

Desempenho de sementes de cevada tratadas sob períodos curtos de armazenamento

Performance of treated barley seeds under short storage periods

Rendimiento de las semillas de cebada tratadas en periodos cortos de almacenamiento

Recebido: 11/06/2024 | Revisado: 20/06/2024 | Aceitado: 21/06/2024 | Publicado: 24/06/2024

Cariane Pedroso da Rosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5597-4123>

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

E-mail: cariane94@hotmail.com

Angelita Celente Martins

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8164-3731>

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

E-mail: angel.celente10@gmail.com

Benhur Schwartz Barbosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8265-4598>

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

E-mail: benhur97sb@gmail.com

Jessica Mengue Rolim

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2737-7599>

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

E-mail: eng.jessicarolim@gmail.com

Jader Tomaschewski Waskow

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4769-0233>

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

E-mail: jader.t.w@hotmail.com

Emanuela Garbin Martinazzo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1663-6460>

Universidade Federal do Rio Grande, Brasil

E-mail: emartinazzo@gmail.com

Tiago Pedó

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4327-8021>

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

E-mail: tiago.pedo@gmail.com

Tiago Zanatta Aumonde

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4790-8270>

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

E-mail: tiago.aumonde@gmail.com

Resumo

O objetivo do trabalho foi verificar o desempenho fisiológico e bioquímico de sementes de cevada tratadas e armazenadas por curtos períodos de período. Foram utilizadas as cultivares BRS Cauê e BRS Rubi, a testemunha e os tratamentos de sementes Fipronil BRT 250 FS, Baytan FS, Certeza N, Cruiser Opti e Standak Top e os tempos de armazenamento de 0, 7, 14, 21 e 28 dias, sendo um experimento trifatorial (2x6x5), no delineamento inteiramente casualizado. Foram avaliadas a germinação, o comprimento e a massa seca de parte aérea e de raiz, a atividade antioxidante enzimática de SOD, CAT e APX, a peroxidação lipídica, quantificação de peróxido de hidrogênio e o teor dos açúcares solúveis totais. A cultivar BRS Rubi foi mais sensível quanto a qualidade fisiológica para os tratamentos de sementes utilizados, principalmente Baytan, e ao longo dos períodos de armazenamento. Já o desempenho bioquímico foi afetado pelo tratamento Standak Top para a cultivar BRS Cauê, diminuindo a atividade antioxidante, aumentando a peroxidação lipídica e a quantidade de peróxido de hidrogênio. O armazenamento de sementes de cevada tratadas por curto período de período alterou o desempenho fisiológico e bioquímico das sementes. A cultivar BRS Rubi se apresenta mais sensível aos tratamentos de semente empregados e aos períodos de armazenamento quanto a germinação. O tratamento químico pode reduzir a germinação, comprimento de parte aérea e raiz e modificar negativamente a resposta enzimática da SOD, CAT e APX. O tratamento das sementes em até 14 dias pode contribuir para uma semeadura mais segura.

Palavras-chave: *Hordeum vulgare*; Germinação; Sistema antioxidante.

Abstract

The objective of the work was to verify the physiological and biochemical performance of barley seeds treated and stored for short periods of time. The cultivars BRS Cauê and BRS Rubi were used, the control and seed treatments

Fipronil BRT 250 FS, Baytan FS, Certeza N, Cruiser Opti and Standak Top and storage times of 0, 7, 14, 21 and 28 days, being a three-factorial experiment (2x6x5), in a completely randomized design. Germination, length and dry mass of shoots and roots, enzymatic antioxidant activity of SOD, CAT and APX, lipid peroxidation, quantification of hydrogen peroxide and total soluble sugar content were evaluated. The BRS Rubi cultivar was more sensitive in terms of physiological quality to the seed treatments used, mainly Baytan, and across storage periods. The biochemical performance was affected by the Standak Top treatment for the BRS Cauê cultivar, reducing antioxidant activity, increasing lipid peroxidation and the amount of hydrogen peroxide. Storage of treated barley seeds for a short period of time altered the physiological and biochemical performance of the seeds. The BRS Rubi cultivar is more sensitive to the seed treatments used and storage periods regarding germination. Chemical treatment can reduce germination, shoot and root length and negatively modify the enzymatic response of SOD, CAT and APX. Seed treatment within 14 days can contribute to safer sowing.

Keywords: *Hordeum vulgare*; Germination; Antioxidant system.

Resumen

El objetivo del trabajo fue verificar el comportamiento fisiológico y bioquímico de semillas de cebada tratadas y almacenadas por cortos períodos de tiempo. Se utilizaron los cultivares BRS Cauê y BRS Rubi, los tratamientos testigo y de semilla Fipronil BRT 250 FS, Baytan FS, Certeza N, Cruiser Opti y Standak Top y tiempos de almacenamiento de 0, 7, 14, 21 y 28 días, siendo un tres- experimento factorial (2x6x5), en un diseño completamente al azar. Se evaluó la germinación, longitud y masa seca de brotes y raíces, actividad antioxidante enzimática de SOD, CAT y APX, peroxidación lipídica, cuantificación de peróxido de hidrógeno y contenido de azúcares solubles totales. El cultivar BRS Rubi fue más sensible en términos de calidad fisiológica a los tratamientos de semillas utilizados, principalmente Baytan, y a través de los períodos de almacenamiento. El desempeño bioquímico fue afectado por el tratamiento Standak Top para el cultivar BRS Cauê, reduciendo la actividad antioxidante, aumentando la peroxidación lipídica y la cantidad de peróxido de hidrógeno. El almacenamiento de semillas de cebada tratadas durante un corto período de tiempo alteró el desempeño fisiológico y bioquímico de las semillas. El cultivar BRS Rubi es más sensible a los tratamientos de semillas utilizados y a los períodos de almacenamiento en cuanto a germinación. El tratamiento químico puede reducir la germinación, la longitud de los brotes y las raíces y modificar negativamente la respuesta enzimática de SOD, CAT y APX. El tratamiento de las semillas dentro de los 14 días puede contribuir a una siembra más segura.

Palabras clave: *Hordeum vulgare*; Germinación; Sistema antioxidante.

1. Introdução

A cevada (*Hordeum vulgare*) é o quarto cereal mais produzido no mundo, com 142.224 mil toneladas no ano de 2023 (USDA, 2024). Os principais produtores estão na União Europeia, onde é produzido 47,5 milhões de toneladas desse produto (Shahbandeh, 2024).

O Brasil ocupa o 24º lugar na produção de cevada mundo (USDA, 2024), sendo que a produção desse cereal é de 391,0 mil toneladas, divididos em 134,5 mil ha, com produtividade de 2.907 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2024). A região produtora de cevada é a Sul, sendo que o montante de área é distribuído entre os três estados que compõe essa região (Bueno et al., 2020).

O tratamento químico das sementes é uma forma de protegê-las de agentes patógenos e insetos que possam impedir o seu desenvolvimento de forma satisfatória, reduzindo a mortalidade de sementes, plântulas e plantas (Lacerda et al., 2021). Entretanto, o tratamento de sementes pode gerar resíduos que provocam uma série de problemáticas para o desenvolvimento das plântulas oriundas dessas sementes, afetando seu metabolismo (Shakir et al., 2016).

Além disso, precisa haver a manutenção da qualidade, já que essas sementes precisