise de componentes principais de acordo com as variáveis: germinação (G), emergência (E) e as combinações dos procedimentos do teste de deterioração controlada realizado em sementes de canola: T5= 15%/45 °C, T6= 18%/45 °C, T7= 20%/41 °C e T8= 22%/45 °C.....**42**

ARTIGO CIENTÍFICO II

- Figura 1** - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico com a formação de grupos com base nos dados de peso de mil sementes (PMS), primeira contagem (PC), germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG), estande inicial (EI), emergência (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e teste de frio (TF) em cinco lotes de sementes de canola.....**57**
- Figura 2** - Correlação de Pearson simples (r) entre as variáveis germinação (G), primeira contagem (PC), emergência (E), estande inicial (EI) e teste de frio (TF) e as combinações dos procedimentos do teste de envelhecimento

acelerado realizado em sementes de canola: T1= 24 h/H₂O, T2= 24 h/NaCl, T3= 24 h/KCl, T4= 48 h/H₂O, T5= 48 h/NaCl, T6= 48 h/KCl, T7= 72 h/H₂O, T8= 72 h/NaCl, T9 =72 h/KCl, T10= 96 h/H₂O, T11= 96 h/NaCl e T12= 96 h/KCl. Os valores marcados com um “X” não apresentam correlação significativa a 5% de probabilidade, pelo teste t.....61

Figura 3 - Dispersão de autovetores ao longo de um plano circular e formação de grupos obtidos por análise de componentes principais, de acordo com as variáveis germinação (G), primeira contagem (PC), emergência (E), estande inicial (EI) e o teste de frio (TF) e as combinações dos procedimentos do teste de envelhecimento acelerado realizado em sementes de canola: T1= 24 h/H₂O, T2= 24 h/NaCl, T3= 24 h/KCl, T4= 48 h/H₂O, T5= 48 h/NaCl, T6= 48 h/KCl, T7= 72 h/H₂O, T8= 72 h/NaCl, T9=72 h/KCl, T10= 96 h/H₂O, T11= 96 h/NaCl e T12= 96 h/KCl.....64

Figura 4 - Semente de canola em corte transversal corada com azul de toluidina. A= semente inteira, B= radícula, C= ultraestrutura da célula radícula seccionada, D= cotilédone externo, E= ultraestrutura da célula cotilédone externo seccionado, F= cotilédone interno, G= ultraestrutura da célula cotilédone interno seccionado. Ra= radícula, ci= cotilédone interno, ce = cotilédone externo, tg= tegumento, p= camada paliçádica, ca= camada aleurônica, pd= protoderme, pc= procâmbio e tv= tecido vascular.....67

Figura 5 - Secção de corte transversal de semente de canola corada com azul de toluidina. A= cotilédone externo sem coloração (branco), B= cotilédone externo de sementes não envelhecidas (SNE), C= cotilédone externo de sementes envelhecidas KCl/24 h (SE-KCl/24 h), D= cotilédone externo de sementes envelhecidas H₂O/96 h (SE-H₂O/96 h), E= cotilédone interno sem coloração (branco), F= cotilédone interno de sementes não envelhecidas (SNE), G= cotilédone interno de sementes envelhecidas KCl/24 h (SE-KCl/24 h), H= cotilédone interno de sementes envelhecidas H₂O/96 h (SE-H₂O/96 h), I= radícula sem coloração (branco), J= radícula de sementes não envelhecidas (SNE), K= radícula de sementes envelhecidas KCl/24 h (SE-KCl/24 h) e L: radícula de sementes envelhecidas H₂O/96 h (SE-H₂O/96h). Setas pretas indicam desarranjo na estrutura celular. Barra: 15 µm.....69

Figura 6 - Secções transversais de semente de canola corada com Xilidine Ponceau (XP). A= cotilédone externo sem coloração (branco), B= cotilédone externo de sementes não envelhecidas (SNE), C= cotilédone externo de sementes envelhecidas KCl/24 h (SE-KCl/24h), D= cotilédone externo de sementes envelhecidas H₂O/96 h (SE-H₂O/96h), E= cotilédone interno sem coloração (branco), F= cotilédone interno de sementes não envelhecidas (SNE), G=

cotilédone interno de sementes envelhecidas KCl/24 h (SE-KCl/24 h) e H= cotilédone interno de sementes envelhecidas H₂O/96 h (SE-H₂O/96 h). Setas pretas indicam alteração na estrutura celular. cp= corpos proteicos. Barra: 15 µm.....71

Figura 7 - Seções transversais de semente de canola corada com Sudan IV. A= cotilédone externo sem coloração (branco), B= cotilédone externo de sementes não envelhecidas (SNE), C= cotilédone externo de sementes envelhecidas KCl/24 h (SE-KCl/24 h), D= cotilédone externo de sementes envelhecidas H₂O/96 h (SE-H₂O/96h), E= cotilédone interno sem coloração (branco), F= cotilédone interno de sementes não envelhecidas (SNE), G= cotilédone interno de sementes envelhecidas KCl/24 h (SE-KCl/24 h) e H= cotilédone interno de sementes envelhecidas H₂O/96 h (SE-H₂O/96 h). Setas pretas indicam alteração na estrutura celular. gl= gotícula lipídica. Barra: 15 µm.....74

LISTA DE TABELAS

ARTIGO CIENTÍFICO I

- Tabela 1-** Grau de umidade = U (%), peso de mil sementes = PMS (g), plântulas normais na primeira contagem = PC (%), germinação = G (%), índice de velocidade de germinação = IVG, estande inicial = EI (%), emergência = E (%), índice de velocidade de emergência = IVE e teste de frio = TF, obtidos para caracterização do perfil dos cinco lotes de sementes de canola. UFVJM, Diamantina, MG, 2022..... **32**
- Tabela 2-** Dados médios do grau de umidade após o ajuste para os valores estabelecidos de 15%, 18%, 20% e 22% de umidade, para realização do teste de deterioração controlada em cinco lotes de sementes de canola.....**35**
- Tabela 3-** Dados médios de germinação (%) de cinco lotes de sementes de canola submetidos ao teste de deterioração controlada, empregando as combinações de umidade 15%, 18%, 20% e 22% e as temperaturas 41 °C e 45 °C..... **37**
- Tabela 4-** Matriz de autovetores e autovalores dos componentes principais (CP) e avaliação da qualidade fisiológica de sementes de cinco lotes de canola, com ênfase no teste de deterioração controlada, de acordo com as variáveis germinação (G) e emergência (E) e as combinações dos procedimentos do teste de deterioração controlada realizado em sementes de canola: T1= 15%/41°C, T2= 18%/41°C, T3= 20%/41°C, T4= 22%/41°C..... **39**
- Tabela 5-** Matriz de autovetores e autovalores dos componentes principais (CP) e avaliação da qualidade fisiológica de sementes de cinco lotes de canola, com ênfase no teste de deterioração controlada, de acordo com as variáveis: germinação (G) e emergência (E), T5= 15%/45 °C, T6= 18%/45 °C, T7= 20%/41 °C e T8= 22%/45 °C..... **40**

ARTIGO CIENTÍFICO II

- Tabela 1-** Grau de umidade = U (%), peso de mil sementes = PMS (g), plântulas normais na primeira contagem = PC (%), germinação = G (%), índice de velocidade de germinação = IVG, estande inicial = EI (%), emergência = E (%), índice de velocidade de emergência = IVE e teste de frio – TF, obtidos para caracterização do perfil dos cinco lotes de sementes de canola. UFVJM, Diamantina, MG, 2022.....**55**
- Tabela 2-** Grau de umidade (%) das sementes de canola submetidas a períodos de envelhecimento acelerado pelo método tradicional (H₂O) e pelos métodos com solução salina de NaCl e KCl.....**58**
- Tabela 3 -** Porcentagem de plântulas normais do teste de germinação de cinco lotes de sementes de canola submetidos a períodos de envelhecimento acelerado (horas) pela solução tradicional (H₂O), solução saturada de cloreto de sódio (NaCl) e solução saturada de cloreto de potássio (KCl).....**59**
- Tabela 4 -** Matriz de autovetores e autovalores dos componentes principais (CP) e avaliação da qualidade fisiológica de cinco lotes de sementes de canola, com ênfase no teste de envelhecimento acelerado, de acordo com as variáveis: germinação (G), primeira contagem (PC), emergência (E), emergência inicial (EI) e o teste de frio (TF): T1= 24 h/H₂O, T2= 24 h/NaCl, T3= 24 h/KCl, T4= 48 h/H₂O, T5= 48 h/NaCl, T6= 48 h/KCl, T7= 72 h/H₂O, T8= 72 h/NaCl, T9= 72 h/KCl, T10= 96 h/H₂O, T11= 96 h/NaCl e T12= 96 h/KCl.....**62**

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| RESUMO | iv |
| ABSTRACT | v |
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES | vi |
| LISTA DE TABELAS | ix |
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 7 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO..... | 8 |
| 2.1 Caracterização e importância econômica da canola | 8 |
| 2.2 Qualidade fisiológica da semente | 11 |
| 2.3 Teste de Deterioração Controlada | 13 |
| 2.4 Teste de Envelhecimento Acelerado | 14 |
| 2.5 Caracterização anatômicas e histoquímica da semente | 16 |
| REFERÊNCIAS | 18 |
| ARTIGO CIENTÍFICO I –VIGOR DE SEMENTES DE CANOLA PELO TESTE DE DETERIORAÇÃO CONTROLADA | 25 |
| RESUMO | 25 |
| ABSTRACT | 26 |
| 1. INTRODUÇÃO | 27 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 28 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 30 |
| 4 CONCLUSÕES..... | 43 |
| REFERÊNCIAS | 44 |
| ARTIGO CIENTÍFICO II – TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO E ANÁLISE ANATÔMICA E HISTOQUÍMICA NA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE CANOLA..... | 49 |
| RESUMO | 49 |
| ABSTRACT | 50 |
| 1. INTRODUÇÃO | 51 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 52 |
| 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 55 |
| 4 CONCLUSÕES..... | 76 |
| REFERÊNCIAS | 77 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 83 |

1 INTRODUÇÃO GERAL

A canola, *Brassica napus* L. var. *oleifera* Moench, apresenta elevado potencial de produção agrícola, por ser uma oleaginosa com alto teor de óleo, utilizada tanto para a produção de biocombustíveis quanto para a alimentação humana e animal (GONÇALVES et al., 2022). Porém, sendo uma espécie predominante em climas temperados, sua produtividade ainda é baixa, havendo a necessidade de ajustes de cultivo. Assim, vários estudos têm relatado seu potencial de crescimento em climas mais quentes (DE MORI; TOMM; FERREIRA, 2014; GUIDUCCI et al., 2020; TOMM et al., 2009a), o que possibilita sua implementação por exemplo, no Cerrado brasileiro.

Essa alternativa seria interessante uma vez que a cultura apresenta ciclo curto e pode ser uma opção para programa de rotação de cultura em períodos de segunda safra, pois seria uma alternativa econômica para os produtores, que podem se beneficiar da mesma estrutura de máquinas e equipamentos disponíveis nas propriedades, com apenas algumas adaptações por acréscimo com uso de kits (LAVIOLA et al., 2019).

O cultivo da canola no Brasil apresenta grande potencial de se difundir, haja visto as características relevantes dessa oleaginosa, para auxiliar na difusão dessa cultura, importante o uso de sementes com elevada qualidade e potencial produtivo (TOMM et al., 2009b).

O aumento da demanda, de sementes de cultivares mais eficientes e adaptáveis a condições limitantes de produtividade, é cada vez maior, portanto, a avaliação da qualidade fisiológica de sementes é de fundamental importância ((TOMM, 2007; MARCOS FILHO, 2015).

A avaliação da qualidade fisiológica das sementes é rotineiramente realizada por meio do teste de germinação, porém sugere-se a complementação com testes de vigor, para selecionar lotes que apresentariam melhor desempenho em condições adversas (TORRES et al., 2012). Dentre os testes utilizados, destacam-se o envelhecimento acelerado e a deterioração controlada, que possibilitam a classificação dos lotes em diferentes níveis de vigor, oferecendo auxílio a toda cadeia produtora de sementes para a tomada de decisões quanto à comercialização e à condução dos lotes (MARCOS FILHO, 1999).

As sementes quando expostas aos fatores ambientais estressantes, podem sofrer aceleração do processo de deterioração, o que promove uma série de alterações físicas, bioquímicas, citológicas e fisiológicas, que se inicia a partir da maturidade fisiológica, em ritmo progressivo, culminando com a morte das sementes (MARCOS FILHO, 2015). Portanto, alterações em nível celular podem ser acompanhadas pelo uso de técnicas

anatômicas e histoquímicas, para verificação da estrutura celular da semente. Neste estudo os testes de vigor, a deterioração controlada e o envelhecimento acelerado foram utilizados para adequar a metodologia como possibilidade de detectar a sensibilidade dos testes para determinar o potencial fisiológico de lotes de sementes de canola, bem como uso de técnicas anatômica e histoquímicas para avaliar as estruturas celulares e os compostos de reservas após o envelhecimento como ferramentas complementares da qualidade fisiológica das sementes.

Assim, o objetivo nesse estudo foi adequar a metodologia dos testes de deterioração controlada e envelhecimento acelerado para avaliação da qualidade de sementes de canola, bem como avaliar as alterações da qualidade fisiológica por meio das análises anatômica e histoquímica de sementes de canola após o envelhecimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização e importância econômica da canola

A canola, *Brassica napus* L. var. *oleifera* Moench, pertence à família *Brassicaceae* e ao gênero *Brassica*, um híbrido desenvolvido por melhoristas canadenses a partir da hibridação de duas espécies da colza, a *Brassica oleraceae* e a *Brassica rapa*, com o objetivo de reduzir o teor de ácido erúico e de glicosinolatos no óleo extraído da semente (GONÇALVES et al., 2022). Após a obtenção do cruzamento entre essas espécies, iniciou-se o melhoramento das sementes de canola para elevar seu potencial produtivo e a qualidade do óleo, até chegar ao que é produzido atualmente (TAGOL, 2006). Devido ao crescente uso de óleo e farelo proteico, programas de melhoramento vem focando na produção de cultivares que se caracterizam principalmente por alta produtividade, resistência a estresses abióticos e bióticos (BOCIANOWSKI; LIERSCH, 2022).

A canola tem grande importância econômica, destacando-se como a terceira oleaginosa mais produzida no mundo, ficando atrás do dendê e da soja (GONÇALVES et al., 2022). É considerada uma cultura de extenso mercado uma vez que é utilizada para fins de consumo humano e industrial, apresentando elevada quantidade de teor de óleo extraído dos grãos (34% a 38%), sendo também utilizada como matéria-prima para produção de biodiesel e como fonte de proteína (24% a 27%) na alimentação animal (TOMM et al., 2009; ANDRADE et al., 2020).

Em 2021, foram produzidas 595 milhões de toneladas de oleaginosas no mundo, dentre elas girassol, soja e canola, sendo o Canadá, a União Europeia, a China, a Índia e o Japão os maiores produtores. Em relação à exportação, 194 milhões de toneladas de oleaginosas foram exportadas mundialmente, principalmente devido ao aumento da

produtividade da canola no Canadá e do comércio de soja dos Estados Unidos. Os maiores consumidores de óleo de canola são a União Europeia, com 9,55 milhões de toneladas, e a China, com 8,15 milhões de toneladas (USDA, 2021).

A produção brasileira de canola, em relação ao contexto internacional, é ainda incipiente. Na safra de 2020, o Brasil cultivou uma área de 35,3 mil hectares dessa oleaginosa, com uma produtividade média de 912 kg.ha⁻¹, totalizando 32,2 mil toneladas do grão, sendo os maiores produtores os estados do Rio Grande do Sul e Paraná (CONAB, 2021). Em relação à produtividade média dos grãos, constatam-se oscilações ao longo dos anos, principalmente devido às adversidades climáticas no país, o que resulta em quedas na produtividade (GONÇALVES et al., 2022).

A canola é uma planta herbácea, de ciclo anual, e com sistema radicular pivotante, com grande distribuição de raízes secundárias (PEREIRA et al., 2019). Suas flores são amarelas, com quatro pétalas e quatro sépalas, dispendo-se em cachos simples na extremidade do caule principal e em cada uma das ramificações (TOMM, 2005). As flores são hermafroditas, prevalecendo a autofecundação, contudo pode ocorrer até 30% de fecundação cruzada, anemofilia e entomofilia, cujos frutos se dispõem como síliquas deiscentes que contêm sementes formadas por um embrião e dois cotilédones (LAVIOLA et al., 2019). A cor das sementes de canola, semelhantemente à das sementes de colza, varia de verde a preto, na fase de maturação. Logo que atingem a maturidade fisiológica, seu teor médio de umidade varia de 30% a 35% (CANOLA COUNCIL OF CANADA, 2022).

O ciclo de vida da planta de canola é dividido em oito estádios principais: germinação (estádio 0), desenvolvimento foliar (estádio 1), desenvolvimento dos ramos laterais (estádio 2), alongamento do caule (estádio 3), emergência da inflorescência (estádio 4), florescimento (estádio 5), desenvolvimento das sementes (estádio 6) e maturação (estádio 7) (FUZARO et al., 2019). O conhecimento dos estádios de desenvolvimento da planta de canola é importante para o manejo da cultura, pois o calendário e a ocorrência dos diferentes estádios irão variar de acordo com as condições de crescimento, a localização e a variedade empregada no cultivo (THOMAS, 2003), bem como permite o planejamento adequado das práticas culturais. Geralmente, seu ciclo de vida varia de 107 a 166 dias, tempo que contempla desde a semeadura até a colheita de seus grãos/sementes (ESTEVEZ et al., 2014).

O cultivo de canola é feito predominante em regiões que apresentam latitudes entre 33° e 55° e pode ser diferenciado quanto ao requerimento em vernalização, ou seja, a cultivar de inverno necessita de temperatura inferior a 7°C, por um período mínimo de oito semanas, para que haja o florescimento (FUZARO et al., 2019; TOMM et al., 2009). A canola de

primavera desenvolve-se satisfatoriamente em ambientes com temperaturas que variam entre 13 °C e 22 °C, com maior expressão na América do Sul, na Austrália e no Canadá (FRIEDT; SNOWDON, 2009). No Brasil, essas condições térmicas são encontradas predominantemente na Região Sul, durante o outono, o inverno e no início da primavera, o que corresponde ao período de crescimento da canola nessas regiões (DALMAGO et al., 2010). Por outro lado, vários estudos têm relatado seu potencial de crescimento em climas mais quentes, dando início então à “tropicalização” da cultura (GONÇALVES et al., 2022; SILVA; ROSADO, 2014; PANOZZO et al., 2014). Dessa forma, a área potencial de cultivo no País poderia ser ampliada consideravelmente, incluindo as regiões de expansão agrícola, sobretudo no Cerrado (LAVIOLA et al., 2019).

No Brasil, sua implantação seria uma alternativa aos cereais de inverno, por exemplo, trigo, aveia, cevada, entre outros (COMIN, 2017). Além disso, ela pode ser plantada em regiões de clima tropical, utilizada em rotação de culturas, viabilizando a produção de óleo vegetal na safrinha, quando uma extensa área de cultivo fica inoperante no País (MORI; MIRANDA, 2013). Com sua expansão, no entanto, uma atenção especial deve ser dada às novas tecnologias de manejo específicas para cada região, de maneira a possibilitar sua inserção como cultura de safrinha nos sistemas, principalmente para a produção de óleo (GONÇALVES et al., 2022).

Além de seu uso para fins comestíveis, recentemente o óleo de canola vem sendo utilizado como matéria-prima para produção de biodiesel, especialmente na Europa (GUIDUCCI et al., 2020). No Brasil, as matérias-primas para produção de biodiesel, em 2021, foram basicamente óleo de soja (71,4%), gordura animal (11,3%) e composto de óleo de algodão, palma, amendoim, nabo-forageiro, girassol, mamona, sésamo, canola e milho, óleo de fritura usado e outros materiais graxos (17,3%) (ANP, 2021). Apesar de a soja ser a principal cultura utilizada no Brasil para produção de biodiesel, o aumento da demanda internacional e das normas de qualidade, abriu espaço para o uso do óleo de canola, o que leva a um considerável aumento na quantidade de lavouras de canola no Brasil (VISENTAINER et al., 2015).

Para ampliação da cultura, é necessário utilizar sementes de boa qualidade, portanto durante a produção de sementes de canola deve-se atentar para as condições ambientais, principalmente na colheita (GULARTE; MACEDO; PANOZZO, 2020). A canola tem maturação desuniforme, o que propicia um déficit na qualidade das sementes durante as etapas de processamento (SANTOS et al., 2020), por isso a dessecação muitas vezes, é indicada, mesmo havendo riscos à perda da qualidade (MARCHIORI JR. et al., 2002). O

processo de maturação das síliquas se dá de forma acrópeta (de baixo para cima na haste principal e nos ramos secundários) e pode correlacionar-se com a variação de tamanho das sementes (TOMM, 2005). Com o amadurecimento, suas síliquas se abrem, por apresentar deiscência natural, o que acarreta perdas de sementes maduras ao solo (PANOZZO et al., 2014). A elevada desuniformidade da maturação da planta ocasiona perdas na lavoura, pela queda de sementes, o que resulta em valores superiores a 30% de redução na produtividade, principalmente se as condições ambientais, como precipitações intensas e ventos fortes, acontecerem nos estádios fenológicos finais do ciclo da cultura (TOMM, 2005).

As sementes de canola atingem sua maturidade fisiológica com umidade de 35%, e a partir desse ponto perdem água até o momento da colheita (MARCHIORI JR. et al., 2002). A colheita deve iniciar quando as sementes estiverem com umidade em torno de 18%; teor de água abaixo desse percentual, poderá acarretar perdas devido à deiscência natural, por isso é necessário determinar a umidade diariamente, o que pode ser facilmente feito na lavoura (ANGELOTTI MENDONÇA et al., 2016). A base para comercialização de sementes de canola é de 10% de umidade (BRASIL, 2013). Semler e Massetto (2014) e Haeblerlin et al. (2020), com o intuito de definir a melhor forma de conservação das sementes, realizaram estudos e constataram que a redução da umidade para 8% e o armazenamento em câmara fria em torno de 7 °C mantiveram a viabilidade das sementes de canola por até 180 dias. O armazenamento adequado é importante para a manutenção da qualidade fisiológica da semente, o que depende da espécie e de sua qualidade inicial (HAEBERLIN et al., 2020).

Além disso, determinar a qualidade fisiológica da semente é de fundamental importância, o que tem sido feito preferencialmente por meio de testes de germinação e de vigor. Logo, para o controle interno de qualidade, cada vez mais técnicas e testes têm sido adotados para verificação da qualidade das sementes em condições de estresses, principalmente para auxiliar na tomada de decisões.

2.2 Qualidade fisiológica da semente

A obtenção da máxima qualidade fisiológica das sementes é definida no momento da maturidade fisiológica, onde observar-se o máximo de vigor, germinação e matéria seca. A partir desse ponto, tende a ocorrer uma queda progressiva na qualidade da semente, em virtude do processo de deterioração (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). Assim, um dos principais desafios das pesquisas sobre tecnologia de sementes está na adequação de testes de vigor que permitam identificar eventos da deterioração que precedem a perda da capacidade germinativa das sementes (SILVA et al., 2019).

A avaliação da qualidade fisiológica das sementes é rotineiramente realizada por meio do teste de germinação, segundo as indicações contidas nas Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009). O teste de germinação é conduzido sob condições ótimas de luz, temperatura, umidade e aeração, com a finalidade de obter informações acerca da qualidade de diferentes lotes com visibilidade para a comercialização (ÁVILA et al., 2005a).

Entretanto, devido às divergências entre a germinação obtida em laboratório e o comportamento das sementes após a semeadura ou durante o armazenamento, esse teste apresenta algumas limitações, como não avaliar o processo de deterioração das sementes. Logo, para suprir essas limitações e possibilitar a obtenção de informações mais consistentes, indica-se a realização de testes de vigor (MARCOS FILHO, 2015).

Esses testes de vigor baseiam-se nas condições de estresse nas quais as sementes são submetidas e/ou no declínio de suas funções bioquímicas e fisiológicas (NAKAGAWA, 1999). Segundo Marcos Filho (2015), as sementes vigorosas influenciam o desempenho inicial das plantas, proporcionando uma emergência rápida e uniforme em diferentes variações ambientais.

Os testes de vigor são particularmente importantes para os lotes de sementes de oleaginosas, uma vez que alto nível de oxidação de ácidos graxos insaturados pode ocorrer durante o armazenamento, especialmente sob alta temperatura e umidade (ELIAS; COPELAND, 2001). Segundo esses autores, o vigor das sementes diminui rapidamente com o aumento do período de armazenamento. Condições desfavoráveis de armazenamento podem resultar em perda de sementes, com danos às propriedades seletivas da membrana (PILLA et al., 2020).

Dentre os testes de vigor disponíveis, o de envelhecimento acelerado e o de deterioração controlada estão entre os mais estudados, pela possibilidade de padronização e recomendação para identificar o potencial fisiológico de várias espécies cultivadas (MARCOS FILHO, 2005).

Os testes de deterioração controlada e envelhecimento acelerado são considerados eficientes e sensíveis para diferenciar lotes de inúmeras espécies. Esses testes caracterizam-se pelo uso de condições artificiais de elevada umidade e temperatura para acelerar a deterioração e, assim, identificar o vigor entre cultivares e entre lotes de uma cultivar (MARCOS FILHO, 2015). Dentre as vantagens dos testes, destaca-se o fato de serem relativamente simples e de fácil padronização (GOULART; TILLMANN, 2007).

Segundo Elias e Copeland (1997), o vigor da semente de canola pode ser determinado por meio do teste frio, da velocidade de germinação, do envelhecimento acelerado pelo

método tradicional (42°C/48 horas) e da condutividade elétrica; todos esses testes se correlacionam com a emergência e o estabelecimento da cultura em diferentes condições. Já Ávila et al. (2005), ao realizarem o teste de envelhecimento acelerado pelo método tradicional (42 °C/24 horas), comprovaram sua eficiência para detectar diferenças entre os lotes de sementes de canola, quanto ao potencial de emergência das plântulas no campo. Elliott et al. (2007) conduziram o teste de deterioração controlada por 45 °C/24 horas, o que forneceu uma boa indicação do desempenho e do estabelecimento da canola, proporcionando, assim, maior separação dos lotes.

2.3 Teste de deterioração controlada

O teste de deterioração controlada caracteriza-se pelo uso de condições de elevada umidade e temperatura para acelerar a deterioração, evitando, assim, problemas com a absorção diferenciada de água pelas sementes em ambiente com alta umidade relativa, o que o torna eficiente na identificação do vigor entre cultivares e entre lotes de um cultivar (MARCOS FILHO, 2015).

Esse teste foi inicialmente desenvolvido para avaliação do vigor de lotes de sementes pequenas, como de olerícolas (POWELL; MATTHEWS, 1981), permitindo a manutenção das sementes com teor de água uniforme (POWELL; MATTHEWS, 2005). Ele consiste em uma técnica de envelhecimento similar à do teste de envelhecimento acelerado, porém apresentando melhor controle do teor de água da semente e da temperatura durante o período de envelhecimento (KRZYZANOWSKI; VIEIRA, 1999). O teor de água das sementes no teste de deterioração controlada é trazido para um mesmo nível em todas as amostras, antes do início do período de deterioração (TORRES et al., 2012).

Porém, o ajuste do teor de água é a principal dificuldade encontrada no teste, sendo necessária a sua realização de forma minuciosa e com muita atenção, pois se feito de forma inadequada o teste pode apresentar um resultado contrário ao desejado (RODRIGUES et al., 2020). No entanto, quando conduzido adequadamente, o teste de deterioração controlada é recomendado, por oferecer maior segurança e reduzir ao mínimo os riscos de danos fisiológicos às sementes (MARCOS FILHO; NOVEMBRE, 2009).

Para as *Brassicas*, vêm sendo ajustadas metodologias para o teste de deterioração controlada, visando avaliar o grau de deterioração das sementes expostas aos estresses de elevada umidade e temperatura do ar (MORAIS; ROSSETTO, 2013).

Estudos para avaliar o melhor ajuste de teor de água inicial das sementes vêm sendo realizados na tentativa de aprimorar a padronização da metodologia do teste de deterioração

controlada. No entanto as espécies, ou até mesmo as cultivares, podem apresentar comportamento variado, quando submetidas aos procedimentos preconizados para o método (LEÃO ARAÚJO et al., 2017).

O teste de deterioração controlada tem sido bastante empregado para determinar o potencial fisiológico de espécies como a canola, a 42 °C/24 horas, com ajuste do teor de água para 20% (ELLIOTT et al., 2007); a rúcula, a 45 °C/48 horas, com ajuste do teor de água para 18% e 21% (ALVES et al., 2011); o repolho, a 45 °C/24 horas, com teor de água ajustado para 20% (BERNARDIS et al., 2015); a couve-flor, a 45 °C/24 horas, com teor ajustado de água para 20% ou 22% (KIKUTI;MARCOS FILHO, 2007); e a cambre, a 45 °C/24 horas, com teor de água ajustado para 18% (LEÃO ARAÚJO et al., 2017).

Diante da carência de informações, a intensificação de pesquisas sobre o teste de deterioração controlada é uma alternativa interessante, considerando que ele é um teste relativamente simples e não demanda equipamentos sofisticados.

2.4 Teste de envelhecimento acelerado

O teste de envelhecimento acelerado tem como princípio considerar a taxa de deterioração das sementes, devido ao aumento da temperatura e da umidade relativa do ar, considerados os fatores ambientais preponderantes na intensidade e velocidade de deterioração (MARCOS FILHO, 2015). Nessas condições, as sementes mais vigorosas deterioram-se mais lentamente que as menos vigorosas, apresentando redução diferenciada da viabilidade (ALVES; SÁ, 2010).

Esse teste é amplamente utilizado, pela sua importância em programas de controle de qualidade estabelecidos pela indústria de sementes, principalmente pela avaliação do potencial fisiológico de sementes, proporcionando valiosas informações sobre as diferenças de vigor entre as amostras analisadas, o potencial de armazenamento e o potencial de emergência de plântulas em campo. Ele é validado pela *International Seed Testing Association* (ISTA), há vários anos, é recomendado pela *Association of Official Seed Analysts* (AOSA), sendo o segundo teste mais utilizado para avaliar o vigor de sementes, tanto nos Estados Unidos como no Brasil (MARCOS FILHO, 2020).

O envelhecimento acelerado é um dos testes de vigor mais difundidos, devido à sua precisão e sensibilidade em detectar diferenças de qualidade entre lotes de sementes com germinação semelhante (SILVA et al., 2019).

No teste de envelhecimento acelerado tradicional, as sementes absorvem água em ambiente relativamente quente e úmido, de modo que os resultados sofrem influência, dentre

outros fatores, do grau de umidade inicial das sementes e do período de permanência das amostras no interior da câmara de envelhecimento (MARCOS FILHO, 1999). Por esse motivo, alternativas têm sido estudadas para a condução do envelhecimento acelerado, como a substituição da água colocada no interior da caixa plástica por soluções saturadas de NaCl, KCl ou NaBr (JIANHUA; McDONALD, 1996). Isto permite a redução da velocidade de captação de água e da intensidade de deterioração, além da obtenção de efeitos menos drásticos sobre as sementes e de resultados menos variáveis (MARCOS FILHO, 2001). Portanto, é importante salientar que o método alternativo com solução salina foi inicialmente desenvolvido para sementes de hortaliças, especialmente sementes pequenas, buscando utilizar uma condição menos estressante do que a proporcionada pelo método tradicional com 100% de UR (JIANHUA; MCDONALD, 1997).

Para algumas espécies de sementes de *Brassicas*, há diferentes indicações da temperatura e do período de condicionamento adequados para a realização do teste de envelhecimento acelerado pelo método tradicional, que consiste em expor as sementes à umidade relativa de 100% e a altas temperaturas, por exemplo, 42 °C/48 e 72 horas para repolho e brócolis (COSTA; TRZECIAK; VILLELA, 2008); 41°C/96 horas para nabo-forrageiro (NERY et al., 2009); 41°C/24 e 48 horas para rúcula (DE FREITAS et al., 2018); 41°C/48 horas para rabanete e couve-flor (DE ÁVILA; VILLELA; DE ÁVILA, 2006; KIKUTI; MARCOS FILHO, 2007) e 41°C/72 horas para couve e crambe (KOMBA; BRUNTON; HAMPTON, 2006; AMARO et al., 2014). Para a canola já foram descritas diferentes metodologias do teste de envelhecimento acelerado, por exemplo, 42°C/48 horas (ELIAS; COPELAND, 1997); 42 °C/24 horas (ÁVILA et al., 2005b); 41°C/72 horas (LEEKES, 2006); 42 °C/24 horas (SEMLER; MASETTO, 2014); 41°C /48 horas (PAULA et al., 2016) e 42 °C/24 horas (HAEBERLIN et al., 2020).

Alternativas de modificação do teste de envelhecimento acelerado foram estudadas com o intuito de causar danos menos severo às sementes, mantendo a sensibilidade do teste. Uma dessas alternativas é a substituição de água por soluções salinas que diminuiriam a umidade relativa, como NaCl (76% UR), ou KCl (87%UR), ou NaBr (55%UR) (JIANHUA; McDONALD, 1997). Vários são os trabalhos com solução diluída de NaCl, por exemplo, a 42 °C/48 horas para brócolis (LIMA et al., 2002; TUNES; TAVARES; BARROS, 2012); 42 °C/72 e 96 horas para repolho e brócolis (COSTA; TRZECIAK; VILLELA, 2008); 41°C/ 24 e 48 horas para rúcula (RAMOS et al., 2004; DE FREITAS et al., 2018); 45 °C/72 e 96 horas para gergelim couve-flor (JESUS et al., 2020; KIKUTI; MARCOS FILHO, 2008) e 43°C/72 horas para crambe (AMARO et al., 2014). Já como alternativa de substituição de

água por solução saturada de KCl para diminuição da umidade relativa, alguns estudos relatam a 41°C/48 horas para feijão-caupi (DOURADO et al., 2013); 45 °C/120 horas para cenoura, alface e brócolis (RIBEIRO; CARVALHO, 2005); 41 °C/72 horas para crambe (PEREIRA LIMA et al., 2015) e 42 °C/48 horas para nabo-forrageiro e ervilha-forrageira (MACHADO et al., 2019a; MACHADO et al., 2019b).

A avaliação do potencial fisiológico de sementes é o principal componente de um programa de controle de qualidade, visto que fornece informações que identificam e solucionam problemas durante o processo produtivo, além de estimar o desempenho das sementes em campo (MARTINS; SILVA; MACHADO, 2014). No entanto, em espécies com sementes pequenas como as sementes de canola, têm-se verificado resultados pouco consistentes, devido à variação acentuada do grau de umidade nas amostras avaliadas após o período de envelhecimento (ÁVILA et al., 2005a). Assim, para obter melhor resultado no teste, devem-se utilizar técnicas que limitem a absorção de água pelas sementes. A solução saturada de NaCl e KCl permite a obtenção de umidades relativas inferiores às verificadas no envelhecimento acelerado convencional (JIANHUA; MCDONALD, 1997), podendo ser mais adequada para esse tipo de semente.

2.5 Caracterização anatômicas e histoquímica da semente

No processo de germinação, a caracterização anatômica e histoquímica da semente tem importante papel no estabelecimento de plantas e na produtividade das culturas (RODRIGUES et al., 2019). As espécies vegetais apresentam comportamentos únicos de germinação, derivados das propriedades de reserva das sementes, das condições ambientais e dos fatores genéticos (MAYER; A. POLJAKOFF MAYBER, 1975).

Os estudos anatômicos das sementes e das plântulas, além de fornecerem informações sobre a germinação, o armazenamento, a viabilidade e os métodos de semeadura, auxiliam em trabalhos de análise do ciclo vegetativo das espécies, contribuindo, assim, para a correta identificação, principalmente com base nas ilustrações obtidas, o que facilita sua padronização e identificação (FERREIRA et al., 2001). Além disso, fornecem informações para a adequação de métodos de produção que permitem entender o estabelecimento das plantas em condições adversas (DA SILVA; VIEIRA; SANTOS, 2008a).

Estudos de aspectos anatômicos de sementes têm sido uma importante ferramenta para a análise de qualidade na agricultura (SILVA; PAOLI, 2000), visto que possibilita a compreensão de fenômenos ligados ao comportamento de espécies com seus processos fisiológicos (GARCIA; NOGUEIRA; ALQUINI, 2006). A compreensão das morfologias

interna e externa das sementes, assim como do desenvolvimento da plântula, permite a identificação das estruturas, contribuindo e adequando a identificação do teste de qualidade fisiológica, dados que são baseados na presença e na caracterização das raízes primárias e secundárias, epicótilo e hipocótilo, cotilédones e folhas primárias em plântulas (ABREU et al., 2012).

A anatomia e a histoquímica em estudo com sementes têm sido destaques, pois assumem papéis-chave para a compreensão dos mecanismos associados à germinação das sementes, proporcionando a visualização de alterações celulares e de tecidos relacionados a esse processo (LOUREIRO et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2011).

Com o processo de envelhecimento das sementes, o seu potencial fisiológico sofre alterações que são degenerativas, de maneira que as camadas celulares da semente sofrem modificações anatômicas. Silva et al. (2008) constataram perda de qualidade em relação da anatomia da testa de sementes de soja logo após o envelhecimento acelerado. A testa da semente tem papel fundamental na conservação do potencial fisiológico das sementes, porém os autores relataram que houve decréscimo da germinação com o aumento dos períodos de envelhecimento de 48, 72 e 96 horas, o que resultou na redução da espessura das camadas da testa em períodos de 72 horas de envelhecimento e em rompimento das células principalmente da camada hipodérmica, que apresentaram aspectos de colapsos em período de 96 horas de envelhecimento, causando redução do potencial germinativo. Rodrigues (2020), ao avaliar período de armazenamento de sementes de soja, constatou redução da qualidade fisiológica e desestruturação celular mais intensa nos cotilédones das sementes de soja.

As sementes podem sofrer colapsos em suas células, como no eixo embrionário, devido a condições de estresse, o que altera o processo de imbibição e promove a perda de líquidos (SILVA et al., 2008). Ainda existe uma carência de estudos sobre o conhecimento da anatomia de semente, no entanto ferramentas como anatomia e histoquímica utilizadas como indicadores da qualidade fisiológica das sementes demonstram ser promissoras para trazer novas informações a respeito da deterioração de semente.

REFERÊNCIAS

- ALVES, C. Z. et al. Qualidade fisiológica de sementes de *Eruca sativa* L. pelo teste de deterioração controlada. **Ciência Rural**, v. 41, n. 12, p. 2090–2095, 2011.
- ALVES, C. Z.; SÁ, M. E. DE. Avaliação do vigor de sementes de rúcula pelo teste de lixiviação de potássio. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 32, n. 2, p. 108–116, 2010.
- AMARO, H. T. R. et al. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst), cultivar FMS Brilhante. **Revista Ceres**, v. 61, n. 2, p. 202–208, 2014.
- ANASTÁCIO FERREIRA, R. et al. Morfologia de frutos, sementes, plântulas e plantas jovens de *Dimorphandra mollis* Benth. - faveira (Leguminosae-Caesalpinioideae). **Brazilian Journal of Botany**, v. 24, n. 3, p. 303–309, set. 2001.
- ANDRADE, T. C. S. et al. Is the physiological potential of oilseed rape influenced by fertilization with nitrogen and sulfur? **Journal of Seed Science**, v. 42, p. 1–10, 14 ago. 2020.
- ANGELOTTI-MENDONÇA, J. et al. Canola (*Brassica napus* L.). **Série Produtor Rural**, v. n°61, p. 35, 2016.
- ANP. ANUÁRIO ESTATÍSTICO BRASILEIRO DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2021/anuario-2021.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2022.
- ANASTÁCIO FERREIRA, R. et al. Morfologia de frutos, sementes, plântulas e plantas jovens de *Dimorphandra mollis* Benth. - faveira (Leguminosae-Caesalpinioideae). **Brazilian Journal of Botany**, v. 24, n. 3, p. 303–309, set. 2001.
- ARAÚJO, J. DE O. et al. Accelerated aging test and antioxidant enzyme activity to assess chickpea seed vigor. **Journal of Seed Science**, v. 43, p. 2021, 3 dez. 2021.
- ARAÚJO, R. F. et al. Teste de condutividade elétrica para sementes de feijão-mungo-verde. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 1, p. 123–130, 2011.
- AVILA, M. R. et al. Adubação potássica em canola e seu efeito no rendimento e na qualidade fisiológica e sanitária das sementes - DOI: 10.4025/actasciagron.v26i4.1822. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, n. 4, p. 475–482, 11 abr. 2008a.
- AVILA, M. R. et al. Adubação potássica em canola e seu efeito no rendimento e na qualidade fisiológica e sanitária das sementes - DOI: 10.4025/actasciagron.v26i4.1822. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, n. 4, p. 475–482, 11 abr. 2008b.
- ÁVILA, M. R. et al. Testes de laboratório em sementes de canola e a correlação com a emergência das plântulas em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, p. 62–70, jun. 2005a.
- ÁVILA, M. R. et al. Testes de laboratório em sementes de canola e a correlação com a emergência das plântulas em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, p. 62–70, jun. 2005b.
- ÁVILA, W. et al. Influência do tamanho da semente na produtividade de variedades de soja. **Agrarian**, v. 1, n. 2, p. 83–89, 18 jun. 2009.
- BARBOSA, C. Z. DOS R. et al. Qualidade de sementes de soja BRS Tracajá, colhidas em

- Roraima em função do tamanho no armazenamento. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 73–80, 2010.
- BARBOSA, R. M. et al. Discriminação de lotes de sementes de soja por meio de técnicas exploratórias multivariadas. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 3, p. 302–310, 2013.
- BEZERRA, M. C. L. et al. REDUÇÃO DE FUNGOS E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO INOCULADAS COM *Trichoderma harzianum*. **Nativa**, v. 10, n. 1, p. 69–73, 14 mar. 2022.
- BOCIANOWSKI, J.; LIERSCH, A. Multidimensional Analysis of Diversity in Genotypes of Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). **Agronomy** **2022**, Vol. 12, Page 633, v. 12, n. 3, p. 633, 4 mar. 2022.
- BORISJUK, L. et al. Seed architecture shapes embryo metabolism in oilseed rape. **Plant Cell**, v. 25, n. 5, p. 1625–1640, 2013.
- BORTOLOTTI, R. P. et al. Teor de proteína e qualidade fisiológica de sementes de arroz. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 513–520, 2008.
- BRASIL. **REGRAS PARA ANÁLISE DE SEMENTES**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2022.
- CARLOS, A. et al. ENVELHECIMENTO ACELERADO EM SEMENTES DE BRÓCOLIS (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck) ACCELERATED AGING OF BROCCOLI SEEDS (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck). **Original Article Biosci. J.**, n. 2, p. 173–179, 2012.
- CECICHELE, V. et al. RENDIMENTO DE GRÃOS E PESO DE MIL SEMENTES DE CANOLA, COLHIDA EM PROCESSO DE ALEIRAMENTO E POR COLHEITA DIRETA. **Embrapa Trigo-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12.; MOSTRA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA TRIGO**, 2017.
- COELHO, M. V. et al. Teste de frio na determinação do vigor das sementes de *Carthamus tinctorius* L. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 4, p. 1–8, 5 out. 2021.
- COIMBRA, R. DE A. et al. Testes de vigor utilizados na avaliação da qualidade fisiológica de lotes de sementes de milho-doce (sh2). **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2402–2408, 2009.
- CORTELAZZO, A. L.; COUTINHO, J.; GRANJEIRO, P. A. STORAGE AND AGEING OF FRENCH BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.): EFFECT ON SEED VIABILITY AND VIGOR*. **Braz. J. morphol. Sci.**, v. 22, n. 2, p. 121–128, 2005.
- COSTA, C. J.; TRZECIAK, M. B.; VILLELA, F. A. Potencial fisiológico de sementes de brássicas com ênfase no teste de envelhecimento acelerado Caroline. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 114–148, 2008.
- COSTA, D. S.; NOVEMBRE, A. D. D. L. C. Análise multivariada para expressão de resultados de potencial fisiológico de sementes de arroz. **Agrarian**, v. 12, n. 45, p. 418–424, 12 out. 2019.
- COSTA, L. G. DA; SILVA, A. G. DA; GOMES, D. R. Morfologia de frutos, sementes e plântulas, e anatomia das sementes de sombreiro (*Clitoria fairchildiana*). **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 57, n. 4, p.

414–421, 2014.

DA SILVA, M. A. D.; VIEIRA, R. D.; DOS SANTOS, J. M. Influência do envelhecimento acelerado na anatomia da testa de sementes de soja, cv. Monsoy 8400. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, p. 91–99, 2008.

DE ABREU, G. T. et al. Características físicas e estrutura de sementes e morfologia de plântulas de *Flemingia macrophylla* (Willd.) Alston. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 4, p. 658–664, 2012.

DE FREITAS, R. M. O. et al. Accelerated aging of arugula seeds. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 4, 2018.

DE MORI, C.; TOMM, G. O.; FERREIRA, P. E. P. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da canola no mundo e no Brasil**. 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/103763/1/2014-documentos-online149.pdf>>. Acesso em: 26 abr. 2022

DE OLIVEIRA, A. B. et al. Avaliação citotóxica durante a germinação de sementes de sorgo envelhecidas artificialmente e osmocondicionadas, sob salinidade. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 1, p. 223–231, 2011.

DOURADO, W. D. S. TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO EM SEMENTES DE ERVILHA FORRAGEIRA. **Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP, Campus de Botucatu**, 2012.

DOURADO, W. DE SOUZA et al. ENVELHECIMENTO ACELERADO COM SOLUÇÕES SALINAS PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE FEIJÃO CAUPI. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 1274, 2013.

FARAHANI, H. A.; MOAVENI, P.; MAROUFI, K. **Effect of hydropriming on germination percentage in sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cultivars - Document - Gale Academic OneFile**. Disponível em: <<https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA267421993&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=19950756&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon~bfdd8c64>>. Acesso em: 7 maio. 2022.

GARCIA, L. C.; NOGUEIRA, A. C.; ALQUINI, Y. Aspectos morfo-anatômicos de sementes de *Podocarpus lambertii* Klotz. e *Podocarpus sellowii* Klotz. - Podocarpaceae. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 129–134, dez. 2006.

GIL, A. I.; MIRANDA, D. Aspectos anatómicos de la semilla de papaya (*Carica papaya* L.). **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 2, n. 2, p. 145–156, 2011.

GONÇALVES, C. et al. Canola Panorama atual e tecnologias de produção no Brasil. **Embrapa**, v. Doc.40, n. 2177–4439, p. 72, 2022.

GROOT, E. P.; CAESELE, L. A. VAN. The development of the aleurone layer in canola (*Brassica napus*). **Canadian Journal of Botany**, v. 71, n. 9, p. 1193–1201, 1993.

GUIDUCCI, R. DO C. N. et al. CANOLA TROPICALIZATION (*Brassica napus* L.) AND INSERTION IN THE VEGETABLE OIL PRODUCTION CHAIN: SCENARIO ANALYSIS. **Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural- SOBER**, v. 58, p. 1–14, 2020.

HAN, C. et al. Comparative metabolome analysis of wheat embryo and endosperm reveals the

- dynamic changes of metabolites during seed germination. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 115, p. 320–327, 1 jun. 2017.
- HRYCZYNA, A. B. et al. ADUBAÇÃO FOLIAR DE BORO EM DOIS HÍBRIDOS DE CANOLA. **Nativa**, v. 9, n. 5, p. 600–604, 23 dez. 2021.
- HU, Z. Y. et al. Seed Structure Characteristics to Form Ultrahigh Oil Content in Rapeseed. **PLoS ONE**, v. 8, n. 4, p. 2–11, 2013.
- JIANHUA, Z. ; MCDONALD, M. . **The saturated salt accelerated aging test for small-seeded crops**. Disponível em: <<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CH9700211>>. Acesso em: 27 abr. 2022.
- JOLLIFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 374, n. 2065, 13 abr. 2016.
- KRUSE, M. Application of the Normal Distribution for Testing the Potential of the Controlled Deterioration Test. **Crop Science**, v. 39, n. 4, p. 1125–1129, 1 jul. 1999.
- LAVIOLA, B. G. et al. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 4 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Pecuária Sudeste Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO 20**, v. 20, 2019.
- LEEKES, C. F. R. et al. Control of fungal contamination in the accelerated ageing test of Brassica spp. **Seed Science and Technology**, v. 35, n. 2, p. 380–386, 2007.
- LIMA, J. S. S. et al. Qualidade fisiológica de sementes de feijão produzidas em solo compactado. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 2, p. 96–101, 2002.
- LOUREIRO, M. B. et al. Caracterização morfoanatômica e fisiológica de sementes e plântulas de *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Revista Arvore**, v. 37, n. 6, p. 1093–1101, 2013.
- LÚCIO, A. D. et al. Abordagem multivariada em análise de sementes de espécies florestais exóticas. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 27–37, 2006.
- MACHADO, C. G. et al. Discrimination of forage pea seed lots by means of multivariate techniques. **Científica**, v. 47, n. 3, p. 321–326, 9 set. 2019.
- MAYER, A. M.; A.POLJAKOFF-MAYBER. **The Germination of Seeds: Pergamon International Library of Science ... - A. M. Mayer, A. Poljakoff-Mayber - Google Livros**. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Aqk5AwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=MAYER,+A.M.+e+A.+POLJAKOFF-MAYBER.+1975.+The+Germination+of+Seeds,+2nd+ed.+Pergamon+Press,+New+York&ots=1qEVg4T_Dd&sig=YnlKvmpVe89No8QQnWilxI3XRRA#v=onepage&q=MAYER%2CA.M.+e+>>. Acesso em: 5 jul. 2022.
- MORAIS, C. S. B. DE; ROSSETTO, C. A. V. Testes de deterioração controlada e envelhecimento acelerado para avaliação do vigor em nabo forrageiro. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 4, p. 703–713, 2013.
- MUNARETO, J. D. et al. Adaptação do Teste de Envelhecimento Acelerado em Sementes de Quinoa. **Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 25, n. 5- esp, p. 564–569, 2021.

- OLIVEIRA, A. B. DE et al. Avaliação citoquímica durante a germinação de sementes de sorgo envelhecidas artificialmente e osmocondicionadas , sob salinidade 1 Cytochemical evaluation during the germination of artificial aged and primed sorghum seeds under salinity. p. 223–231, 2011.
- PEREIRA LIMA, J. J. et al. ACCELERATED AGING AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY TESTS IN CRAMBE SEEDS. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, n. 1, p. 7–14, 1 jan. 2015.
- PONTES, C. A. et al. Influência da temperatura de armazenamento na qualidade das sementes de *Caesalpinia peltophoroides* Benth. (sibipiruna). **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 43–48, 2006.
- RAMOS, N. P. et al. ENVELHECIMENTO ACELERADO EM SEMENTES DE RÚCULA (*Eruca sativa* L.) 1. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, p. 98–103, 2004.
- REN, C.; BEWLEY, J. D. Seed development, testa structure and precocious germination of Chinese cabbage (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*). **Seed Science Research**, v. 8, n. 3, p. 385–398, 1998.
- RIBEIRO, F. C.; CARVALHO, N. M. DE. **The saturated salt accelerated ageing (SSAA) method seems to act too leniently on carrot (*Daucus carota* L.) lettuce (*Lactuca sativa* L.), and brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck) seeds germination.** Disponível em: <<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=SERAMZ.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mnfn=037163>>. Acesso em: 27 abr. 2022.
- ROBBELEN, G.; W, T. VARIATION IN RAPESEED GLUCOSINOLATES AND BREEDING FOR IMPROVED MEAL QUALITY. **VARIATION IN RAPESEED GLUCOSINOLATES AND BREEDING FOR IMPROVED MEAL QUALITY**, v. PP. 285-299; BIBL. ..., 1980.
- RODO, A. B.; PANOBIANCO, M.; MARCOS FILHO, J. Metodologia alternativa do teste de envelhecimento acelerado para sementes de cenoura. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 2, p. 289–292, 2000.
- RODRIGUES, A. A. et al. Tolerance of *Eugenia dysenterica* to Aluminum: Germination and Plant Growth. **Plants** **2019**, Vol. **8**, Page **317**, v. 8, n. 9, p. 317, 31 ago. 2019.
- RODRIGUES, P. C. L. QUALIDADE FISIOLÓGICA E CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DE SEMENTES DE *Glycine max* L. Merrill DURANTE O ARMAZENAMENTO. **Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde**, v. 1, n. 69, 2020.
- SANTIAGO¹, A. C. et al. Path analysis and near-infrared spectroscopy in canola crop. **Ciência Rural**, v. 53, n. 6, p. 2023, 19 set. 2022.
- SILVA, J. N. DA et al. **Testes de envelhecimento acelerado e condutividade elétrica para Sementes de Espécies Florestais Nativas: Uma breve revisão | Silva | Meio Ambiente (Brasil).** Disponível em: <<https://www.meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/30/29>>. Acesso em: 27 abr. 2022a.
- SILVA, G. Z. et al. Multivariate analysis and vigor tests to determine the quality of *Brachiaria*

- decumbens seeds. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 50, n. 2, p. 291–299, 2019b.
- SUDA, C. N. K.; GIORGINI, J. F. Seed reserve composition and mobilization during germination and initial seedling development of euphorbia heterophylla. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. 3, p. 226–244, 2000.
- TOMM, G. O. Indicativos tecnológicos para produção de canola no Rio Grande do Sul. 2007.
- TOMM, G. O. et al. Panorama atual e indicações para aumento de eficiência da produção de canola no Brasil. **Documentos online**, v. 118, p. 27, 2009a.
- TOMM, G. O. et al. **Tecnologia para a produção de Canola (2).pdf** Embrapa, Documento 92, ISSN 1516-5582, , 2009b.
- TORRES, S. B. Teste de deterioração controlada em sementes de maxixe. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 2, p. 307–310, jun. 2005.
- TORRES, S. B.; MARCOS FILHO, J. Accelerated aging of melon seeds. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 1, p. 77–82, 2003a.
- TORRES, S. B.; MARCOS FILHO, J. Envelhecimento acelerado em sementes de melão. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 1, p. 77–82, 2003b.
- TUNES, L. M. et al. Envelhecimento acelerado modificado para sementes de coentro (*Coriandrum sativum* L .) e sua correlação com outros testes de vigor. **Revista Brasileira de Biociências**, p. 12–17, 2011.
- VAUGHAN, J. G.; WHITEHOUSE, J. M. Seed structure and the taxonomy of the Cruciferae. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 64, n. 4, p. 383–409, 1 out. 1971.
- VERBOVEN, P. et al. Void space inside the developing seed of *Brassica napus* and the modelling of its function. **New Phytologist**, v. 199, n. 4, p. 936–947, 2013.
- WESTERN, T. L. et al. Isolation and Characterization of Mutants Defective in Seed Coat Mucilage Secretory Cell Development in *Arabidopsis* 1. 2001.

ARTIGO CIENTÍFICO I
VIGOR DE SEMENTES DE CANOLA PELO TESTE DE DETERIORAÇÃO
CONTROLADA

ARTIGO CIENTÍFICO I – VIGOR DE SEMENTES DE CANOLA PELO TESTE DE DETERIORAÇÃO CONTROLADA

RESUMO

A canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) é uma espécie oleaginosa com alto potencial de uso na alimentação humana, animal e produção de biodiesel, com potencial de cultivo em climas mais quentes. Para tal, avaliar a qualidade dessas sementes é imprescindível. Assim, o objetivo nessa pesquisa foi adequar a metodologia do teste de deterioração controlada para avaliar o vigor de sementes de canola. A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Sementes do Departamento de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina, Minas Gerais. Foram utilizados cinco lotes de sementes de canola do híbrido Nuola 300, safras 2019 e 2021. Para avaliação da caracterização inicial do perfil dos lotes, foram avaliados os testes: determinação do grau de umidade, peso de mil sementes, primeira contagem de germinação, germinação, índice de velocidade de germinação, estande inicial, emergência, índice de velocidade de emergência e teste de frio. Para o teste de deterioração controlada, foi utilizado o esquema fatorial 5x2x4 (cinco lotes, duas temperaturas 41 °C e 45 °C, ambas por 24 horas a banho maria, e quatro níveis de grau de umidade das sementes, 15%, 18%, 20%, 22%). Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05\%$). Posteriormente foi construído um dendrograma, utilizando o coeficiente de correlação simples de Person e a análise de componentes principais. Os testes de germinação e emergência tiveram maior similaridade na avaliação do perfil dos lotes, de tal maneira que ao se correlacionar com o teste de deterioração controlada na temperatura de 45 °C obteve resultado significativo. Concluiu-se que o teste de deterioração controlada com grau de umidade das sementes a 18%, sob temperatura de 45 °C, por 24h foi eficiente para avaliar o potencial fisiológico de sementes de canola.

Palavras-chave: *Brassica napus*, qualidade fisiológica, deterioração controlada.

SCIENTIFIC ARTICLE I - STRENGTH OF CANOLA SEEDS BY THE CONTROLLED DETERIORATION TEST

ABSTRACT

Canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) is an oilseed species with high potential for use in human, animal and biodiesel production, with potential for cultivation in warmer climates. Therefore, evaluating the quality of these seeds is essential. Thus, the objective of this research was to adapt the methodology of the controlled deterioration test to evaluate the vigor of canola seeds. The research was carried out at the Seed Laboratory of the Department of Agronomy of the Federal University of Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina, Minas Gerais. Five batches of canola seeds from the Nuola 300 hybrid, harvests 2019 and 2021, were used. To evaluate the initial characterization of the profile of the batches, the tests were evaluated: determination of the degree of moisture, weight of a thousand seeds, first germination count, germination, germination speed index, initial stand, emergence, emergence speed index and cold test. For the controlled deterioration test, the 5x2x4 factorial scheme was used (five lots, two temperatures 41 °C and 45 °C, both for 24 hours in a water bath, and four levels of seed moisture content, 15%, 18%, 20 %, 22%). Data were submitted to analysis of variance, and means were compared by Tukey's test ($p < 0.05\%$). Subsequently, a dendrogram was constructed, using Person's simple correlation coefficient and principal component analysis. The germination and emergence tests had greater similarity in the evaluation of the profile of the lots, in such a way that when correlating with the controlled deterioration test at a temperature of 45 °C, it obtained a significant result. It was concluded that the controlled deterioration test with a degree of seed moisture at 18%, at a temperature of 45 °C, for 24 hours was efficient to evaluate the physiological potential of canola seeds.

Keywords: *Brassica napus*, physiological quality, controlled deterioration.

1. INTRODUÇÃO

A canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) pertence à família *Brassicaceae*. A espécie foi desenvolvida por melhoramento da colza, e hoje é considerada a terceira maior cultura oleaginosa do mundo (GONÇALVES et al., 2022). O cultivo de canola no Brasil se destaca pelo alto potencial produtivo e pelas características da planta, sendo de grande interesse econômico e de expansão devido a possibilidade de uso em rotação de culturas, quebra de ciclos de doenças e pragas, além de favorecer a descompactação do solo (HRYCZYNA et al., 2021).

Vários estudos têm relatado seu potencial de crescimento em climas mais quentes, voltados principalmente para o Cerrado brasileiro com foco em produção de grãos devido possuírem de 24% a 27% de proteína e aproximadamente 38% de óleo (LAVIOLA et al., 2019; TOMM, 2007). No entanto, os investimentos em pesquisas para o desenvolvimento de tecnologias de manejo da cultura têm sido escassos, assim é necessário investimentos em melhoramento genético, a fim de proporcionar ganhos significativos de produtividade e consequentemente expansão da área cultivada (SANTIAGO¹ et al., 2022).

No sistema de produção empregar sementes de qualidade é um fator de vital importância para produtividade agrícola, pois a mesma pode determinar o sucesso ou fracasso da produção, uma vez que contém todas as potencialidades produtivas da planta (BEZERRA et al., 2022). A semente é a base fundamental do sucesso de uma lavoura (NETO; KRYZANOWSKI; HENNING, 2010). Logo, o uso de sementes com boa qualidade fisiológica é fundamental para o estabelecimento adequado da cultura (ARAUJO et al., 2011). A determinação do potencial fisiológico da semente é feita, rotineiramente, pelo teste de germinação, e complementada com testes de vigor (MARCOS FILHO, 2015).

Dentre os testes de vigor, tem-se o teste de deterioração controlada, que tem como princípio envelhecer as sementes, com melhor controle do grau de umidade e da temperatura durante o período de envelhecimento (KRUSE, 1999). Segundo Powell e Matthews (1981), esse teste é o mais recomendado para espécies de sementes pequenas, como as *Brassicaceae*, sendo ainda capaz, de distinguir lotes de sementes que se encontram em diferentes estádios de deterioração, ao serem submetidos a um mesmo nível de estresse. Os lotes mais vigorosos são, consequentemente, mais tolerantes ao estresse e apresentam germinação superior (KRZYZANOWSKI; VIEIRA, 2020).

Diante da escassez de informações sobre a utilização desse teste para semente de canola, objetivou-se, com este estudo, adequar a metodologia do teste de deterioração

controlada para avaliação e diferenciação dos lotes de sementes com diferentes níveis de qualidade.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Sementes do Departamento de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Diamantina, MG. Foram utilizados cinco lotes de sementes de canola do híbrido Nuola 300, sendo o lote 1 produzido no Canadá fornecido pela empresa Celena Alimentos, safra 2019; lote 2 produzido em Lavras-MG, safra 2019 na época 1 (fev/2021), lote 3 produzido em Lavras-MG, safra 2019 na época 2 (Abr/2019), lote 4 produzido em Lavras-MG, safra 2021 e lote 5 produzido no *campus* experimental da UFVJM, safra 2021, cujas sementes foram consideradas F2 do lote 1 (70 % de autofecundação e 30 % de fecundação cruzada).

Para a caracterização da qualidade inicial dos lotes foram realizados os testes:

Para o **peso de mil sementes** foi determinado segundo a metodologia de Brasil (2009), em que oito repetições de 100 sementes foram pesadas em balança analítica e, posteriormente, calculado o desvio padrão e o coeficiente de variação, sendo os resultados expressos em gramas.

O **grau de umidade** foi obtido através do método da estufa, a 105°C, por 24 horas (BRASIL, 2009). Foram utilizadas duas repetições para cada lote com o peso da amostra de um grama de sementes para cada repetição.

O **teste de Germinação** foi realizado de acordo os critérios estabelecidos pelas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009), com quatro repetições de 50 sementes por lote, colocadas para germinar em caixas plásticas do tipo “gerbox” sobre três folhas de papel *germitest*, umedecidas com água destilada, utilizando-se 2,5 vezes a massa do papel seco. Posteriormente, as sementes foram acondicionadas em germinador tipo B.O.D., com temperatura de 20°C constante. As avaliações foram realizadas ao 5° dia (**primeira contagem da germinação**) e encerradas ao 7° dia (**contagem final**), computando-se as plântulas normais, anormais deformadas, anormais infeccionadas, sementes duras, dormentes e mortas. As contagens foram efetuadas diariamente para a determinação do **índice de velocidade de germinação (IVG)**, calculado segundo a fórmula proposta por Maguire (1962), computando-se o número de sementes com protrusão, a partir da emissão de 1 mm de radícula mensurado com paquímetro digital.

O **teste de emergência** foi realizado com quatro repetições de 50 sementes por lote. As sementes foram semeadas em caixas plásticas contendo areia e terra na proporção 2:1,

umedecida com água destilada. As caixas foram mantidas em sala de crescimento a temperatura de 20°C com fotoperíodo constante. Após o início da emergência, foram realizadas avaliações diariamente, computando-se o **estande inicial** ao 5º dia, sendo o teste encerrado após a porcentagem de emergência estabilizar-se por três dias, avaliando o número de plântulas normais emergidas. Para o **índice de velocidade de emergência (IVE)**, foram computados, diariamente, o número de plântulas emersas a partir do início da emergência e o cálculo realizado conforme Maguire (1962).

O **teste de frio** foi conduzido conforme as recomendações de Cicero e Vieira (2020), em que quatro repetições de 50 sementes para cada lote, foram acondicionadas em papel *germitest* umedecidos com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Em seguida, os rolos foram agrupados em quatro (repetições) com atilhos de borracha (elásticos), vedados com sacos plásticos e mantidas em B.O.D à temperatura de 10°C durante sete dias. Após este período, os rolos foram retirados dos sacos de plásticos e colocados em germinador à temperatura de 25°C, sendo avaliado a porcentagem de plântulas normais no quinto dia.

Para o teste de **deterioração controlada**, foi determinado o grau de umidade inicial dos lotes. Posteriormente, as sementes tiveram seu grau de umidade ajustado para quatro níveis diferentes: 15%, 18%, 20% e 22%, pelo do método da atmosfera úmida (KRZYZANOWSKI; MARCOS FILHO, 2020), conduzido em caixas plásticas transparentes (gerbox), com amostras de quatro repetições de 50 sementes, distribuídas sobre tela interna (suspensa) no interior da caixa plástica mediante a distribuição de uma camada simples. Estas caixas, tampadas e contendo 40 mL de água destilada, foram mantidas em B.O.D., a temperatura de 20 °C. Durante o umedecimento, o grau de umidade das sementes foi monitorado, através de pesagens sucessivas, até a obtenção dos valores requeridos (PR) em gramas, para atingir o grau de umidade desejado (GUd), adotou-se a seguinte fórmula:

$PR = [(100 - GU_i) / (100 - GU_d)] \times P_i$; onde:

PR = peso requerido no grau de umidade desejado (g).

GU_i = grau de umidade inicial (%)

GU_d = grau de umidade desejado (%)

P_i = peso inicial das sementes (g)

Após a obtenção do grau de umidade desejado, as amostras foram acondicionadas hermeticamente em embalagens de alumínio e mantidas em B.O.D. à temperatura de 10°C por 24 horas, para que ocorresse o equilíbrio higroscópico entre as sementes da amostra. Em seguida, as sementes foram mantidas em banho maria, a 41°C e 45°C, ambas por 24 horas.

Após esse período, as amostras foram mantidas em temperatura ambiente por 30 minutos, para a redução da temperatura. Posteriormente, foram determinados o grau de umidade das sementes pelo método da estufa e o teste de germinação, conforme descrito acima, avaliando-se a porcentagem de plântulas normais no quinto dia (BRASIL, 2009).

O delineamento experimental utilizado no teste de deterioração controlada foi o inteiramente casualizado, sendo analisado em esquema fatorial 5 x 2 x 4 (cinco lotes, duas temperaturas de deterioração (41°C e 45°C) e quatro níveis de grau de umidade da semente (15%, 18%, 20% e 22%)). Os dados foram testados quanto à distribuição normal dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk e à homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett, assim os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade e, quando necessário, transformados em $\arcsen\sqrt{x}/100$. Foi construído dendrograma para agrupamento de forma hierárquica das variáveis da caracterização da qualidade dos lotes, a partir do agrupamento realizado foi calculado o coeficiente de correlação simples de Pearson (r) para todas as combinações dos resultados dos testes de vigor. Para verificar a eficiência das metodologias, foi realizada a análise de componentes principais (PCA) entre os dados de caracterização inicial dos lotes e os resultados dos testes de vigor. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do *software* estatístico “R. 4.1.2” (R CORE TEAM, 2022).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão listados os dados obtidos na caracterização do perfil dos cinco lotes de sementes de canola. Constatou-se que o grau de umidade das sementes variou de 6,96% a 8,91%, o que está dentro do limite tolerável para que os tratamentos expressem os resultados consistentes (MARCOS FILHO, 2015). Coimbra et al. (2009) salientam que a similaridade de valores é primordial para que os testes não sejam afetados por diferenças metabólicas e pela velocidade de umedecimento e de deterioração das sementes. Segundo Marcos Filho (2015), o teor de água inicial das sementes é o fator principal para a padronização dos testes.

O baixo grau de umidade das sementes ricas em lipídios, como é o caso da canola, pode ser explicado pelo fato de os lipídios serem hidrofóbicos (não apresentando afinidade com a água), diferentemente das sementes amiláceas, que podem reter maior quantidade água no mesmo ambiente (MARCOS FILHO, 2015).

Tabela 1 - Grau de umidade = U (%), peso de mil sementes = PMS (g), plântulas normais na primeira contagem = PC (%), germinação = G (%), índice de velocidade de germinação =

IVG, estande inicial = EI (%), emergência = E (%), índice de velocidade de emergência = IVE e teste de frio = TF, obtidos para caracterização do perfil dos cinco lotes de sementes de canola. UFVJM, Diamantina, MG, 2022.

| LOTES | Testes | | | | | | | | |
|--------|---------|---------|--------|-------|----------|--------|-------|---------|-------|
| | U (%) | PMS (g) | PC (%) | G (%) | IVG | EI (%) | E (%) | IVE | TF |
| 1 | 7,19 bc | 5,05 a | 96 a | 99 a | 19,34 a | 92 a | 97 a | 11,72 a | 98 a |
| 2 | 6,96 c | 1,75 e | 61 b | 79 b | 10,98 b | 52 b | 82 a | 10,25 a | 63 b |
| 3 | 8,91 a | 2,43 d | 81 ab | 87 ab | 14,25 ab | 64 b | 86 a | 10,40 a | 73 b |
| 4 | 7,67 b | 3,22 c | 73 ab | 89 ab | 14,82 ab | 91 a | 95 a | 10,22 a | 71 b |
| 5 | 8,91 a | 3,99 b | 84 ab | 92 a | 18,14 a | 88 a | 93 a | 10,40 a | 100 a |
| CV (%) | 1,83 | 4,86 | 16,84 | 6,54 | 16,92 | 10,62 | 8,46 | 9,06 | 8,22 |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O peso de mil sementes variou de 1,75 g a 5,05 g entre os lotes (Tabela 1), sendo as sementes de canola, portanto consideradas pequenas por apresentar tamanho tal que o peso de mil sementes é menor que 200 g (BRASIL, 2009). Rigon et al. (2017) e Silva (2019) detectaram, em sementes de canola, instabilidade nos valores de peso de mil sementes, ao correlacionarem o sistema de produção, principalmente, com o enchimento dos grãos na época da colheita. Segundo Carvalho e Nakagawa (2012), sementes mais densas geralmente são as que possuem embriões bem formados e com maiores quantidades de reservas, portanto elas têm mais chances de serem vigorosas.

Foram observadas diferenças significativas na germinação dos lotes de sementes de canola, com maiores porcentagens para os lotes 1 e 5 em relação ao lote 2 (Tabela 1). Os lotes 3 e 4 tiveram porcentagem de germinação intermediária. Com exceção ao lote 2, todos os outros apresentaram germinação acima de 80%, sendo esse o padrão mínimo de germinação estabelecido para a comercialização de sementes de canola (BRASIL, 2013).

Pela primeira contagem do teste de germinação, verificou-se que o lote 2 teve porcentagem inferior à dos demais lotes, sendo o lote 1 o de porcentagem superior (Tabela 1). Resultado semelhante também foi encontrado no índice de velocidade de germinação, em que o lote 2 teve desempenho inferior ao dos demais.

Com base nos resultados dos testes de emergência e índice de velocidade de emergência (Tabela 1), constatou-se que não houve diferença significativa entre os lotes para plântulas normais. Já o estande inicial na classificação dos lotes em níveis de vigor, obtendo os lotes 1, 4 e 5 sido superiores e o lote 2, inferior aos demais.

Milani, Menezes e Lopes (2012) também relataram que os testes de vigor, como primeira contagem da germinação, comprimento de plântula e emergência, foram mais sensíveis ao avaliar a qualidade das sementes de canola dos diferentes lotes, apontando diferenças de qualidade entre lotes, em que o teste de germinação não havia identificado.

No teste de frio foi possível avaliar a qualidade fisiológica dos lotes de sementes de canola, que foi constatado diferenças no comportamento dos lotes classificando em dois níveis de vigor, sendo o lote 1 e 5 superiores aos demais. Avila et al., 2008a ao utilizar o teste de frio para avaliar híbridos de canola, foi possível indicar o potencial fisiológico das sementes submetidas as condições de estresse. O teste de frio tem sido realizado para avaliar e correlacionar com precisão comportamentos de lotes de sementes, tal maneira Ávila et al., 2005a, distinguiu lotes de sementes de canola avaliando o potencial fisiológico. Importante o uso de mais de um teste para determinar o vigor dos lotes de sementes, em função da influência dos procedimentos adotados e do uso de situações específicas de estresse para estimar o comportamento relativo dos lotes em campo (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Com o intuito de avaliar a similaridade entre os testes na caracterização inicial dos lotes de sementes de canola, foi realizada a análise de agrupamento, para verificação dos lotes de sementes e os testes aos quais essas sementes foram submetidas. Essa análise, permite estimar a similaridade entre as variáveis, levando em consideração suas características simultaneamente (Figura 1).

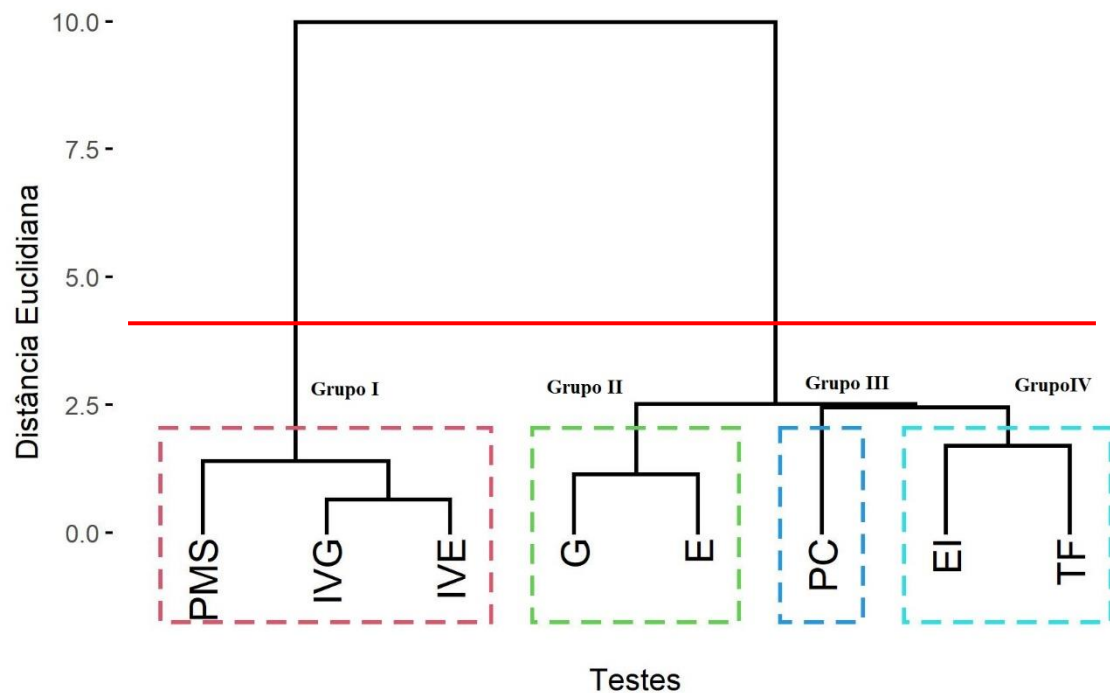


Figura 1 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico com a formação de grupos com base nos dados de peso de mil sementes (PMS), primeira contagem (PC), germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG), emergência inicial (EI), emergência (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e teste de frio (TF) em cinco lotes de sementes de canola.

Adotando-se a distância euclidiana 4 (HAIR et al., 2005) baseada na melhor distinção entre os agrupamentos, logo como referência na análise de agrupamento hierárquico os testes da caracterização da qualidade inicial dos lotes de sementes foram separados em quatro grupos. No grupo I, ficaram concentradas as variáveis de peso de mil sementes, índice de velocidade de germinação e índice de velocidade de emergência, que apresentaram maior distância e dissimilaridade com os demais. As variáveis germinação e emergência formaram o grupo II. Já as variáveis dos testes de frio, emergência inicial e primeira contagem formaram os grupos III e IV, sendo distinto dos demais e menor eficiência como testes de vigor. Os grupos apresentaram similaridade dentro e dissimilaridade entre os grupos formados (Figura 1). Neste estudo o valor ideal para distinção dos grupos foi definido em função da separação dos grupos que melhor explicam os resultados de similaridade entre os testes, conforme destaca Mingoti (2007).

Segundo Marcos Filho (2015), resultados semelhantes com o teste de emergência são fundamentais para avaliação da qualidade fisiológica das sementes. Portanto, como o teste de

germinação e o de emergência permaneceram no mesmo grupo e correspondendo com maior similaridade entre si, eles foram utilizados para correlação com os resultados do teste de deterioração controlada.

Na Tabela 2 estão os dados referentes ao grau de umidade das sementes de canola submetidas aos ajustes para os valores estabelecidos de umidade. Observa-se que não houve variações expressivas no grau de umidade das sementes, fato esse importante na execução do teste de deterioração controlada, uma vez que a uniformização do grau de umidade das sementes é fundamental para a padronização das avaliações e a obtenção de resultados consistentes (KRZYZANOWSKI; MARCOS FILHO, 2020).

Tabela 2 - Dados médios do grau de umidade após o ajuste para os valores estabelecidos de 15%, 18%, 20% e 22% de umidade e as temperaturas 41 °C e 45 °C, para realização do teste de deterioração controlada em cinco lotes de sementes de canola.

| Lotes | Umidade Inicial | Grau de Umidade (%) | | | | | | | |
|-------|-----------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 41°C | | | | 45°C | | | |
| | | 15% | 18% | 20% | 22% | 15% | 18% | 20% | 22% |
| L1 | 7,19 | 15,35 | 18,47 | 20,84 | 22,23 | 15,44 | 18,56 | 20,33 | 22,63 |
| L2 | 6,96 | 15,39 | 18,48 | 20,34 | 22,54 | 15,17 | 18,5 | 20,41 | 22,79 |
| L3 | 8,91 | 15,33 | 18,57 | 20,35 | 22,79 | 15,44 | 18,62 | 20,65 | 22,63 |
| L4 | 7,67 | 15,64 | 18,27 | 20,42 | 22,49 | 15,34 | 18,45 | 20,47 | 22,28 |
| L5 | 8,91 | 15,77 | 18,51 | 20,5 | 22,47 | 15,05 | 18,35 | 20,96 | 22,41 |

Marcos Filho (2015) ressaltou que a uniformização do teor de água das sementes é importante para permitir a padronização das avaliações e a comparação segura do potencial fisiológico dos lotes analisados. A utilização de lotes de sementes com grau de umidade inicial uniforme é importante desde o procedimento de embebição, que deve ser realizado antes do teste de deterioração controlada, pois possibilita que todos os lotes atinjam os valores pré-estabelecidos em período próximo, agilizando, assim, o início da fase de banho-maria, além de ser um pré-requisito fundamental para obtenção de resultados confiáveis (DA SILVA; VIEIRA, 2010a). Após o período em banho-maria, constatou-se que os lotes de sementes permaneceram praticamente com o mesmo grau de umidade, atingido após os ajustes desejados. Assim, a técnica utilizada para deterioração controlada mostrou-se eficiente para manter constante o grau de umidade das sementes durante o decorrer do teste e muito próximo ao dos planejados. Segundo Tekrony (2003) e Torres et al. (2012b), um ponto porcentual de diferença no grau de umidade entre lotes de sementes pode causar grande

impacto na germinação após a deterioração controlada, principalmente para os lotes de médio e baixo vigor.

O resultado do teste de deterioração controlada encontra-se na Tabela 3, ao submeter as sementes ao teste de deterioração controlada na temperatura de 41°C, nas umidades de 15%, 18% e 20% houve diferenças de níveis de vigor nos lotes em dois níveis, já em 22% de umidade foi possível observar três níveis de vigor, porém com valores mais baixos que a dos demais. Quando a umidade foi ajustada para 18%, foi possível separar os lotes em dois níveis de vigor, sendo os lotes 1, 3, 4 e 5 de qualidade superior e o lote 2, de qualidade inferior, resultado semelhante ao observado pela caracterização do perfil dos lotes. Na temperatura de 45 °C com a utilização das umidades de 15%, 18%, 20% e 22%, foi possível separar os lotes em três níveis de vigor. Com base no ajuste do grau de umidade para 18%, foi possível determinar os lotes 1 e 5 como os de maior vigor, os lotes 3 e 4 como os de qualidade intermediária e o lote 2 como o de qualidade inferior ao dos demais, corroborando o teste de germinação da caracterização do perfil dos lotes.

Tabela 3 - Dados médios de germinação (%) de cinco lotes de sementes de canola submetidos ao teste de deterioração controlada, empregando as combinações de umidade 15%, 18%, 20% e 22% e as temperaturas 41 °C e 45 °C.

| Lotes | 41°C | | | | 45°C | | | |
|---------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 15% | 18% | 20% | 22% | 15% | 18% | 20% | 22% |
| L1 | 96 aA | 96 aA | 71 bB | 44 bcC | 94 aA | 91 abA | 76 aB | 51 bC |
| L2 | 79 bA | 76 bA | 71 bA | 34 cB | 73 cA | 55 dB | 55 cB | 66 aA |
| L3 | 80 bB | 96 aA | 91 aA | 47 bC | 78 bcA | 77 cA | 76 aA | 66 aB |
| L4 | 93 aA | 89 aA | 73 bB | 69 aB | 78 bcA | 84 bcA | 76 aAB | 69 aB |
| L5 | 72 bB | 90 aA | 69 bB | 63 aB | 84 bB | 97 aA | 64 bC | 63 aC |
| CV (%) | 6,67 | | | | | | | |

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV (%)= coeficiente de variação.

Com o aumento do grau de umidade, observou-se queda uma no desempenho, principalmente na umidade de 22%. Sementes com grau de umidade mais elevado apresentam maior sensibilidade às condições ambientais desfavoráveis, o que promove estresse elevado, chegando a provocar a sua morte (SANTOS; MENEZES; VILLELA, 2003). Rossetto e Marcos Filho (1995b) relataram que quanto maior o teor de umidade das sementes de soja, maior é o efeito da alta temperatura durante o controle do teste de deterioração controlada, corrobora com o presente trabalho. Neste sentido, Kikuti e Marcos Filho (2008) obtiveram,

em sementes de couve-flor, resultados satisfatórios com a umidade ajustada a 20% a 45°C, mas ao ultrapassar 22% de umidade o resultado não foi adequado, pois ocorreu queda no percentual de germinação, o que corrobora o que foi constatado no presente trabalho, ou seja, 22% de umidade resultou em baixa germinação, comparada com a dos demais graus de umidade. A queda no desempenho germinativo ocorre por causa da exposição das sementes a altas temperatura e umidade relativa do ar, pois elas provocam alterações que influenciam a síntese de proteínas e de ácidos nucleicos e, também, o metabolismo do DNA (VAZQUEZ; MONTIEL; VÁZQUEZ RAMOS, 1991).

A utilização do teste de deterioração controlada com as temperaturas de 41°C e 45°C foi eficiente para separar os lotes em níveis de vigor, independentemente da umidade. Krzyanowski et al. (1999) relatam que o teste de deterioração controlada permite a diferenciação de lotes de sementes que estão em diferentes estádios de deterioração, mas têm porcentagens de germinação semelhantes.

Soares et al. (2019) relataram que o teste de deterioração controlada é uma alternativa rápida e prática para obter informações sobre o vigor de sementes de pepino. Já para sementes de crambe, com o ajuste inicial do grau de umidade para 18% à temperatura de 45 °C, foi possível obter informações sobre o índice de vigor e a uniformidade de desenvolvimento de plântulas (LEÃO ARAÚJO et al., 2017). A condução do teste de deterioração controlada foi eficiente para apresentar os resultados, ao detectar os níveis de vigor das sementes após exposição das sementes a altas temperatura e umidade relativa do ar, fatores determinantes da deterioração.

De modo geral, observa-se que a temperatura de 45 °C, associada ao grau de umidade de 18%, foram responsáveis por estratificar os lotes em mais níveis de vigor. Com o intuito de certificar os resultados, foram realizadas as análises de correlação e de componentes principais com as características de germinação e emergência e os resultados do teste de deterioração controlada.

As combinações de umidade e temperatura no teste de deterioração controlada 18%/41 °C (T2) e 18%/45 °C (T6) foram promissoras, permitindo, assim, a estratificação significativa entre os lotes, principalmente por apresentar correlações significativas e positivas (Figura 2). A combinação de 18%/41 °C (T2) apresentou correlação apenas com o teste de germinação ($r= 0,6$), enquanto a combinação 18%/45 °C (T6) apresentou correlação com os testes de germinação ($r= 0,67$) e de emergência ($r= 0,49$). Esse fato evidencia que a combinação 18%/45 °C (T6) é eficiente na correlação com os testes de caracterização de germinação e emergência realizados, logo, neste trabalho, essa combinação está sendo

classificada como ideal para diferenciar os lotes de sementes de canola pelo teste de deterioração controlada.

Para que qualquer teste de vigor possa ser considerado eficiente na área de análise de sementes, ele precisa apresentar correlação com a emergência (MARTINS et al., 2016). Rodrigues et al. (2009) obtiveram correlação significativa entre testes de emergência com o teste de deterioração controlada em sementes de girassol, uma vez que eles contribuem para obtenção de informações que auxiliam na tomada de decisões quanto à seleção de lotes.

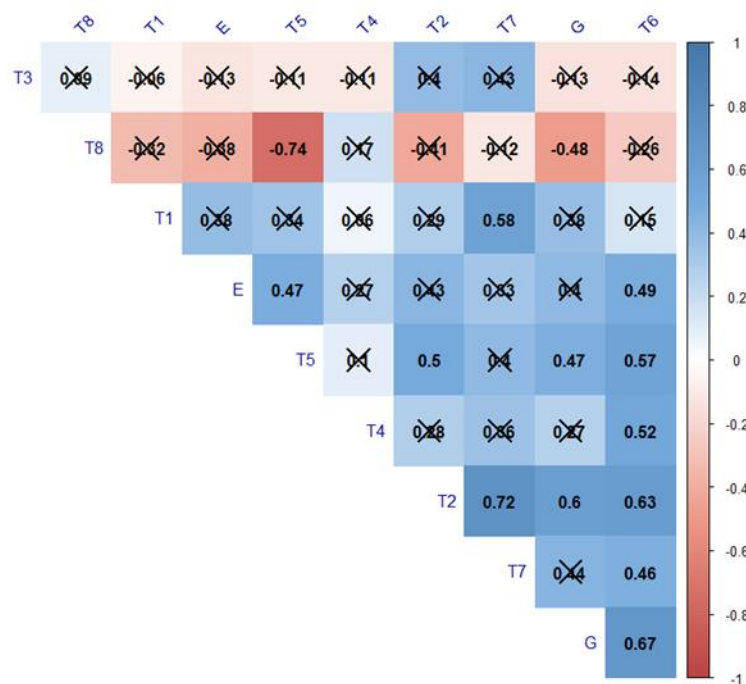


Figura 2 - Correlação de Pearson simples (r) entre as variáveis germinação (G) e emergência (E) e as combinações dos procedimentos do teste de deterioração controlada realizado em sementes de canola: T1= 15%/41°C, T2= 18%/41°C, T3= 20%/41°C, T4= 22%/41°C, T5= 15%/45 °C, T6= 18%/45 °C, T7= 20%/41 °C e T8= 22%/45 °C. Os valores marcados com um “X” não apresentam correlação significativa a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Para explicar a variabilidade dos dados, foram realizadas as análises de componentes principais dos cinco lotes de sementes de canola para cada temperatura (41 °C e 45 °C) (Figuras 3 e 4). Para a análise na temperatura de 41 °C, foram necessários dois componentes principais para discriminar 75,5% da variância total, em que o componente principal 1 (CP1) foi responsável por 52,1% e o componente principal 2 (CP2), por 23,4% das variações dos dados (Tabela 4). De modo similar, Coelho et al. (2021), trabalhando com vigor em sementes de cártamo, constataram a necessidade de dois componentes principais para explicar os dados.

Tabela 4. Matriz de autovetores e autovalores dos componentes principais (CP) e avaliação da qualidade fisiológica de sementes de cinco lotes de canola, com ênfase no teste de deterioração controlada, de acordo com as variáveis germinação (G) e emergência (E) e as combinações dos procedimentos do teste de deterioração controlada realizado em sementes de canola: T1= 15%/41°C, T2= 18%/41°C, T3= 20%/41°C, T4= 22%/41°C.

| Variáveis | PC1 | PC2 |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| E | 0,97 | -0,23 |
| G | 0,92 | -0,02 |
| T1 | 0,61 | -0,06 |
| T2 | 0,78 | 0,60 |
| T3 | -0,11 | 0,97 |
| T4 | 0,57 | -0,17 |
| Auto valores | 3,12 | 1,04 |
| Variância explicada (%) | 52,1 | 23,4 |
| Variância Acumulada (%) | 52,1 | 75,5 |

Variáveis representativas do componente com base no módulo da relação $0,5/(\lambda)^{0,5}$ destacadas em negrito (COLLINS; OVALLES, 1988).

De acordo com Hongyu et al. (2016), o poder discriminatório das variáveis em cada componente principal é avaliado pelo valor da correlação. Portanto, foi possível inferir que foram verificadas correlações altas (acima $< 0,70$). Ressalta que a germinação, a emergência e o tratamento 18%/41 °C correlacionaram-se fortemente com o PC1, uma vez que seus vetores estão no mesmo sentido e formando ângulos agudos entre si (Figura 3). No entanto, os tratamentos que apresentam poder discriminatório para o CP2 estão em sentido contrário às variáveis germinação e emergência, ou seja, ocorre o decréscimo de porcentagem de plântulas normais obtidas após os tratamentos em comparação com as características do perfil do lote de germinação e emergência, principalmente quando o grau de umidade é ajustado para 20%. Logo, as variáveis do CP2 têm menor poder discriminatório na avaliação de lotes de sementes. Diante disso, foi possível estratificar os lotes em dois níveis de vigor, sendo os lotes 1, 3, 4 e 5 de qualidade superior à do lote 2.

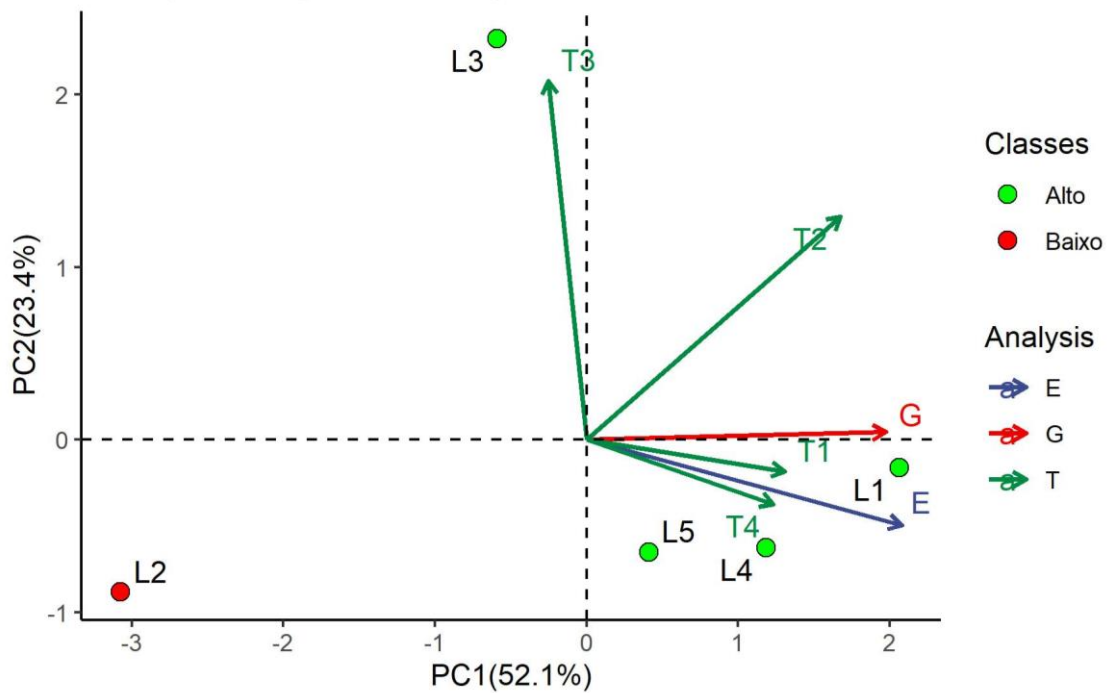


Figura 3 - Dispersão de autovetores ao longo de um plano circular e formação de grupos obtidos por análise de componentes principais de acordo com as variáveis germinação (G) e emergência (E) e as combinações dos procedimentos do teste de deterioração controlada realizado em sementes de canola: T1= 15%/ 41 °C, T2= 18%/41 °C, T3= 20%/41°C e T4= 22%/41 °C.

Para explicar a variabilidade dos dados na análise de componentes principais dos cinco lotes na temperatura de 45 °C, foram necessários dois componentes principais para discriminar 90,3% da variância total, em que o CP1 foi responsável por 75,2% e o CP2, por 15,1% das variações dos dados (Tabela 4). Quando a soma dos componentes principais (PC1 e PC2) for superior a 80%, os resultados da análise de componentes principais podem ser considerados eficazes para explicar a variabilidade total dos dados (JOLLIFE; CADIMA, 2016).

Tabela 5. Matriz de autovetores e autovalores dos componentes principais (CP) e avaliação da qualidade fisiológica de sementes de cinco lotes de canola, com ênfase no teste de deterioração controlada, de acordo com as variáveis: germinação (G) e emergência (E), T5= 15%/45 °C, T6= 18%/45 °C, T7= 20%/41 °C e T8= 22%/45 °C.

| Variáveis | PC1 | PC2 |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| E | 0,91 | 0,22 |
| G | 1,00 | -0,04 |
| T5 | 0,87 | -0,29 |
| T6 | 0,95 | 0,24 |
| T7 | 0,66 | 0,57 |
| T8 | -0,76 | 0,62 |
| Auto valores | 4,51 | 0,9 |
| Variância explicada (%) | 75,2 | 15,1 |
| Variância Acumulada (%) | 75,2 | 90,3 |

Variáveis representativas do componente com base no módulo da relação $0,5/(\lambda)^{0,5}$ destacadas em negrito (COLLINS; OVALLES, 1988).

Com base na análise dos componentes principais apresentados na Figura 4, constata-se que os teste de germinação e de emergência e o tratamento 18%/45 °C apresentaram correlação forte (acima $<0,90$), estando inseridos no CP1, o que explica a maioria das informações contidas nas variáveis a serem consideradas de maior relevância. Conclui-se, portanto, que eles são promissores na avaliação de lotes de sementes de canola, quando o objetivo for classificá-los quanto ao vigor. Os autovetores situaram-se próximos e nos mesmos sentidos, formando ângulos entre si no plano de dimensão. Já no componente discriminatório, CP2 tem menor variância acumulada, logo, as variáveis desse componente teriam menor poder discriminatório. No entanto, ele realça a distância do tratamento nos testes de germinação e de emergência, em sentido e ângulo contrários, representando uma possível deterioração das sementes com porcentual de plântulas normais baixas, comparada com a dos demais, o que indica ser ele um tratamento drástico principalmente quando se aumenta o grau de umidade acima de 20% de umidade. Portanto, quanto mais distante o vetor da variável estiver do lote, menor será o desempenho desse lote em relação à variável correspondente (ARAÚJO et al., 2021). Assim, é possível a classificação dos lotes em três níveis de vigor: alto, baixo e médio, de modo que os lotes 1 e 5 foram de alto vigor, o lote 2 foi o de vigor baixo e os lotes 3 e 4 permaneceram com médio vigor. Coelho et al. (2021) também estratificaram os lotes de sementes de cártamo em três níveis de vigor, o que reforça que a análise de componentes principais é promissora para determinar a qualidade fisiológica

de sementes. De acordo com Medeiros et al. (2018), a análise de componentes principais pode ser utilizada na interpretação de variáveis relacionadas à qualidade de sementes.

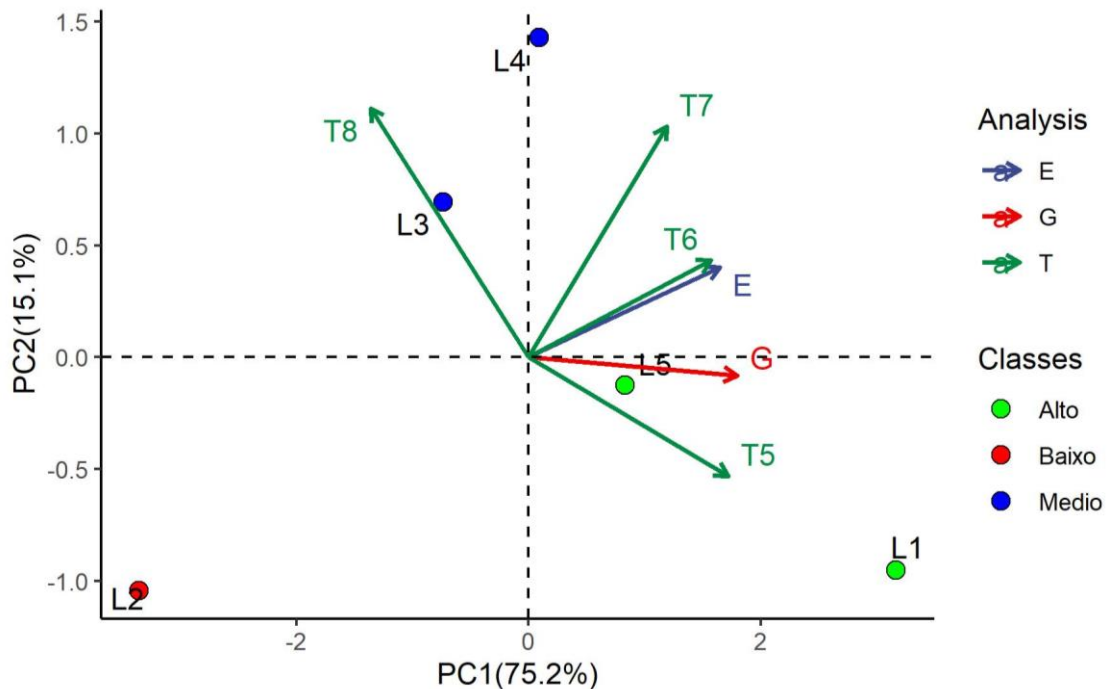


Figura 4 - Dispersão de autovetores ao longo de um plano circular e formação de grupos obtidos por análise de componentes principais de acordo com as variáveis: germinação (G), emergência (E), T5= 15%/45 °C, T6= 18%/45 °C, T7= 20%/41 °C e T8= 22%/45 °C.

No entanto, as análises apresentaram resultados favoráveis dos tratamentos 18%/41 °C e 18%/45 °C, observados anteriormente por meio dos testes de médias (Tabela 3). Quando a caracterização do perfil do lote foi comparada a partir do agrupamento hierárquico com similaridade dos testes de germinação e emergência, que permaneceram no mesmo grupo (Figura 1), constatou-se que o tratamento 18%/45 °C correlacionou-se significativamente tanto com a germinação quanto com a emergência, com eficiência na validação da qualidade das sementes (Figura 2). No entanto, ao complementar com a análise de componentes principais, observou-se uma forte contribuição para explicar e confirmar os resultados, de maneira que o tratamento com a temperatura de 45 °C a 18% de umidade foi eficiente para estratificar os lotes em três níveis de vigor, apresentando proximidade entre os vetores das variáveis de qualidade fisiológica correspondentes aos testes de germinação e de emergência (Figura 4). Conforme Costa e Novembre (2019), a análise multivariada por meio de componentes principais é uma ferramenta eficiente na criação de novos componentes que representam os resultados de teste de vigor, pois apresenta alta retenção da variância e

coerência, principalmente na apresentação dos dados e na interpretação de resultados em tecnologia de sementes.

4 CONCLUSÕES

O teste de deterioração controlada conduzido com sementes com grau de umidade de 18% sob temperatura de 45 °C por 24 horas é eficiente para avaliar o potencial fisiológico de sementes de canola.

REFERÊNCIAS

- AVILA, M. R. et al. **Adubação potássica em canola e seu efeito no rendimento e na qualidade fisiológica e sanitária das sementes** - DOI: 10.4025/actasciagron.v26i4.1822. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 26, n. 4, p. 475–482, 11 abr. 2008.
- ÁVILA, M. R. et al. Testes de laboratório em sementes de canola e a correlação com a emergência das plântulas em campo. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 27, n. 1, p. 62–70, jun. 2005.
- ARAÚJO, J. DE O. et al. Accelerated aging test and antioxidant enzyme activity to assess chickpea seed vigor. *Journal of Seed Science*, v. 43, p. 2021, 3 dez. 2021.
- BARBOSA, R. M. et al. Discriminação de lotes de sementes de soja por meio de técnicas exploratórias multivariadas. *Journal of Seed Science*, v. 35, n. 3, p. 302–310, 2013.
- BRASIL. **REGRAS PARA ANÁLISE DE SEMENTES**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2022.
- BRASIL. **Instrução Normativa MAPA 45/2013**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/publicacoes-sementes-e-mudas/copy_of_INN45de17desetembrede2013.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2022.
- CARVALHO, N.M; NAKAGAWA, J. **Sementes ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal-SP: Fundep, 2012. 5° ed. 590 p.
- CICERO, S.M; VIEIRA,R.D. Testes de Frio. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, cap.6, p.270-300, 2020.
- COELHO, M. V. et al. Cold test on the vigor determination of *Carthamus tinctorius* L. seeds. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 16, n. 4, 2021.
- COIMBRA, L. B. POTENCIAL DE ARMAZENAGEM DE DOIS HÍBRIDOS DE CANOLA SUBMETIDOS ÀS DETERIORAÇÕES, ARTIFICIAL E NATURAL. **Dissertação (mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia, Programa de Pós Graduação em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal, 2013., 2013.**
- COLLINS, M. E.; OVALLES, F. A. Variability of Northwest Florida Soils by Principal Component Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, v. 52, n. 5, p. 1430–1435, 1 set. 1988.
- COSTA, D. S.; NOVEMBRE, A. D. D. L. C. Análise multivariada para expressão de resultados de potencial fisiológico de sementes de arroz. *Agrarian*, v. 12, n. 45, p. 418–424, 12 out. 2019.
- DA SILVA, J. B.; VIEIRA, R. D. Controlled deterioration of beetroot seeds. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 32, n. 1, p. 69–76, 2010a.
- DA SILVA, J. B.; VIEIRA, R. D. Deterioração controlada em sementes de beterraba. *Revista Brasileira de Sementes*, v. 32, n. 1, p. 69–76, 2010b.

- DELOUCHE, J. .; POTTS, H. . **Programa de sementes. Planejamento e implantacao.** Disponível em: <<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=AGB.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=174437>>. Acesso em: 29 abr. 2022.
- ELDER, F.; BEZERRA, C. TESTES PARA A AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE *Panicum maximum* CVS . MOMBAÇA , MASSAI E TANZÂNIA FISIOLÓGICO DE SEMENTES DE *Panicum maximum* CVS . 2018.
- ELLIOTT, R. . et al. **Vigor Tests for Evaluating Establishment of Canola under Different Growing Conditions and Tillage Practices on JSTOR.** Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/23433590>>. Acesso em: 27 abr. 2022.
- FILHO, J. M. et al. **Testes para avaliação do vigor de sementes de soja e suas relações com a emergência das plântulas em campo** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 1984. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/15720>>. Acesso em: 30 abr. 2022
- HAIR, Jr., J. F. et. al. Análise multivariada de dados. Trad. Adonai Schlup Sant'Anna e Anselmo Chaves Neto. 5 ed. _Porto Alegre: Bookman, 2005.
- HONGYU, K. et al. Análise de Componentes Principais: Resumo Teórico, Aplicação e Interpretação. **ES Engineering and Science**, v. 5, n. 1, p. 83–90, 29 jun. 2016.
- HRYCZYNA, A. B. et al. ADUBAÇÃO FOLIAR DE BORO EM DOIS HÍBRIDOS DE CANOLA. **Nativa**, v. 9, n. 5, p. 600–604, 23 dez. 2021.
- JOLLIFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 374, n. 2065, 13 abr. 2016.
- KIKUTI, A. L. P.; MARCOS-FILHO, J. Physiological potential of cauliflower seeds. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 4, p. 374–380, jul. 2008.
- KRUSE, M. Application of the Normal Distribution for Testing the Potential of the Controlled Deterioration Test. **Crop Science**, v. 39, n. 4, p. 1125–1129, 1 jul. 1999.
- KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D. Deterioração controlada. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. cap.6, p.1-8.
- KRZYZANOWSKI, F.C.; MARCOS FILHO, J. Deterioração controlada. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020. cap.5.
- LAVIOLA, B. G. et al. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 4 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Pecuária Sudeste Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO 20**, v. 20, 2019.
- LEÃO-ARAÚJO, E. F. et al. Controlled deterioration test and use of the Seed Vigor Imaging System (SVIS[®]) to evaluate the physiological potential of crambe seeds. **Journal of Seed Science**, v. 39, n. 4, p. 393–400, 1 out. 2017.
- MAGUIRE, J. D. Speed of germination: aid in selection and evaluation for seedling

emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de Plantas Cultivadas**. 2. ed. Piracicaba: ABRATES, p. 430. 2015.

MARCOS-FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, cap.1, p.1-21, 1999.

MARINHO, J. DE L. et al. Controlled deterioration test to evaluate the physiological potential of sweet corn seeds. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 949–962, 19 mar. 2021.

MARTINS, C. C. et al. Metodologia para seleção de linhagens de soja visando germinação, vigor e emergência em campo1. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 47, n. 3, p. 455–461, 2016.

MEDEIROS, A. D. et al. Parameters based on X-ray images to assess the physical and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 6, p. 643–652, 1 nov. 2018.

MINGOTI, S.A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada. Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 295p.

MILANI, M.; MENEZES, N. D. L.; LOPES, S. J. Teste de condutividade elétrica para avaliação do potencial fisiológico de sementes de canola. **Revista Ceres**, v. 59, n. 3, p. 374–379, 2012.

MORI, C. DE; MIRANDA, M. Z. DE. Aspectos econômicos e conjunturais da cultura do centeio no mundo e no Brasil. n. 2012, 2013.

NETO, J. DE B. F.; KRYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A. **A importância do uso de semente de soja de alta qualidade**. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/661047/1/ID30537.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2022.

OLIVEIRA, S. S. C. et al. Tests for the selection of forage turnip progeny to order the vigor and longevity of seeds. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 230–236, 2017.

POWELL, A. ; MATTHEWS, S. **Evaluation of controlled deterioration, a new vigour test for small seeded vegetables**. Disponível em: <<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XE8182703>>. Acesso em: 27 abr. 2022.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2022. Disponível em: <<https://www.R-project.org>> Acesso em: 01 de mar.2022

RIGON, A. G. et al. Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária |FW| v. 1 | n. 2 | p. p. 124, 2017.

RODRIGUES, M. et al. Testes de envelhecimento acelerado e deterioração controlada na avaliação do vigor de aquênios de girassol. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 1857–1863, out. 2008.

RODRIGUES, M. et al. Correlação entre testes para avaliação da qualidade de sementes de

girassol e emergência das plântulas em campo. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 2004–2009, 2009.

ROSSETTO, C. A. V.; MARCOS FILHO, J. Comparação entre os métodos de envelhecimento acelerado e de deterioração controlada para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Scientia Agricola**, v. 52, n. 1, p. 123–131, abr. 1995.

SANTOS, C. M. R.; MENEZES; NILSON LEMOS DE; VILLELA; FRANCISCO AMARAL. **TESTE DE DETERIORAÇÃO CONTROLADA PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE FEIJÃO** *Revista Brasileira de Sementes*. 2003.

SILVA, R. J. DA. **QUALIDADE DE GRÃOS DE CANOLA PRODUZIDOS NO CERRADO MINEIRO. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS-ICIAG AGRONOMIA-CAMPUS UBERLÂNDIA QUALIDADE DE GRÃOS DE CANOLA PRODUZIDOS NO CERRADO MINEIRO UBERLÂNDIA, MG, 2019.**

SOARES, L. C. **Deterioração controlada em sementes de melancia**. Disponível em: <<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/65267>>. Acesso em: 29 abr. 2022.

SOARES, V. N. et al. Influência da qualidade fisiológica e sanitária no vigor de sementes de pepino. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 86, 14 nov. 2019.

TEKRONY, D. M. Precision is an essential component in seed vigour testing. **Seed Science and Technology**, v. 31, n. 2, p. 435–447, 2003.

TOMM, G. O. Indicativos tecnológicos para produção de canola no Rio Grande do Sul. 2007.

TONIN, G. A.; PEREZ, S. C. J. G. D. A. **QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE IMBUIA**. v. 28, n. 2, p. 26–33, 2006.

TORRES, S. B. et al. Deterioração controlada em sementes de coentro 1. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, p. 319–326, 2012.

VAZQUEZ, E.; MONTIEL, F.; VÁZQUEZ-RAMOS, J. M. DNA ligase activity in deteriorated maize embryo axes during germination: a model relating defects in DNA metabolism in seeds to loss of germinability. **Seed Science Research**, v. 1, n. 4, p. 269–273, 1991.

ZENI, D. B. Efeitos da temperatura na secagem e da umidade relativa no ar. **Ministério da educação universidade federal de pelotas faculdade de agronomia eliseu maciel departamento de ciência e tecnologia agroindustrial programa de pós-graduação em ciência e tecnologia**, 2010.

ARTIGO CIENTÍFICO II

TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO E ANÁLISE ANATÔMICA E HISTOQUÍMICA NA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE CANOLA

ARTIGO CIENTÍFICO II – TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO E ANÁLISE ANATÔMICA E HISTOQUÍMICA NA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE CANOLA

RESUMO

A canola é uma espécie oleaginosa que se apresenta como opção atraente para o sistema de cultivo no Brasil, é importante ressaltar a qualidade das sementes a serem implantadas e o uso de métodos padronizados que sejam estabelecidos na avaliação da qualidade fisiológica das sementes. Diante disso, objetivou-se, com a metodologia do teste de envelhecimento acelerado avaliar a qualidade de semente de canola, bem como as alterações da qualidade fisiológica por análise anatômica e histoquímica após o envelhecimento. A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Sementes do Departamento de Agronomia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina, Minas Gerais. Foram utilizados cinco lotes de sementes de canola do híbrido Diamond, safras 2019 e 2021. Para a análise da caracterização inicial do perfil dos lotes, foram avaliados os testes: determinação do grau de umidade, peso de mil sementes, primeira contagem de germinação, germinação, índice de velocidade de germinação, estande inicial, emergência, índice de velocidade de emergência e teste de frio. Para o teste de envelhecimento acelerado, foi utilizado o esquema fatorial 5x3x4 (cinco lotes, três soluções: água destilada (100% UR), solução de NaCl (76% UR) e solução de KCl (87% UR), e quatro períodos de envelhecimento, 24, 48, 72 e 96 horas). Para a caracterização anatômica e histoquímica, os cortes foram corados com Azul de Toluidina, Xylidine Ponceau e Sudan IV. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05\%$). Posteriormente, foi construído um dendrograma, utilizando o coeficiente de correlação simples de Person e a análise de componentes principais. Constatou-se que o teste de envelhecimento acelerado com solução saturada de KCl (87% UR) realizado a 41°C, por 24 horas, é eficaz para avaliação do vigor de sementes de canola. Em relação à presença de proteínas e lipídios, as sementes não envelhecidas e envelhecidas com solução KCl/24 horas apresentaram semelhanças quanto ao padrão de coloração e de estrutura celular, logo, o seu uso não afeta a qualidade fisiológica da semente.

Palavra-chave: *Brassica napus*, germinação, envelhecimento acelerado.

SCIENTIFIC ARTICLE II - ACCELERATED AGING TEST AND ANATOMICAL AND HISTOCHEMICAL ANALYSIS IN THE EVALUATION OF CANOLA SEED VIGOR

ABSTRACT

Canola is an oilseed species that presents itself as an attractive option for the cultivation system in Brazil, it is important to emphasize the quality of the seeds to be implanted and the use of standardized methods that are established in the evaluation of the physiological quality of the seeds. Therefore, the objective was, with the methodology of the accelerated aging test, to evaluate the quality of canola seed, as well as the changes in physiological quality by anatomical and histochemical analysis after aging. The research was carried out at the Seed Laboratory of the Department of Agronomy of the Federal University of Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), Diamantina, Minas Gerais. Five batches of canola seeds of the Diamond hybrid, harvests 2019 and 2021, were used. For the analysis of the initial characterization of the profile of the batches, the tests were evaluated: determination of the degree of moisture, weight of a thousand seeds, first germination count, germination, germination speed index, initial stand, emergence, emergence speed index and cold test. For the accelerated aging test, the 5x3x4 factorial scheme was used (five lots, three solutions: distilled water (100% RH), NaCl solution (76% RH) and KCl solution (87% RH), and four periods of aging, 24, 48, 72 and 96 hours). For anatomical and histochemical characterization, the sections were stained with Toluidine Blue, Xylidine Ponceau and Sudan IV. Data were submitted to analysis of variance, and means were compared using Tukey's test ($p < 0.05\%$). Subsequently, a dendrogram was constructed, using Person's simple correlation coefficient and principal component analysis. It was found that the accelerated aging test with saturated solution of KCl (87% RH) carried out at 41°C, for 24 hours, is effective for evaluating the vigor of canola seeds. Regarding the presence of proteins and lipids, the seeds not aged and aged with KCl/24 hours solution showed similarities in terms of color pattern and cell structure, so their use does not affect the physiological quality of the seed.

Keywords: *Brassica napus*, germination, accelerated aging.

1. INTRODUÇÃO

A canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*), é uma importante oleaginosa, cultivada principalmente pelo óleo de alta qualidade, tanto para nutrição humana, indústrias químicas e farmacêuticas quanto para produção de biocombustíveis (BOCIANOWSKI; LIERSCH, 2022). Apresenta-se como cultura alternativa no sistema de cultivo no Brasil, principalmente em períodos de entre safras (GONÇALVES et al., 2022). Para a instalação da cultura, a qualidade da semente a ser utilizada na semeadura e o método usado para avaliação da qualidade fisiológica da semente têm grande importância (ÁVILA et al., 2005).

A semente é matéria prima originada de uma série de etapas desde, melhoramento genético, produção, colheita, beneficiamento, secagem, armazenamento, análises e semeadura que no decorrer desses processos fica sujeita a deterioração (ROSSETTI et al., 2022). O processo de deterioração da semente ocorre de forma progressiva, o que resulta na queda de sua qualidade é uma série de alterações fisiológicas, físicas e bioquímicas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; MEDINA et al., 2021).

Os teste de vigor para a detecção da deterioração de sementes são importante na avaliação da qualidade fisiológica, principalmente, contribuindo diretamente para indústrias de sementes à auxiliar na tomada de decisões quanto ao uso ou descarte de lotes (MARCOS FILHO, 2015; FERNANDEZ, L. G.; JESUS, T. S. R.; SANTOS, 2021).

Os testes de vigor, diferentemente do teste de germinação, objetivam identificar possíveis diferenças no grau de deterioração de sementes que apresentem potencial germinativo semelhante, dentre o principal desafio das pesquisas sobre os testes de vigor estão na identificação de parâmetros relacionados a deterioração que precedam a perda da capacidade germinativa das sementes (GUPTA; PUNIA; DHAIYA, 2017; SILVA et al., 2019a).

Dentre os vários testes usados para avaliação do vigor das sementes, destaca-se o teste de envelhecimento acelerado, por sua fácil padronização e simplicidade na execução (MARCOS FILHO, 2020). Outro campo de destaque no estudo em sementes é a compreensão da anatomia e da histoquímica, que assume papel chave na identificação e visualização das alterações celulares e de tecidos relacionados à estes processo, assim como a mobilização de compostos de reservas (MENDES; MENDONÇA, 2020).

Diante da escassez de informações sobre a utilização desse teste para semente de canola, objetivou-se, com este estudo, adequar a metodologia do teste de envelhecimento acelerado para avaliação e diferenciação dos lotes de sementes com diferentes níveis de

qualidade, bem como avaliar por análise anatômica e histoquímica alterações na qualidade fisiológica de sementes de canola após o envelhecimento.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Sementes - Departamento de Agronomia e Laboratório de Anatomia Vegetal – Departamento de Ciências Biológicas da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM, Diamantina, MG. Foram utilizados cinco lotes de sementes de canola do híbrido Diamond, sendo o lote 1 produzido em Cascavel-PR, safra 2020; lote 2 produzido em Planaltina-DF, safra 2019, lote 3 produzido em Lavras-MG, safra 2019, lote 4 produzido em Lavras-MG, safra 2021 e lote 5 produzido no *campus* experimental da UFVJM, safra 2021, cujas sementes foram consideradas F2 do lote 1 (70 % de autofecundação e 30 % de fecundação cruzada).

Para a caracterização da qualidade dos lotes foram realizados os testes:

Para o **peso de mil sementes** foi determinado segundo a metodologia de Brasil (2009), em que oito repetições de 100 sementes foram pesadas em balança analítica e posteriormente, calculado o desvio padrão e o coeficiente de variação, sendo os resultados expressos em gramas.

O **grau de umidade** foi obtido através do método da estufa, a 105°C, por 24 horas (BRASIL, 2009). Foram utilizadas duas repetições para cada lote com o peso da amostra de um grama de sementes para cada repetição.

O **teste de Germinação** foi realizado de acordo os critérios estabelecidos pelas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 2009), com quatro repetições de 50 sementes por lote, colocadas para germinar em caixas plásticas do tipo “gerbox” sobre três folhas de papel *germitest*, umedecidas com água destilada, utilizando-se 2,5 vezes a massa do papel seco. Posteriormente, as sementes foram acondicionadas em germinador tipo B.O.D., com temperatura de 20°C constante. As avaliações foram realizadas ao 5° dia (**primeira contagem da germinação**) e encerradas ao 7° dia (**contagem final**), computando-se as plântulas normais. As contagens foram efetuadas diariamente para a determinação do **índice de velocidade de germinação (IVG)**, calculado segundo a fórmula proposta por Maguire (1962), computando-se o número de sementes com protrusão, a partir da emissão de 1 mm de radícula.

O **teste de emergência** foi realizado com quatro repetições de 50 sementes por lote. As sementes foram semeadas em caixas plásticas contendo areia e terra na proporção 2:1, umedecida com água destilada. As caixas foram mantidas em sala de crescimento a

temperatura de 20°C com fotoperíodo constante. Após o início da emergência, foram realizadas avaliações diariamente, computando-se o **estande inicial** ao 5º dia, sendo o teste encerrado após a porcentagem de emergência estabilizar-se por três dias, avaliando o número de plântulas normais emergidas. Para o **índice de velocidade de emergência (IVE)**, foram computados, diariamente, o número de plântulas emersas a partir do início da emergência e o cálculo realizado conforme Maguire (1962).

O **teste de frio** foi conduzido conforme as recomendações de Cicero e Vieira (2020), em que quatro repetições de 50 sementes para cada lote, foram acondicionadas em papel *germitest* umedecidos com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Em seguida, os rolos foram agrupados em quatro (repetições) com atilhos de borracha (elásticos), vedados com sacos plásticos e mantidas em B.O.D à temperatura de 10°C durante sete dias. Após este período, os rolos foram retirados dos sacos de plásticos e colocados em germinador à temperatura de 25°C, sendo avaliado a porcentagem de plântulas normais no quinto dia.

Para o teste de **envelhecimento acelerado tradicional** foi conduzido com a utilização de caixas de plástico do tipo gerbox com compartimento individual possuindo em seu interior uma bandeja de tela de alumínio, onde as sementes foram dispostas de maneira a formar uma camada simples sobre a superfície da tela. No interior de cada gerbox, foram adicionadas 40 ml de água destilada (H₂O – 100 UR). As caixas tampadas foram mantidas em câmara de germinação do tipo B.O.D. a 41°C, durante os períodos de 24, 48, 72 e 96 horas. Em seguida, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, com avaliação no quinto dia após a semeadura, sendo determinado também o teor de água das sementes ao final dos períodos de envelhecimento (MARCOS FILHO, 2020).

Para o teste de **envelhecimento acelerado com o uso de solução saturada de sal** foi conduzido de forma semelhante ao tradicional, contendo 40 ml de solução saturada, na solução saturada de cloreto de sódio (NaCl), na proporção de 40 g de NaCl para 100 ml de água, o qual proporciona umidade relativa de 76% e a solução saturada de cloreto de potássio (KCl) na proporção de 32 g de KCl para 100 ml de água, proporcionando um ambiente com umidade relativa de 87% (JIANHUA; MCDONALD, 1997). Os gerboxes foram levados a câmaras de germinação do tipo B.O.D., à temperatura de 41°C, pelos períodos de 24h, 48h, 72h e 96 horas. Em seguida, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, com avaliação ao quinto dia após a semeadura, sendo determinado também o teor de água das sementes ao final dos períodos de envelhecimento (MARCOS FILHO, 2020).

Para a **caracterização anatômica e histoquímica** foram utilizadas sementes de canola sem o processo de envelhecimento, no tratamento considerado eficiente e no tratamento mais drástico a qualidade das sementes para avaliação quanto a possível alteração nas estruturas. As amostras selecionadas foram fixadas em FAA70 (formaldeído, ácido acético e álcool etílico 70% na proporção de 9:0,5:0,5) por 48h sob vácuo e posteriormente estocadas em etanol 70% por 24 h sob vácuo (KRAUS et al., 1998). Em seguida foram desidratadas em série etílica crescente (80%, 90% e 95% e 100% + resina 1:1), incluídas em resina metacrilato (Historesin – Leica), segundo recomendações do fabricante. Foram obtidas secções anatômicas com 5 µm de espessura, em micrótomo rotativo manual Modelo 829 Serial 71611, corados com azul de toluidina (O'BRIEN et al., 1981) e posteriormente montados entre lâmina e lamínula utilizando-se como meio de montagem com verniz vitral. Para as análises histoquímicas, foram obtidos cortes a mão livre com uso do micrótomo de mesa (Euromex Mikrotom Grampeavel) e aderidos em lâminas histológicas umedecidas com adesivo, os cortes foram submetidos aos seguintes reagentes/corantes: Xylidine Ponceau (XP) para detecção de proteínas totais e Sudan IV para detecção de lipídeos (O'BRIEN; MCCULLY, 1981). Lâminas foram observadas em microscópio de luz modelo Leica DM50 e fotomicrografias foram obtidas em fotomicroscópio (Primo Star-Zeiss AxioCam ERc 5s). As fotomicrografias obtidas foram avaliadas quanto as alterações estruturais, como intensidade da coloração e desgastes decorrentes dos efeitos dos tratamentos nas células das sementes.

O delineamento experimental utilizado no teste de deterioração controlada foi o inteiramente casualizado, sendo analisado em esquema fatorial 5 x 3 x 4 (cinco lotes, três soluções (H₂O, NaCl e KCl) e quatro períodos de envelhecimento (24, 48, 72 e 96 horas)). Os dados foram testados quanto à distribuição normal dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk e à homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett, assim os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Foi construído dendrograma para agrupamento de forma hierárquica das variáveis da caracterização da qualidade dos lotes, a parti do agrupamento realizado foi calculado o coeficiente de correlação simples de Pearson (r) para todas as combinações dos resultados dos testes de vigor. Para verificar a eficiência das metodologias, foi realizada a análise de componentes principais (PCA) entre os dados de caracterização inicial dos lotes e os resultados dos testes de vigor. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do *software* estatístico “R. 4.1.2” (R CORE TEAM, 2022).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão os dados obtidos da caracterização inicial do perfil dos cinco lotes de sementes de canola. O grau de umidade dos lotes variou de 7,2% a 9,2%, o que, segundo Marcos Filho (2015), é aceitável, pois gera resultados consistentes e importantes para a padronização dos testes. Para a comercialização das sementes de canola, recomenda-se a umidade de 10%, ou menos (TOMM et al., 2009). Avila et al. (2008) encontraram umidade nas sementes de canola abaixo de 8%, o que se assemelha aos valores encontrados no presente trabalho.

Tabela 1. Grau de umidade = U (%), peso de mil sementes = PMS (g), plântulas normais na primeira contagem = PC (%), germinação = G (%), índice de velocidade de germinação = IVG, estande inicial = EI (%), emergência = E (%), índice de velocidade de emergência = IVE e teste de frio = TF, obtidos para caracterização do perfil dos cinco lotes de sementes de canola. UFVJM, Diamantina, MG, 2022.

| LOTES | Testes | | | | | | | | |
|--------|--------|---------|--------|-------|----------|--------|-------|---------|--------|
| | U (%) | PMS (g) | PC (%) | G (%) | IVG | EI (%) | E (%) | IVE | TF (%) |
| 1 | 8,5 b | 4,30 b | 93 ab | 98 a | 19,48 a | 96 ab | 98 ab | 20,3 ab | 98 a |
| 2 | 7,3 c | 4,87 a | 84 b | 90 bc | 15,59 bc | 75 c | 89 b | 14,47 c | 76 b |
| 3 | 7,2 c | 2,18 d | 87 b | 95 ab | 17,28 ab | 84 bc | 94 ab | 17,90 b | 94 a |
| 4 | 7,8 c | 3,05 c | 73 c | 88 c | 12,87 c | 73 c | 76 c | 12,59 c | 68 c |
| 5 | 9,2 a | 3,82 b | 98 a | 99 a | 19,90 a | 99 a | 100 a | 20,86 a | 99 a |
| CV (%) | 1,22 | 7,18 | 5,57 | 2,72 | 7,63 | 7,44 | 4,91 | 6,77 | 3,82 |

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O peso de mil sementes variou de 4,87 g a 2,18 g entre os lotes (Tabela 1). A avaliação do peso de mil sementes é um indicativo do tamanho das sementes; como o obtido neste estudo foi inferior a 200 g, as sementes foram classificadas como pequenas (BRASIL, 2009). Cecchele et al. (2017) relatam que os maiores pesos de mil sementes de canola estão relacionados ao maior tempo em que as plantas permanecem ativas na fase final de enchimento de grãos. Sementes maiores têm maiores quantidades de reservas e embriões bem formados, por isso podem apresentar altas porcentagens de germinação e vigor (BARBOSA et al., 2010). No entanto, estudos realizados com sementes de canola e soja demonstraram que o peso e o tamanho das sementes não influenciaram os resultados de testes conduzidos em laboratórios e o desempenho de plantas a campo (ÁVILA et al., 2009; MARTINS et al., 1997; LIMA; CARMONA, 1999), corrobora com o presente trabalho.

Constatou-se diferença significativa na germinação dos lotes, com maiores porcentagens para os lotes 1 e 5 e menores para o lote 4 (Tabela 1), tendo os lotes 2 e 3 apresentado qualidade intermediária.

Pela primeira contagem do teste de germinação, observou-se que o lote 5 obteve porcentagem superior à dos demais, tendo o lote 4 apresentado porcentagem inferior (Tabela 1). Ao analisar o índice de velocidade de germinação, constatou-se que os lotes 1 e 5 foram superiores e que o lote 4 teve menor IVG, no entanto os lotes 2 e 3 não diferiram dos demais.

De modo geral, os resultados obtidos no estande inicial, na emergência, no índice de velocidade de emergência e no teste de frio foram semelhantes quanto à classificação dos lotes de sementes de canola em níveis de vigor (Tabela 1). Nesses testes, os lotes 1 e 5 não diferiram entre si, sendo superiores ao lote 4, que foi de menor vigor, enquanto os lotes 2 e 3 tiveram qualidade intermediária. Nery-Silva (2017), ao avaliar a qualidade fisiológica de sementes de canola da caracterização inicial com o teste de frio foi possível diferenciar os híbridos em diferentes níveis de vigor. Teste de germinação, de frio e de emergência foram capazes de diferenciar lotes de sementes de sorgo ao avaliar a qualidade fisiológica (VAZQUEZ; BERTOLIN; SPEGIORIN, 2011).

Foi aplicada a análise de agrupamento para explorar a similaridade entre as análises dos lotes de sementes da caracterização inicial, sendo os resultados desse tipo de análise dispostos hierarquicamente. Ao analisar simultaneamente as informações das análises, obtém-se a interpretação do conjunto de dados, considerando as correlações existentes entre elas, agrupando-se, então, os testes mais similares entre si (Figura 1).

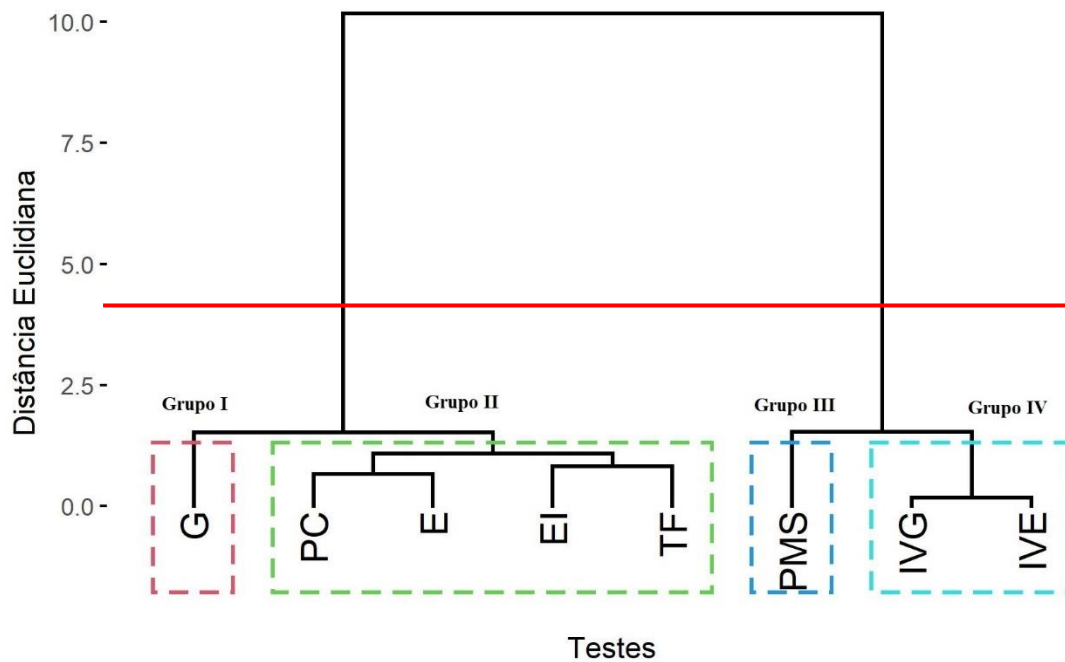


Figura 1 - Dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico com a formação de grupos com base nos dados de peso de mil sementes (PMS), primeira contagem (PC), germinação (G), índice de velocidade de germinação (IVG), estande inicial (EI), emergência (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e teste de frio (TF) em cinco lotes de sementes de canola.

Com base no método de agrupamento hierárquico submetido aos testes de caracterização da qualidade inicial dos lotes, foi adotada a distância euclidiana 4 (HAIR et al., 2005) baseada na melhor distinção entre os agrupamentos como referência, o que possibilitou a obtenção de quatro grupos, revelando ser esse um resultado bastante significativo. No grupo I encontra-se o teste de germinação com similaridade ao grupo II, onde estão agrupados os testes de primeira contagem, de emergência e de estande inicial e o teste de frio. A partir do grupo III, formado com o peso de mil sementes, apresenta-se uma dissimilaridade com distanciamento entre os grupos I e II, mas com similaridade com o grupo IV, com os testes de índice de velocidade de germinação e índice de velocidade de emergência. Para este estudo o valor ideal para distinção dos grupos foi definido em função da separação dos grupos que melhor explicam os resultados de similaridade entre os testes, conforme destaca Mingoti (2007). A realização da análise exploratória multivariada de agrupamento pelo método hierárquico, o gráfico dendrograma, construído a partir dos dados dos testes são capazes na formação dos grupos por determinação de similaridade em sementes de braquiária (SILVA et al., 2019a), corroborando com o trabalho.

Portanto, como os testes de germinação, de primeira contagem, de emergência e de estande inicial e o teste de frio apresentaram maior similaridade, eles foram utilizados para correlacioná-los com o teste de envelhecimento acelerado. De acordo com Marcos Filho (2015), resultados semelhantes aos obtidos no teste de emergência constituem parâmetros indicadores da eficiência dos testes para avaliação do potencial fisiológico dos lotes de sementes, logo, os testes com similaridade com a emergência são eficientes para serem usados com esse fim, o que corrobora o resultado obtido pelo agrupamento cujos testes apresentaram similaridade com os testes de emergência.

Constatou-se, dentro de cada período estudado (Tabela 2), que não houve variações expressivas no grau de umidade das sementes após elas serem submetidas ao envelhecimento acelerado, para todos os tratamentos. Deve ser ressaltado que as variações ficaram dentro do limite relatado por Marcos Filho (1999), que indicou como toleráveis variações de até quatro pontos percentuais.

Tabela 2 - Grau de umidade (%) das sementes de canola submetidas a períodos de envelhecimento acelerado pelo método tradicional (H₂O) e pelos métodos com solução salina de NaCl e KCl.

| Lotes | H ₂ O | | | | NaCl | | | | KCl | | | |
|-------|------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| | 24 h | 48h | 72h | 96h | 24 h | 48h | 72h | 96h | 24 h | 48h | 72h | 96h |
| 1 | 13,3 | 16,5 | 12,11 | 14,5 | 5,57 | 5,93 | 5,61 | 5,6 | 8,71 | 7,48 | 7,11 | 7 |
| 2 | 15,76 | 16,3 | 13,48 | 16,1 | 6,02 | 7,09 | 6,26 | 6,13 | 8,6 | 9,36 | 7,28 | 9,03 |
| 3 | 12,76 | 13,71 | 13,8 | 16,39 | 5,78 | 5,76 | 5,69 | 5,97 | 8,39 | 7,5 | 9,96 | 7,02 |
| 4 | 12,04 | 15,49 | 13,62 | 15,33 | 5,24 | 5,91 | 5,76 | 6,08 | 7,97 | 8,05 | 7,19 | 7,83 |
| 5 | 12,78 | 15,3 | 15,08 | 13,7 | 6,16 | 5,33 | 5,42 | 4,48 | 10,94 | 7,48 | 7,46 | 6,12 |

Ao comparar os métodos de envelhecimento acelerado (Tabela 2), observa-se que com o uso de solução saturada de NaCl (76% UR) há menor absorção de água pelas sementes, resultando em um processo de deterioração menos drástico. Resultados semelhantes foram verificados em sementes de maxixe (TORRES, 2005), de quinoa (MUNARETO et al., 2021) e de cenoura (RODO; PANOBIANCO; MARCOS FILHO, 2000). O efeito da solução de NaCl (76%) já é relatado como sendo menos drástico às sementes, pois a água é absorvida mais lentamente e há redução da intensidade de deterioração (JIANHUA; MCDONALD, 1997).

Em relação à porcentagem de germinação das sementes de canola envelhecidas (Tabela 3), observou-se que houve interação significativa entre os lotes, os períodos e os métodos de envelhecimento. O método de envelhecimento acelerado tradicional com uso de água promoveu uma redução mais drástica da germinação de sementes de canola após o envelhecimento. Já o método com solução de NaCl promoveu um envelhecimento menos drástico que o da solução de KCl. No entanto, o tratamento com solução de KCl diferenciou os lotes de maneira uniforme, e quando os resultados de germinação pelo método usando KCl foram comparados, foi possível a distinção dos lotes mais próximos ao teste de germinação na caracterização do perfil do lote.

O envelhecimento acelerado pelo método tradicional (100% UR) revelou que no tempo de 96 horas houve redução na porcentagem de plântulas normais de sementes de canola para todos os lotes, comportamento semelhante ao observado em sementes de rúcula (RAMOS et al., 2004), de brócolis (CARLOS et al., 2012) e de *Brassicac* (COSTA; TRZECIAK; VILLELA, 2008). Segundo Tunes et al. (2011), esse efeito de queda da germinação após alto período de exposição ao envelhecimento, provavelmente, se deve ao alto teor de água pelo período de exposição da semente ao envelhecimento.

Tabela 3 - Porcentagem de plântulas normais do teste de germinação de cinco lotes de sementes de canola submetidos a períodos de envelhecimento acelerado (horas) pela solução tradicional (H₂O), solução saturada de cloreto de sódio (NaCl) e solução saturada de cloreto de potássio (KCl).

| Lotes | H ₂ O | | | | NaCl | | | | KCl | | | |
|--------|------------------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| | 24h | 48h | 72h | 96h | 24h | 48h | 72h | 96h | 24h | 48h | 72h | 96h |
| 1 | 74 aA | 78 aA | 81 aA | 54 aB | 95 aA | 98 aA | 96 aA | 91 abA | 89 aA | 79 bA | 81 aA | 67 bcB |
| 2 | 77 aA | 73 aAB | 66 bB | 3 bC | 85 abA | 93 aA | 84 bA | 83 abA | 77 bcA | 82 abA | 79 aA | 78 abA |
| 3 | 77 aA | 18 cB | 12 cB | 1 bC | 94 aA | 95 aA | 94 abA | 93 aA | 88 abA | 92 aA | 77 aB | 88 aA |
| 4 | 66 aA | 48 bB | 64 bA | 49 aB | 76 bA | 80 bA | 84 bA | 81 bA | 67 cAB | 65 cAB | 76 aA | 61 cB |
| 5 | 76 aA | 74 aA | 62 bB | 8 bC | 91 aA | 98 aA | 90 abA | 92 aA | 92 aA | 79 bB | 70 aB | 75 bB |
| CV (%) | 7,97 | | | | | | | | | | | |

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). H= horas e CV (%)= coeficiente de variação.

Os resultados obtidos no teste de envelhecimento acelerado com o uso de solução saturada de NaCl (76% UR) separaram os lotes em dois níveis de vigor (Tabela 3). Em geral, o maior vigor foi observado nos lotes 1, 3 e 5 e o menor, nos lotes 2 e 4. A solução saturada de NaCl promoveu redução da velocidade de captação de água, preservando a qualidade

fisiológica de sementes pequenas, como aconteceu com as sementes de brócolis (LIMA et al., 2002), de rúcula (RAMOS et al., 2004) e de nabo-forrageiro (MORAIS; ROSSETTO, 2013).

Para o método com o uso de solução saturada de KCl (87% UR), os períodos de tempo apresentaram comportamentos variáveis na porcentagem de plântulas normais (Tabela 3), o que permitiu a separação dos lotes quanto ao vigor das sementes nos períodos de tempo analisados. Para os tempos de 24 e 48 horas, foi possível estratificar o vigor em três níveis. No tempo de 24 horas foi possível distinguir os lotes de sementes similar aos testes de caracterização inicial do perfil dos lotes (Tabela 1), tendo os lotes 1 e 5 sido os mais vigorosos, o lote 4 o de menor vigor e os lotes 2 e 3 os de vigor intermediário, que não diferiram estatisticamente entre si. Segundo Machado et al. (2019), o teste de envelhecimento acelerado com o uso de solução de KCl é promissor para separar o vigor dos lotes, apresentando resultados semelhantes aos dos testes de caracterização dos lotes, portanto é considerado um método eficaz para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi (DOURADO et al., 2013), de cenoura, de alface e brócolis (RIBEIRO; CARVALHO, 2005) e de crambe (LIMA et al., 2015).

Diante dos resultados da germinação após o envelhecimento, conclui-se que o tratamento que estratificou e distinguiu os lotes de acordo com o potencial fisiológico similar com os demais testes da caracterização inicial do lote foi o tratamento com uso de solução saturada de KCl (87% UR) por um período de exposição de 24 horas. Esse resultado é considerado satisfatório, pelo fato de ser simples sua execução, fácil e ágil com resposta rápida sobre o potencial fisiológico dos lotes. Para Marcos Filho (2015), os testes de interesse na avaliação de lotes em laboratórios de análise de sementes, além de ordenar os lotes em classes de vigor, precisam gerar resultados correlacionados com a emergência, de modo que os resultados dessas análises não devem ser interpretados isoladamente. Portanto, ressalta-se a importância de não se utilizar exclusivamente os resultados das médias do teste de envelhecimento acelerado para avaliar a eficiência do teste, devendo esses ser interpretados em conjunto com a análise de correlação e componentes principais, com a caracterização do perfil do lote, com os testes de germinação, primeira contagem, estande inicial e emergência e com o teste de frio (Figura 1). Cabe ressaltar que à análise multivariada é uma técnica exploratória de dados, portanto, será sempre útil para realização de um estudo confirmatório (TEODORO; PEREIRA, 2021).

Constatou-se correlação altamente significativa entre tratamentos de envelhecimento e os demais testes de caracterização do perfil do lote (Figura 2). A correlação entre os dados do teste de envelhecimento acelerado com os demais testes de avaliação de qualidade das

sementes reforça sua eficiência para avaliar o vigor das sementes de canola. Cabe ressaltar que a maior correlação significativa foi obtida com o uso de solução saturada de KCl por período de 24 horas, para a germinação ($r= 0,75$), a emergência ($r= 0,77$), a primeira contagem ($r= 0,79$), o estande inicial ($r= 0,74$) e o teste de frio ($r= 0,89$). Quando comparado com a tabela de média (Tabela 3), classificou-se o lote em três níveis de vigor, semelhantemente à caracterização do perfil do lote (Tabela 1). Em contrapartida, no envelhecimento com método tradicional e solução saturada de NaCl não houve correlação significativa para os períodos com os resultados dos demais testes.

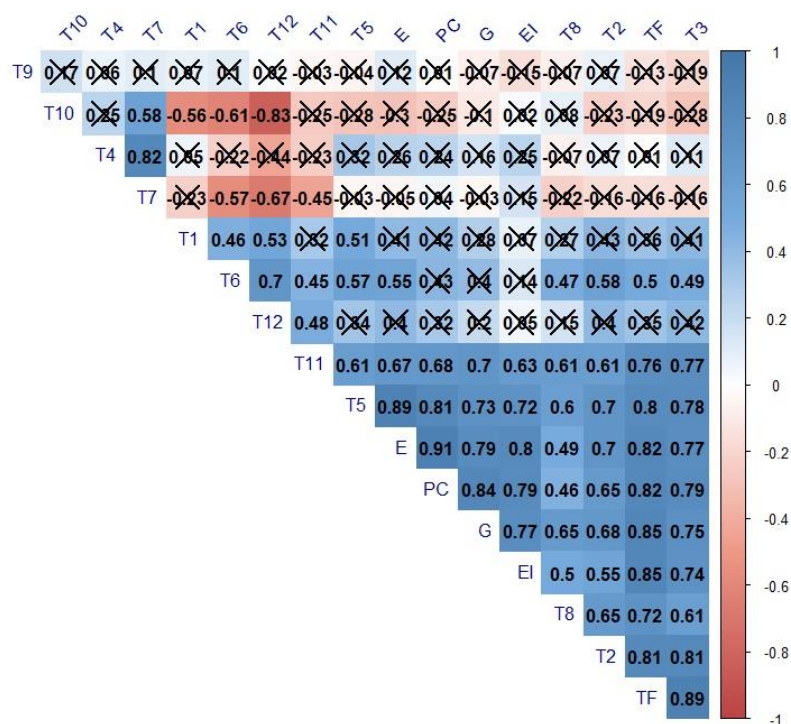


Figura 2 - Correlação de Pearson simples (r) entre as variáveis germinação (G), primeira contagem (PC), emergência (E), estande inicial (EI) e teste de frio (TF) e as combinações dos procedimentos do teste de envelhecimento acelerado realizado em sementes de canola: T1= 24 h/H₂O, T2= 24 h/NaCl, T3= 24 h/KCl, T4= 48 h/H₂O, T5= 48 h/NaCl, T6= 48 h/KCl, T7= 72 h/H₂O, T8= 72 h/NaCl, T9 =72 h/KCl, T10= 96 h/H₂O, T11= 96 h/NaCl e T12= 96 h/KCl. Os valores marcados com um “X” não apresentam correlação significativa a 5% de probabilidade, pelo teste t.

Em outras culturas, como coentro (TUNES et al., 2011), ervilha-forrageira (DOURADO, 2012) e *Brassica* (LEEKES et al., 2007), o teste de envelhecimento realizado com solução salina de KCl foi eficiente para avaliar a qualidade fisiológica da semente. Maior

eficiência do teste de envelhecimento acelerado com uso de solução saturada de sal na classificação de lotes com diferentes níveis de vigor foi observada em sementes de hortaliças como cenoura (RODO; PANOBIANCO; MARCOS FILHO, 2000), melão (TORRES; MARCOS FILHO, 2003a), pepino (TORRES; MARCOS FILHO, 2003b) e rúcula (FREITAS et al., 2018), o que comprova a importância de utilizar soluções salinas na eficácia do teste de envelhecimento acelerado para avaliação de qualidade das sementes.

Para explicar a variabilidade dos dados, na análise de componentes principais dos cinco lotes de sementes de canola submetidos ao teste de envelhecimento acelerado foram necessários dois componentes principais (PC1 e PC2) para discriminar a variância total dos dados (Tabela 4). Os dois componentes principais foram responsáveis por 82,3% da variância acumulada. Sobre a discriminação dos lotes em relação à sua qualidade, o CP1 foi responsável por 61,2% e o CP2, por 21,1% das variâncias dos dados. Para análise multivariada, apenas os testes de germinação, primeira contagem, estande inicial e emergência e o teste de frio, devido ao agrupamento por similaridade (Figura 2), e os tratamentos submetidos ao envelhecimento foram levados em consideração para apresentação e interpretação dos resultados. De acordo com Jolliffe e Cadima (2016), é aceitável a variabilidade dos dados a partir de 80%.

Portanto, com base na análise de componentes principais (Tabela 4), pode-se afirmar que os testes de caracterização do perfil do lote (germinação, primeira contagem, emergência inicial e emergência e o teste de frio) correlacionaram-se fortemente (acima $< 0,80$), correspondendo aos tratamentos T2 (24 h/NaCl), T3 (24 h/KCl), T5(48 h/NaCl), T11 (96 h/NaCl), uma vez que seus vetores estão no mesmo sentido e formam ângulos agudos entre si (Figura 4). No entanto, deve-se ressaltar que apenas o tratamento T3 com solução salina de KCl no período de 24 horas foi capaz de estratificar os lotes em três níveis de vigor (Tabela 3). Apresentando poder discriminatório para o CP2, temos os tratamentos T4 (48 h/H₂O), T7 (72 h/H₂O) e T10 (96 h/H₂O), principalmente representado pelo método tradicional. Nota-se um distanciamento dos vetores dos testes da caracterização do perfil do lote não se correlacionando, portanto, com menor poder discriminatório, realçando, assim, o distanciamento dos demais testes e tratamentos, em sentido e ângulo contrário (Figura 3). Esse fato evidencia uma possível deterioração das sementes com porcentual de plântulas normais baixo, comparado com os demais, conseqüentemente ele é indicado para os tratamentos drásticos, principalmente quando se aumenta o período de exposição das sementes ao envelhecimento.

Tabela 4 - Matriz de autovetores e autovalores dos componentes principais (CP) e avaliação da qualidade fisiológica de cinco lotes de sementes de canola, com ênfase no teste de envelhecimento acelerado, de acordo com as variáveis: germinação (G), primeira contagem (PC), emergência (E), estande inicial (EI) e o teste de frio (TF): T1= 24 h/H₂O, T2= 24 h/NaCl, T3= 24 h/KCl, T4= 48 h/H₂O, T5= 48 h/NaCl, T6= 48 h/KCl, T7= 72 h/H₂O, T8= 72 h/NaCl, T9= 72 h/KCl, T10= 96 h/H₂O, T11= 96 h/NaCl e T12= 96 h/KCl.

| Variáveis | CP1 | CP2 |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| E | 0,97 | 0,19 |
| G | 0,91 | 0,36 |
| PC | 0,92 | 0,32 |
| EI | 0,82 | 0,52 |
| TF | 0,96 | 0,21 |
| T1 | 0,77 | -0,40 |
| T2 | 0,98 | 0,05 |
| T3 | 0,99 | 0,12 |
| T4 | 0,04 | 0,76 |
| T5 | 0,95 | 0,13 |
| T6 | 0,77 | -0,57 |
| T7 | -0,28 | 0,88 |
| T8 | 0,80 | 0,16 |
| T9 | -0,15 | 0,03 |
| T10 | -0,42 | 0,72 |
| T11 | 0,93 | -0,12 |
| T12 | 0,62 | -0,77 |
| Auto valores | 10,39 | 3,59 |
| Variância explicada (%) | 61,2 | 21,1 |
| Variância Acumulada (%) | 61,2 | 82,3 |

Variáveis representativas do componente com base no módulo da relação $0,5/(\lambda)^{0,5}$ destacadas em negrito (COLLINS; OVALLES, 1988).

Assim, foi possível a classificação dos lotes em três níveis de vigor: alto, baixo e médio, de modo que os lotes 1 e 5 são de alto vigor, o lote 4 o de baixo vigor, permanecendo os lotes 2 e 3 com vigor médio. Desta forma, a análise estatística multivariada, por meio da análise de componentes principais, é eficiente na criação de novos componentes que representam os resultados de testes de vigor com alta retenção da variância e coerência, sendo, portanto, uma ferramenta-chave na apresentação de dados e na interpretação de resultados em tecnologia de sementes (COSTA; NOVEMBRE, 2019).

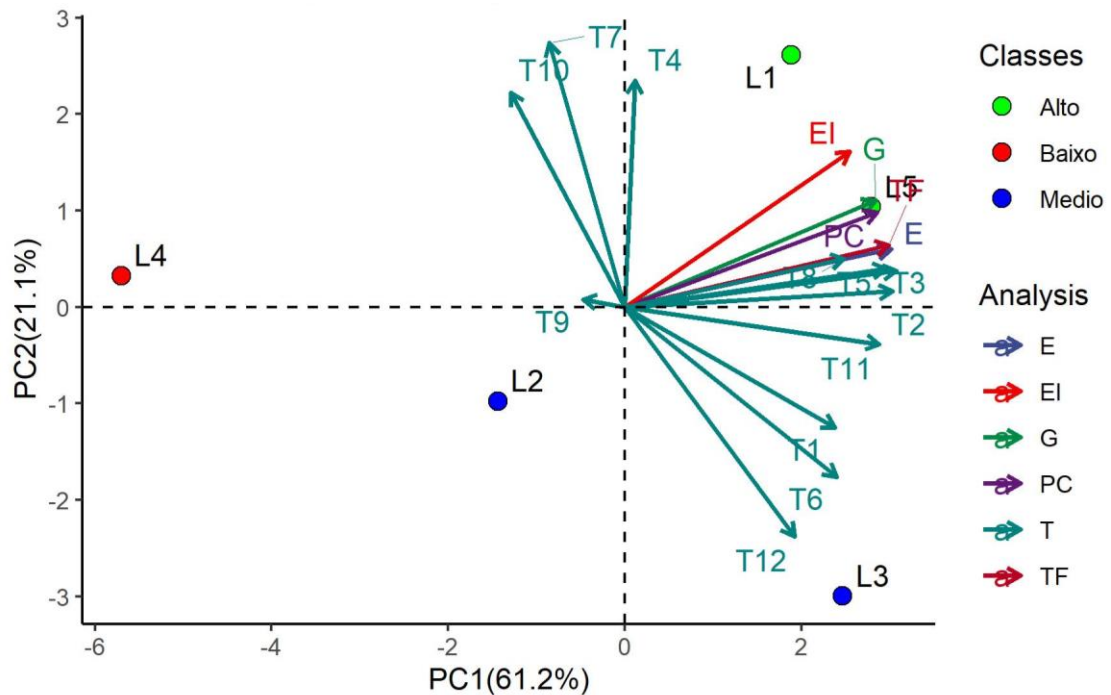


Figura 3 - Dispersão de autovetores ao longo de um plano circular e formação de grupos obtidos por análise de componentes principais, de acordo com as variáveis germinação (G), primeira contagem (PC), emergência (E) e estande inicial (EI) e o teste de frio (TF) e as combinações dos procedimentos do teste de envelhecimento acelerado realizado em sementes de canola: T1= 24 h/H₂O, T2= 24 h/NaCl, T3= 24 h/KCl, T4= 48 h/H₂O, T5= 48 h/NaCl, T6= 48 h/KCl, T7= 72 h/H₂O, T8= 72 h/NaCl, T9=72 h/KCl, T10= 96 h/H₂O, T11= 96 h/NaCl e T12= 96 h/KCl.

Resultados semelhantes na avaliação da qualidade de sementes por análise de componentes principais foram eficientes em outras culturas, como em sementes florestais (LÚCIO et al., 2006), sementes de cártamo (COELHO et al., 2021), sementes de braquiária (SILVA et al., 2019b), sementes de grão de bico (ARAÚJO et al., 2021) e sementes de arroz (COSTA; NOVENBRE, 2019). As técnicas de análise multivariada têm sido empregadas em áreas como genética e melhoramento de plantas, porém as pesquisas com esse tipo de análise relacionadas à área de tecnologia de sementes ainda são escassas na literatura (BARBOSA et al., 2013). Logo, este estudo é uma tentativa de introduzir técnicas multivariadas para discriminar conjuntos de lotes de sementes para explorar e descrever a variabilidade e eliminar a subjetividade.

O resultado da análise de componentes principais (Figura 3) corrobora aqueles verificados na comparação de médias da Tabela 3 e com a correlação simples (Figura 3),

porém de modo mais simplificado e evidente, confirmando o resultado do teste de envelhecimento acelerado com solução de cloreto de potássio (KCl) no período de 24 horas a 41°C como sendo eficaz na avaliação do vigor de sementes de canola. No entanto, fica evidenciado que o uso do método tradicional (100% UR) resulta em maior distanciamento dos vetores e em sentido contrário aos testes de caracterização do perfil do lote, de tal maneira que o maior aumento do período de exposição das sementes ao envelhecimento propicia maior deterioração das sementes, o que acarreta danos drásticos, como baixo percentual de germinação das sementes.

As análises anatômica e histoquímica foram realizadas com sementes não envelhecidas, submetidas ao teste de envelhecimento acelerado com solução de cloreto de potássio (KCl - 87% UR) no período de 24 horas, por ter sido o mais eficiente na avaliação fisiológica da semente de canola e de sementes submetidas ao tratamento com método tradicional (H₂O - 100% UR) no período de 96 horas. Esse teste foi considerado o mais drástico, por apresentar baixo percentual de germinação e correlações distantes dos demais testes da caracterização do lote (Tabela 1, 3 e 4), assim usados para avaliar os desgastes decorrentes dos efeitos dos tratamentos nas células das sementes após o envelhecimento.

A semente de canola é constituída por tegumento; cotilédones, interno e externo; e radícula (Figura 4 A, B, D, F). O tegumento da semente serve como barreira de proteção mecânica e pode estar envolvido na dispersão de sementes e no controle da germinação (MARCOS FILHO, 20015). A semente de canola é estritamente exalbuminosa (GROOT; CAESELE, 1993). Segundo HU et al. (2013), as sementes de colza, no processo de maturação, têm seu endosperma degenerado e seu tegumento envolvendo o embrião firmemente, mas não o endosperma, e sim dois cotilédones envolvendo a radícula. Zhang et al., (2022) descreve a semente de *Brassica napus* composta principalmente de duas partes, sendo embrião e tegumento. O embrião maduro consiste de um eixo axial, bipolar, provido de um ou mais cotilédones, ou seja, a presença de um pólo caulinar na sua extremidade superior e inferior (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2006), cujo no pólo caulinar se dá origem o cotilédone externo formado primeiramente que o cotilédone interno, de tal maneira que o cotilédone externo é maior e abrange o interno.

A semente de canola apresenta tegumento espesso e epiderme unisseriada. Logo abaixo da epiderme há a presença de células em paliçada, constituídas de camada aleurônica (Figura 4 D), confirmando o que foi encontrado por HU et al. (2013) e Zhang et al. (2022). A camada em paliçada, em algumas sementes duras, está relacionada com o grau de impermeabilidade, afetando a capacidade de germinação (COSTA; SILVA; GOMES, 2014).

Entretanto, nos resultados do teste de germinação realizados neste estudo não foram constatados problemas de embebição nos lotes de sementes de canola, sendo sempre observados altos percentuais de germinação (Tabela 1). A cutícula do tegumento externo corou de preto, conforme Groth e Caeseele (1993). A camada mais externa do tegumento contém grânulos osmofílicos característicos da camada pigmentada em sementes de *Brassica* de casca escura (WESTERN et al., 2001). Já a camada em paliçada e a camada de aleurônios do tegumento interno foram coradas de azul (Figura 4 D). Portanto, a camada em paliçada do tegumento interno marca a fronteira (limite) entre o cotilédone externo e o tegumento (Figura 4 D). Borisjuk et al. (2013) relataram que, na semente de canola, o cotilédone externo se expandiu mais rapidamente do que a radícula ou o cotilédone interno, crescendo para se tornar o maior componente individual da semente. Logo, à medida que o desenvolvimento prosseguia, o cotilédone externo se expandia para cobrir tanto o cotilédone interno quanto parcialmente o eixo embrionário. Ao observar o corte transversal da semente da canola (Figura 1 A), notou-se que o cotilédone externo realmente é o mais expansivo, portanto maior que o interno.

O cotilédone externo é composto de células aproximadamente isodiamétricas voltadas para o tegumento e de células em paliçada voltadas para o cotilédone interno. Na região mediana do cotilédone externo, é possível observar feixes vasculares do tipo colateral (Figura 1 D, E). O cotilédone interno é constituído por células de contorno circular, que seguem a curvatura da semente. Elas são envoltas pelo cotilédone externo (Figura 4 A, F) e também atuam como órgão de reserva, apresentando lipídios e proteínas (Figuras 6 e 7). O cotilédone interno é formado por células que apresentam em sua borda, próximo ao cotilédone externo, células oblongas estreitas. Já em sentido da radícula, possui células arredondadas do tipo poligonais de vários tamanhos, com numerosos feixes de vasos finos. A radícula ocupa uma parte da semente de formato cilíndrico, constituída de uma camada de células de protoderme. Na parte interna, posicionado centralmente, encontra-se o procâmbio, cujas células têm formato arredondado (células isodiamétricas) e tamanhos variados (Figura 4 A, B, C). Verboven et al., (2013) descreveram os cotilédones de sementes de canola como tendo células em formato esférico, cujo hipocótilo/radícula situa-se na parte central, composto de células pequenas, quando comparado com o de outras espécies de *Brassicaceae*, como couve e repolho, que também apresentam estruturas semelhantes (REN; BEWLEY, 1998; VAUGHAN; WHITEHOUSE, 1971).

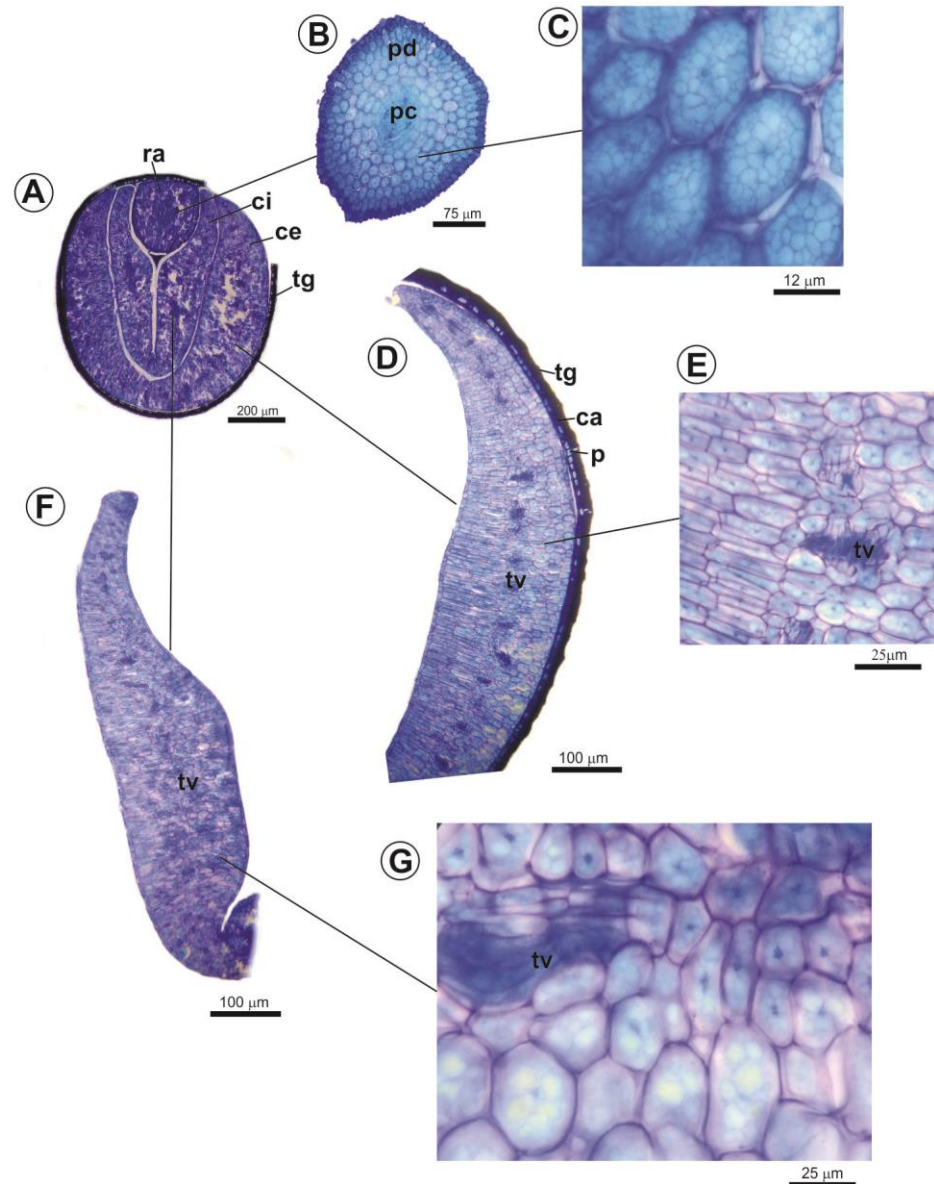


Figura 4 – Semente de canola em corte transversal corada com azul de toluidina. A= semente inteira, B= radícula, C= ultraestrutura da célula radícula seccionada, D= cotilédone externo, E= ultraestrutura da célula cotilédone externo seccionado, F= cotilédone interno, G= ultraestrutura da célula cotilédone interno seccionado. ra= radícula, ci= cotilédone interno, ce= cotilédone externo, tg= tegumento, p= camada paliçádica, ca= camada aleurônica, pd= protoderme, pc= procâmbio e tv= tecido vascular.

Ao observar a constituição da semente de canola anatomicamente (Figura 5), ou seja, os cotilédones interno e externo e a radícula, constataram-se efeitos como o aumento dos espaços intercelulares após a deterioração da semente pelo envelhecimento (Figura 5 D, H e L), que ocorreram com o aumento do período de exposição da semente de canola ao teste de envelhecimento. As sementes não envelhecidas e o tratamento do teste de envelhecimento

acelerado por período de 24 horas à solução saturada de KCl (87% UR) não apresentaram mudanças significativas, permanecendo com suas células intactas (Figura 5 B, C, F, G, J, K). Já em relação ao tratamento com o método tradicional (100% UR) por 96 horas, constatou-se que as células apresentaram aumento dos espaços intercelulares, o que resulta em um desarranjo, ou seja, o arranjo entre as células se modifica (Figura 5 D, H e L).

Os danos às membranas celulares causados pelo tempo de envelhecimento também foram observados para sementes de *Caesalpinia peltophoroides* (PONTES et al., 2006). Rodrigues (2020), ao avaliar sementes de soja em razão dos tempos de armazenamento em diferentes ambientes, identificou desestruturação celular mais intensa nos cotilédones. Em sementes de sorgo, após o envelhecimento acelerado, as células apresentaram formatos irregulares, variando do elíptico ao mais arredondado, bem como a exposição à solução salina acarretou estresses, resultando em poucas mudanças morfológicas e citoquímicas (OLIVEIRA et al., 2011).

Portanto, o processo de deterioração da semente envolve complexas alterações celulares, que interferem no potencial fisiológico. Diante do processo de deterioração das sementes, a velocidade com que isso acontece muitas vezes é determinada pela interação entre o genótipo, o teor de água da semente e a temperatura do ambiente (DELOUCHE, 2002), devido ao aumento da temperatura e da umidade. Ao predispor as sementes a condições estressantes, seu processo de deterioração aumenta, de tal forma que as sementes mais vigorosas conseguem permanecer viáveis por um período de tempo maior, provavelmente não apresentando danos celulares, o que resulta na sua morte. De acordo com Dias e Marcos Filho (1995), a exposição das sementes à temperatura e umidade elevadas provocam sérias alterações degenerativas no metabolismo da semente, desencadeando a desestruturação e a perda da integridade do sistema de membranas.

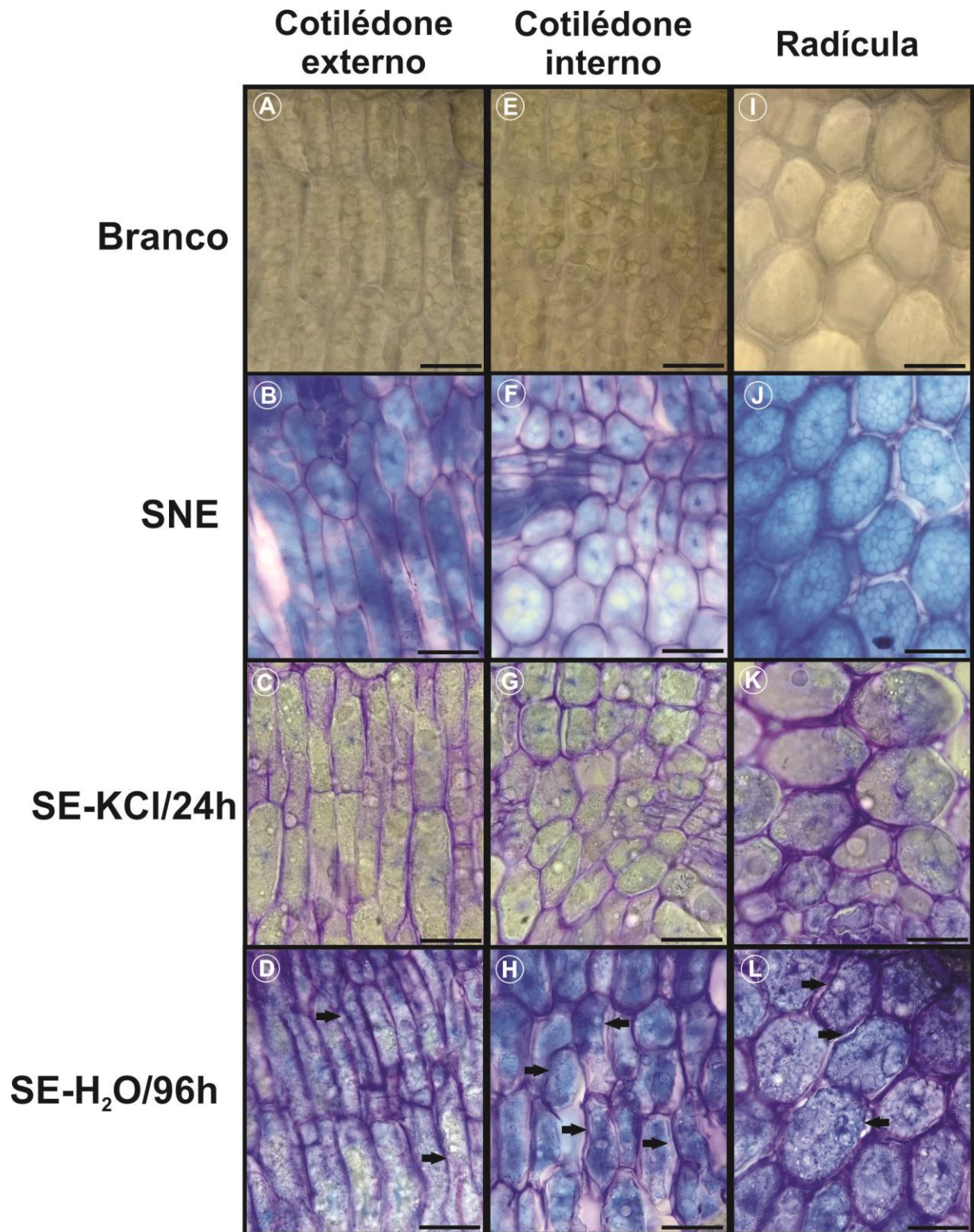


Figura 5 – Secção de corte transversal de semente de canola corada com azul de toluidina. A= cotilédone externo sem coloração (branco), B= cotilédone externo de sementes não envelhecidas (SNE), C= cotilédone externo de sementes envelhecidas KCl/24 h (SE-KCl/24 h), D= cotilédone externo de sementes envelhecidas H₂O/96 h (SE-H₂O/96 h), E= cotilédone interno sem coloração (branco), F= cotilédone interno de sementes não

envelhecidas (SNE), G= cotilédone interno de sementes envelhecidas KCl/24 h (SE-KCl/24 h), H= cotilédone interno de sementes envelhecidas H₂O/96 h (SE-H₂O/96 h), I= radícula sem coloração (branco), J= radícula de sementes não envelhecidas (SNE), K= radícula de sementes envelhecidas KCl/24 h (SE-KCl/24 h) e L= radícula de sementes envelhecidas H₂O/96 h (SE-H₂O/96h). Setas pretas indicam desarranjo na estrutura celular. Barra: 15 µm.

Com os resultados dos testes histoquímicos de semente de canola quanto à presença dos compostos de proteínas e lipídios, foi possível constatar reservas tanto no cotilédone externo quanto no interno (Figuras 6 e 7). Em sementes de *Brassica*, são encontrados lipídios e proteínas como fonte de reservas de armazenamento, sendo os lipídios armazenados como gotículas lipídicas e as proteínas nos corpos proteicos (ROBBELEN; W, 1980). Borisjuk et al. (2013) encontraram conteúdo lipídico no cotilédone externo superior ao do cotilédone interno, em sementes de colza.

Os cotilédones externo e interno da semente de canola foram corados pelo reagente Xilidine Ponceau (XP), que evidenciou a presença de proteínas totais (Figura 6). Todas as seções avaliadas apresentaram semelhança quanto ao padrão de coloração observada entre as sementes não envelhecidas e após envelhecimento no período de 24 horas em solução de KCl (Figura 6 B, C, F e G), indicando certa distribuição uniforme de proteínas, com exceção do tratamento com o método tradicional (100% UR) por 96 horas, que revelou leve alteração no formato e na disposição das células, mas com evidente redução na quantidade de corpos proteicos corados, evidenciando redução na produção de proteínas (Figura 6 D). HU et al. (2013) descreveram, em sementes de canola, apenas alguns pequenos corpos proteicos esporádicos, que apareceram em partes das células dos cotilédones, sendo as outras células nos cotilédones completamente preenchidas com gotícula lipídica. No presente trabalho, foi possível observar os corpos proteicos e as gotículas lipídicas tanto no cotilédone externo como no interno (Figuras 6 e 7).

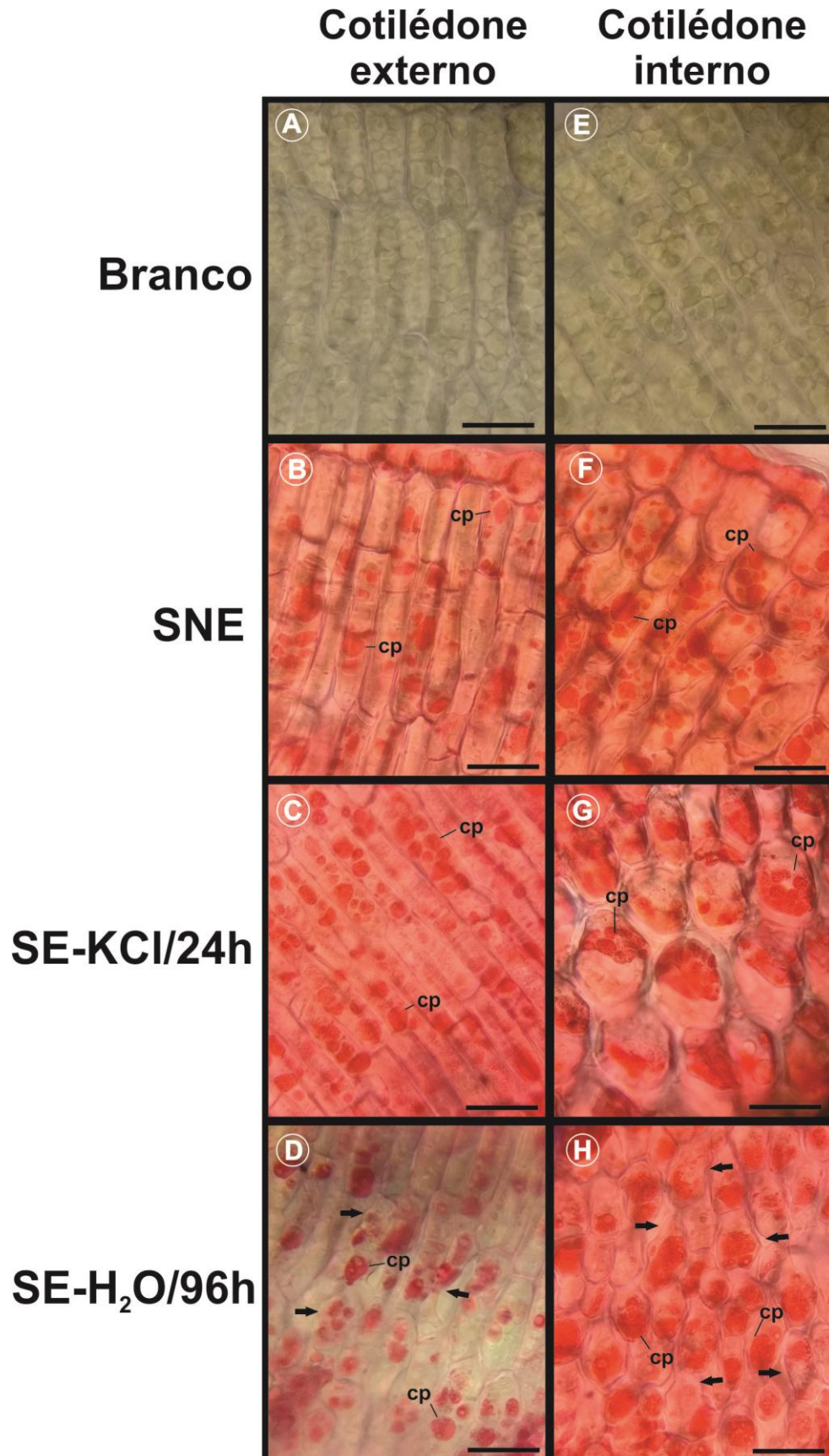


Figura 6 – Secções transversais de semente de canola corada com Xilidine Ponceau (XP). A= cotilédone externo sem coloração (branco), B= cotilédone externo de sementes não

envelhecidas (SNE), C= cotilédone externo de sementes envelhecidas KCl/24 h (SE-KCl/24h), D= cotilédone externo de sementes envelhecidas H₂O/96 h (SE-H₂O/96h), E= cotilédone interno sem coloração (branco), F= cotilédone interno de sementes não envelhecidas (SNE), G= cotilédone interno de sementes envelhecidas KCl/24 h (SE-KCl/24 h) e H= cotilédone interno de sementes envelhecidas H₂O/96 h (SE-H₂O/96 h). Setas pretas indicam alteração na estrutura celular. cp= corpos proteicos. Barra: 15 µm.

As proteínas são os componentes básicos de toda célula viva, e nas sementes elas exercem duas funções principais: atuam como substância de reserva e com funções metabólicas ou estruturais, na maioria das vezes catalisando reações químicas (BORTOLOTTO et al., 2008). Portanto, os resultados obtidos corroboram, em parte, aqueles encontrados por Oliveira et al. (2011), que relataram pequena redução do número de corpos proteicos nos cortes de sementes de sorgo envelhecidas pelo método tradicional. Esses efeitos são aparentes após o período de exposição das sementes ao envelhecimento com alta temperatura e umidade relativa. Cortelazzo, Coutinho; Granjeiro (2005), avaliando alterações histoquímicas em cotilédones das sementes de feijão submetidas ao envelhecimento, notaram a perda do conteúdo proteico e maior desorganização dos corpos proteicos, quando comparadas com as sementes frescas e submetidas ao armazenamento. Na avaliação de acúmulo de proteínas em células dos cotilédones em sementes de soja após períodos de armazenamentos, em diferentes ambientes, as proteínas extravasaram-se pelas células através da desestruturação e dos colapsos das células após período de 180 dias (RODRIGUES, 2020). Portanto, o efeito da alta temperatura e da umidade pode alterar a estrutura da célula e diminuir o conteúdo proteico da reserva da semente. Durante o processo de deterioração das sementes, ocorre decréscimo no teor e na síntese de proteínas totais e solúveis, associado a um acréscimo no teor de aminoácidos, em consequência da desnaturação provocada por altas temperaturas (MARCOS FILHO, 2015).

Com base na observação dos cortes transversais dos cotilédones externo e interno em semente de canola, neste estudo eles foram corados positivamente pelo corante Sudan IV (Figura 7). Tanto no cotilédone externo como no interno, não foram verificadas diferenças marcantes quanto à presença de gotículas lipídicas entre sementes não envelhecidas e após envelhecimento no período de 24 horas em solução de KCl (Figura 7 B, C, F, G), o que indica que essa reserva se manteve constante, mesmo sob condições de estresse. Por outro lado, no tratamento com o método tradicional (100% UR) por 96 horas, observou-se leve alteração no formato e na disposição das células, mas com evidente redução na quantidade de gotículas

lipídicas coradas, indicando redução na produção de lipídeos (Figura 7 D, H). HU et al. (2013) descreveram elevada proporção de organelas de gotículas lipídicas para área celular em todos os tipos de células, incluindo células dos cotilédones, radículas e células aleuronas em sementes de canola, devendo-se ressaltar que cerca de 80 a 90% do óleo da semente vem dos cotilédones. Já para Verboven et al. (2013), a acumulação de lipídios nos cotilédones apresentou níveis de lipídios muito mais elevados do que no hipocótilo/radícula, o que corrobora os resultados obtidos no presente trabalho, em que foi possível detectar gotículas lipídicas nos cotilédones externo e interno.

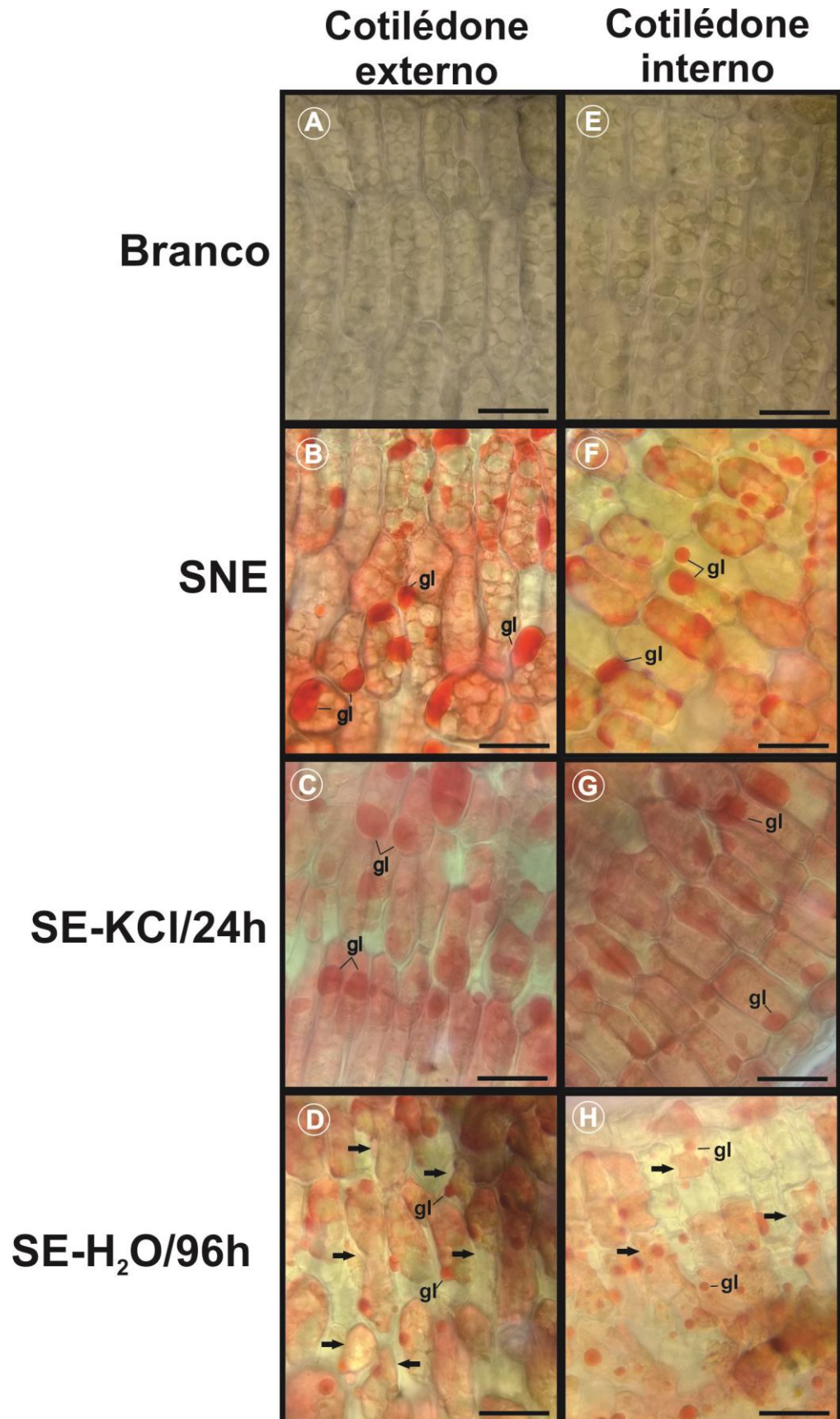


Figura 7 – Seções transversais de semente de canola corada com Sudan IV. A= cotilédone externo sem coloração (branco), B= cotilédone externo de sementes não envelhecidas (SNE),

C= cotilédone externo de sementes envelhecidas KCl/24 h (SE-KCl/24 h), D= cotilédone externo de sementes envelhecidas H₂O/96 h (SE-H₂O/96h), E= cotilédone interno sem coloração (branco), F= cotilédone interno de sementes não envelhecidas (SNE), G= cotilédone interno de sementes envelhecidas KCl/24 h (SE-KCl/24 h) e H= cotilédone interno de sementes envelhecidas H₂O/96 h (SE-H₂O/96 h). Setas pretas indicam alteração na estrutura celular. gl= gotícula lipídica. Barra: 15 µm.

As sementes requerem acúmulo de compostos na região do cotilédone, armazenados principalmente na forma de carboidratos, lipídios e proteínas, que são comumente degradados no processo de germinação (SUDA; GIORGINI, 2000). As sementes acumulam lipídios para suprir as necessidades energéticas para o crescimento das plântulas após a germinação (GIL; MIRANDA, 2011). Danos celulares podem comprometer o acúmulo de compostos nas sementes, como os lipídios e os carboidratos, que são geralmente consumidos durante a germinação e têm papéis fundamentais nesse processo (HAN et al., 2017). O envelhecimento artificial das sementes resulta em aumento da peroxidação lipídica, o que leva à diminuição do conteúdo de lipídios nas sementes (FARAHANI; MOAVENI; MAROUFI, 2011).

Altas temperaturas e umidade contribuem para um rápido processo de deterioração das sementes, principalmente por promoverem alterações degenerativas como a desestabilização nas atividades de enzimas e a desestruturação e perda de integridade dos sistemas de membranas celulares, causadas pela peroxidação de lipídios, devido ao aumento das espécies reativas do oxigênio (MARCOS FILHO, 2015; VIEIRA et al., 1994). A suscetibilidade das sementes ao estresse durante o envelhecimento pode ser correlacionada com a qualidade da semente. Segundo Delouche (2002), os danos às membranas celulares são os eventos iniciais das alterações degenerativas nas sementes.

A grande quantidade de lipídios nos cotilédones externo e interno, associada à presença de proteínas em ambas as estruturas, demonstra que essas são fontes de reserva nutricionais para o desenvolvimento do processo germinativo e posterior crescimento da plântula de canola, assim como os carboidratos solúveis e estruturais, não quantificados neste estudo.

4 CONCLUSÕES

O teste de envelhecimento acelerado conduzido com solução saturada de KCl (87% UR) realizado a 41°C, por 24 horas, é eficiente para avaliar o vigor de semente de canola.

No teste de envelhecimento acelerado com solução saturada de KCl (87% UR) por 24 horas, a presença de corpos proteicos e de gotículas lipídicas se manteve constante, o que indica que essas reservas, mesmo sobre condições de estresse, não foram afetadas, de onde pode-se concluir que as estruturas celulares e os compostos de reservas permanecem intactos e funcionais.

No teste de envelhecimento acelerado pelo método tradicional (100% UR) por 96 horas, as células apresentaram um desarranjo, com espaços intercelulares. Em relação aos compostos de reservas, constatou-se redução na quantidade de corpos proteicos e de gotículas lipídicas, provocada pela exposição a elevadas temperaturas e umidade relativa.

REFERÊNCIAS

- ANASTÁCIO FERREIRA, R. et al. Morfologia de frutos, sementes, plântulas e plantas jovens de *Dimorphandra mollis* Benth. - faveira (Leguminosae-Caesalpinioideae). **Brazilian Journal of Botany**, v. 24, n. 3, p. 303–309, set. 2001.
- APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. Anatomia Vegetal. **Editora UFV**, v. 2ª edição, p. 489, 2006.
- ARAÚJO, J. DE O. et al. Accelerated aging test and antioxidant enzyme activity to assess chickpea seed vigor. **Journal of Seed Science**, v. 43, p. 2021, 3 dez. 2021.
- AVILA, M. R. et al. **Adubação potássica em canola e seu efeito no rendimento e na qualidade fisiológica e sanitária das sementes** - DOI: 10.4025/actasciagron.v26i4.1822. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, n. 4, p. 475–482, 11 abr. 2008.
- ÁVILA, M. R. et al. Testes de laboratório em sementes de canola e a correlação com a emergência das plântulas em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 27, n. 1, p. 62–70, jun. 2005.
- ÁVILA, W. et al. Influência do tamanho da semente na produtividade de variedades de soja. **Agrarian**, v. 1, n. 2, p. 83–89, 18 jun. 2009.
- BARBOSA, C. Z. DOS R. et al. Qualidade de sementes de soja BRS Tracajá, colhidas em Roraima em função do tamanho no armazenamento. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 73–80, 2010.
- BARBOSA, R. M. et al. Discriminação de lotes de sementes de soja por meio de técnicas exploratórias multivariadas. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 3, p. 302–310, 2013.
- BOCIANOWSKI, J.; LIERSCH, A. Multidimensional Analysis of Diversity in Genotypes of Winter Oilseed Rape (*Brassica napus* L.). **Agronomy 2022, Vol. 12, Page 633**, v. 12, n. 3, p. 633, 4 mar. 2022.
- BORISJUK, L. et al. Seed architecture shapes embryo metabolism in oilseed rape. **Plant Cell**, v. 25, n. 5, p. 1625–1640, 2013.
- BORTOLOTTO, R. P. et al. Teor de proteína e qualidade fisiológica de sementes de arroz. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 513–520, 2008.
- BRASIL. **REGRAS PARA ANÁLISE DE SEMENTES**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2022.
- CARLOS, A. et al. ENVELHECIMENTO ACELERADO EM SEMENTES DE BRÓCOLIS (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck) ACCELERATED AGING OF BROCCOLI SEEDS (*Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck). **Original Article Biosci. J**, n. 2, p. 173–179, 2012.
- CECICHELE, V. et al. RENDIMENTO DE GRÃOS E PESO DE MIL SEMENTES DE CANOLA, COLHIDA EM PROCESSO DE ALEIRAMENTO E POR COLHEITA DIRETA. **Embrapa Trigo-Resumo em anais de congresso (ALICE). In: MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 12.; MOSTRA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA TRIGO**, 2017.

CICERO, S.M; VIEIRA,R,D. Testes de Frio. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.) **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, cap.6, p.270-300, 2020.

COELHO, M. V. et al. Teste de frio na determinação do vigor das sementes de *Carthamus tinctorius* L. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 16, n. 4, p. 1–8, 5 out. 2021.

COIMBRA, R. DE A. et al. Testes de vigor utilizados na avaliação da qualidade fisiológica de lotes de sementes de milho-doce (sh2). **Ciência Rural**, v. 39, n. 9, p. 2402–2408, 2009.

COLLINS, M. E.; OVALLES, F. A. Variability of Northwest Florida Soils by Principal Component Analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, n. 5, p. 1430–1435, 1 set. 1988.

CORTELAZZO, A. L.; COUTINHO, J.; GRANJEIRO, P. A. STORAGE AND AGEING OF FRENCH BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.): EFFECT ON SEED VIABILITY AND VIGOR*. **Braz. J. morphol. Sci**, v. 22, n. 2, p. 121–128, 2005.

COSTA, C. J.; TRZECIAK, M. B.; VILLELA, F. A. Potencial fisiológico de sementes de brássicas com ênfase no teste de envelhecimento acelerado Caroline. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 114–148, 2008.

COSTA, D. S.; NOVENBRE, A. D. D. L. C. Análise multivariada para expressão de resultados de potencial fisiológico de sementes de arroz. **Agrarian**, v. 12, n. 45, p. 418–424, 12 out. 2019.

COSTA, L. G. DA; SILVA, A. G. DA; GOMES, D. R. Morfologia de frutos, sementes e plântulas, e anatomia das sementes de sombreiro (*Clitoria fairchildiana*). **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 57, n. 4, p. 414–421, 2014.

DA SILVA, M. A. D.; VIEIRA, R. D.; DOS SANTOS, J. M. Influência do envelhecimento acelerado na anatomia da testa de sementes de soja, cv. Monsoy 8400. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 2, p. 91–99, 2008.

DE ABREU, G. T. et al. Características físicas e estrutura de sementes e morfologia de plântulas de *Flemingia macrophylla* (Willd.) Alston. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 4, p. 658–664, 2012.

DE FREITAS, R. M. O. et al. Accelerated aging of arugula seeds. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 4, 2018.

DE OLIVEIRA, A. B. et al. Avaliação citoquímica durante a germinação de sementes de sorgo envelhecidas artificialmente e osmocondicionadas, sob salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 223–231, 2011.

DOURADO, W. D. S. TESTE DE ENVELHECIMENTO ACELERADO EM SEMENTES DE ERVILHA FORRAGEIRA. **Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, Campus de Botucatu**, 2012.

DOURADO, W. DE SOUZA et al. ENVELHECIMENTO ACELERADO COM SOLUÇÕES SALINAS PARA AVALIAÇÃO DO VIGOR DE SEMENTES DE FEIJÃO CAUPI. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 1274, 2013.

FARAHANI, H. A.; MOAVENI, P.; MAROUFI, K. **Effect of hydropriming on germination percentage in sunflower (*Helianthus annuus* L.) Cultivars - Document - Gale Academic OneFile**. Disponível em:

<<https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA267421993&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=19950756&p=AONE&sw=w&userGroupName=anon~bfdd8c64>>.

Acesso em: 7 maio. 2022.

FERNANDEZ, L. G.; JESUS, T. S. R.; SANTOS, P. C. *Ricinus communis* L.: sementes, envelhecimento e estresse oxidativo. **Syria Studies**, v. 7, n. 1, p. 144, 2021.

FRANÇA NETO, J. DE B. et al. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade. **Informativo Abrates**, v. 20, n. 3, p. 26–32, 2010.

GARCIA, L. C.; NOGUEIRA, A. C.; ALQUINI, Y. Aspectos morfo-anatômicos de sementes de *Podocarpus lambertii* Klotz. e *Podocarpus sellowii* Klotz. - Podocarpaceae. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 129–134, dez. 2006.

GIL, A. I.; MIRANDA, D. Aspectos anatómicos de la semilla de papaya (*Carica papaya* L.). **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 2, n. 2, p. 145–156, 2011.

GONÇALVES, C. et al. Canola Panorama atual e tecnologias de produção no Brasil. **Embrapa**, v. Doc.40, n. 2177–4439, p. 72, 2022.

GROOT, E. P.; CAESELE, L. A. VAN. The development of the aleurone layer in canola (*Brassica napus*) . **Canadian Journal of Botany**, v. 71, n. 9, p. 1193–1201, 1993.

GUPTA, A.; PUNIA, R. C.; DHAIYA, O. S. Seed ageing and deterioration during storage of pearl millet hybrid along with their parental line. 2017.

HAN, C. et al. Comparative metabolome analysis of wheat embryo and endosperm reveals the dynamic changes of metabolites during seed germination. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 115, p. 320–327, 1 jun. 2017.

HU, Z. Y. et al. Seed Structure Characteristics to Form Ultrahigh Oil Content in Rapeseed. **PLoS ONE**, v. 8, n. 4, p. 2–11, 2013.

JIANHUA, Z. ; MCDONALD, M. . **The saturated salt accelerated aging test for small-seeded crops**. Disponível em: <<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CH9700211>>. Acesso em: 27 abr. 2022.

JOLLIFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 374, n. 2065, 13 abr. 2016.

LEEKES, C. F. R. et al. Control of fungal contamination in the accelerated ageing test of *Brassica* spp. **Seed Science and Technology**, v. 35, n. 2, p. 380–386, 2007.

LIMA, J. S. S. et al. Qualidade fisiológica de sementes de feijão produzidas em solo compactado. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 2, p. 96–101, 2002.

LOUREIRO, M. B. et al. Caracterização morfoanatômica e fisiológica de sementes e plântulas de *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae). **Revista Arvore**, v. 37, n. 6, p. 1093–1101, 2013.

LÚCIO, A. D. et al. Abordagem multivariada em análise de sementes de espécies florestais exóticas. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 27–37, 2006.

MACHADO, C. G. et al. Discrimination of forage pea seed lots by means of multivariate techniques. **Científica**, v. 47, n. 3, p. 321–326, 9 set. 2019.

MAYER, A. M.; A.POLJAKOFF-MAYBER. **The Germination of Seeds: Pergamon International Library of Science ... - A. M. Mayer, A. Poljakoff-Mayber - Google Livros**. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=Aqk5AwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=MAYER,+A.M.+e+A.+POLJAKOFF-MAYBER.+1975.+The+Germination+of+Seeds,+2nd+ed.+Pergamon+Press,+New+York&ots=1qEVg4T_Dd&sig=YnlKvmpVe89No8QQnWilxI3XRRA#v=onepage&q=MAYER%2CA.M.+A.POLJAKOFF-MAYBER.1975.TheGerminationofSeeds%2C2nded.PergamonPress%2CNewYork&f=false>. Acesso em: 5 jul. 2022.

MEDINA, A. B. P. et al. Resposta fisiológica de *Triticum aestivum* em sementes tratadas com complexo nutricional / Physiological response of *Triticum aestivum* in seeds treated with nutritional complex. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 12, p. 112984–112997, 2021.

MENDES, A. M. D. S.; MENDONÇA, M. S. DE. Análise Anatômica E Histoquímica De Sementes Maduras De *Eugenia Stipitata* Ssp. *Sororia* Mc Vaugh (Araçá-Boi) - Myrtaceae / Anatomical and Histochemical Analysis of Mature Seeds of *Eugenia Stipitata* Ssp. *Sororia* Mc Vaugh (Araçá-Boi) - Myrtaceae. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 77510–77522, 2020.

MORAIS, C. S. B. DE; ROSSETTO, C. A. V. Testes de deterioração controlada e envelhecimento acelerado para avaliação do vigor em nabo forrageiro. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, n. 4, p. 703–713, 2013.

MUNARETO, J. D. et al. Adaptação do Teste de Envelhecimento Acelerado em Sementes de Quinoa. **Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 25, n. 5- esp, p. 564–569, 2021.

OLIVEIRA, A. B. DE et al. Avaliação citoquímica durante a germinação de sementes de sorgo envelhecidas artificialmente e osmocondicionadas , sob salinidade 1 Cytochemical evaluation during the germination of artificial aged and primed sorghum seeds under salinity. p. 223–231, 2011.

PEREIRA LIMA, J. J. et al. ACCELERATED AGING AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY TESTS IN CRAMBE SEEDS. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, n. 1, p. 7–14, 1 jan. 2015.

PONTES, C. A. et al. Influência da temperatura de armazenamento na qualidade das sementes de *Caesalpinia peltophoroides* Benth. (sibipiruna). **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 43–48, 2006.

RAMOS, N. P. et al. ENVELHECIMENTO ACELERADO EM SEMENTES DE RÚCULA (*Eruca sativa* L.) 1. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 26, p. 98–103, 2004.

REN, C.; BEWLEY, J. D. Seed development, testa structure and precocious germination of Chinese cabbage (*Brassica rapa* subsp. *pekinensis*). **Seed Science Research**, v. 8, n. 3, p.

385–398, 1998.

RIBEIRO, F. C.; CARVALHO, N. M. DE. **The saturated salt accelerated ageing (SSAA) method seems to act too leniently on carrot (*Daucus carota* L.) lettuce (*Lactuca sativa* L.), and brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck) seeds germination.** Disponível em: <<http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=SERAMZ.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=037163>>. Acesso em: 27 abr. 2022.

ROBBELEN, G.; W, T. VARIATION IN RAPESEED GLUCOSINOLATES AND BREEDING FOR IMPROVED MEAL QUALITY. **VARIATION IN RAPESEED GLUCOSINOLATES AND BREEDING FOR IMPROVED MEAL QUALITY**, v. PP. 285-299; BIBL. ..., 1980.

RODO, A. B.; PANOBIANCO, M.; MARCOS FILHO, J. Metodologia alternativa do teste de envelhecimento acelerado para sementes de cenoura. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 2, p. 289–292, 2000.

RODRIGUES, A. A. et al. Tolerance of *Eugenia dysenterica* to Aluminum: Germination and Plant Growth. **Plants** **2019**, Vol. 8, Page 317, v. 8, n. 9, p. 317, 31 ago. 2019.

RODRIGUES, P. C. L. QUALIDADE FISIOLÓGICA E CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA DE SEMENTES DE *Glycine max* L. Merrill DURANTE O ARMAZENAMENTO. **Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde**, v. 1, n. 69, 2020.

ROSSETTI, C. et al. Sanitary standards in seeds. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 7, p. e4711726719–e4711726719, 15 maio 2022.

SILVA, G. Z. et al. Multivariate analysis and vigor tests to determine the quality of *Brachiaria decumbens* seeds. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 50, n. 2, p. 291–299, 2019a.

SILVA, G. Z. et al. Multivariate analysis and vigor tests to determine the quality of *Brachiaria decumbens* seeds. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 50, n. 2, p. 291–299, 2019b.

SUDA, C. N. K.; GIORGINI, J. F. Seed reserve composition and mobilization during germination and initial seedling development of *euphorbia heterophylla*. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 12, n. 3, p. 226–244, 2000.

TEODORO, M. S.; PEREIRA, A. M. L. Aproveitamento de resíduos de pescado na confecção de composto orgânico para produção de mudas de alface. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 441–449, 19 jul. 2021.

TOMM, G. O. et al. Panorama atual e indicações para aumento de eficiência da produção de canola no Brasil. **Documentos online**, v. 118, p. 27, 2009.

TORRES, S. B. Teste de deterioração controlada em sementes de maxixe. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 2, p. 307–310, jun. 2005.

TORRES, S. B.; MARCOS FILHO, J. Accelerated aging of melon seeds. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 1, p. 77–82, 2003a.

TORRES, S. B.; MARCOS FILHO, J. Envelhecimento acelerado em sementes de melão.

Scientia Agricola, v. 60, n. 1, p. 77–82, 2003b.

TUNES, L. M. et al. Envelhecimento acelerado modificado para sementes de coentro (*Coriandrum sativum* L.) e sua correlação com outros testes de vigor. **Revista Brasileira de Biociências**, p. 12–17, 2011.

VAUGHAN, J. G.; WHITEHOUSE, J. M. Seed structure and the taxonomy of the Cruciferae. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 64, n. 4, p. 383–409, 1 out. 1971.

VAZQUEZ, G. H.; BERTOLIN, D. C.; SPEGIORIN, C. N. Testes de envelhecimento acelerado e de condutividade elétrica para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, n. 1, p. 18–24, 2 mar. 2011.

VERBOVEN, P. et al. Void space inside the developing seed of *Brassica napus* and the modelling of its function. **New Phytologist**, v. 199, n. 4, p. 936–947, 2013.

WESTERN, T. L. et al. Isolation and Characterization of Mutants Defective in Seed Coat Mucilage Secretory Cell Development in *Arabidopsis* 1. 2001.

ZHANG, Y. et al. Multi-omics analysis dissects the genetic architecture of seed coat content in *Brassica napus*. **Genome Biology**, v. 23, n. 1, p. 1–22, 1 dez. 2022.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no presente trabalho mostram que, de maneira geral, os testes de vigor, deterioração controlada e de envelhecimento acelerado, mais as análises anatômica e histoquímica, possibilitaram detectar diferenças na qualidade fisiológica dos lotes de sementes de canola analisadas, tendo esse fato sido observado para os dois híbridos estudados.

O teste de deterioração controlada realizado à temperatura de 45 °C com o grau de umidade a 18% proporcionou uma relação estreita com os testes da caracterização inicial do lote na avaliação da qualidade fisiológica da semente. No entanto, apenas o tratamento de 45 °C com umidade a 18% apresentou resultados que se correlacionaram com os de germinação e emergência, consequentemente considerado o mais adequado, devido à sua praticidade e eficácia na avaliação da qualidade fisiológica do lote de sementes de canola.

Deve-se destacar que houve queda na porcentagem de germinação com o aumento do grau de umidade, principalmente com a umidade da semente a 22%. Conclui-se, assim, que a exposição das sementes à alta temperatura e umidade resultam na queda do desempenho germinativo, o que pode levar a uma possível deterioração das sementes.

O teste de envelhecimento acelerado pelo método com a solução de KCl (87% UR) no período de 24 horas possibilitou uma correlação com os testes de germinação, primeira contagem, emergência e emergência inicial e com o teste de frio, que avaliam a qualidade fisiológica das sementes. Além de ter se mostrado eficaz na avaliação da qualidade fisiológica das sementes em relação à classificação dos lotes quanto ao vigor, ele revelou ser um teste fácil e de simples execução.

Deve-se ressaltar que o teste de envelhecimento acelerado pelo método tradicional (100% UR) promoveu uma redução mais drástica na germinação de sementes de canola. No período de 96 horas, houve uma redução mais acentuada na porcentagem de plântulas normais de sementes de canola em todos os lotes, portanto esses foram considerados o período e a solução mais drásticos do teste. Esse efeito se deve ao alto teor de água durante o período de exposição da semente ao envelhecimento.

As análises anatômica e histoquímica permitiram observar com muita clareza a constituição da semente de canola e a presença dos compostos de proteínas e lipídios. Após o período de envelhecimento das sementes, foi possível observar efeitos como o aumento dos espaços intercelulares e leves alterações no formato e na disposição das células, mas com evidente redução na quantidade de corpos proteicos e gotículas lipídicas, principalmente pelo método tradicional (100% UR) no período de 96 horas.

As sementes não envelhecidas e as sementes que passaram pelo tratamento do teste de envelhecimento acelerado na solução saturada de KCl (87% UR) no período de 24 horas não apresentaram mudanças significativas na sua constituição e nos seus compostos de reservas. Esse fato confirma que o teste de envelhecimento acelerado com o uso da solução de KCL (87% UR) ao período de 24 horas não acarreta danos na constituição e nos compostos de reservas das sementes, nem na sua porcentagem de germinação, portanto pode-se concluir que ele é eficiente para avaliar a qualidade fisiológica dos lotes de sementes de canola.

A confirmação de desestruturação de membranas das células de sementes de canola não é possível apenas utilizando as análises anatômica e histoquímica, sendo necessário, também, realizar uma análise da anatomia de transmissão, o que seria de grande importância para estudos futuros.

Pode-se afirmar que o uso de técnicas de análise multivariada na área de tecnologia de sementes gera resultados satisfatórios e contribui para a eliminação da subjetividade do avaliador.

Diante do exposto, conclui-se que os resultados obtidos neste estudo são promissores para serem usados em laboratórios de análises de sementes.

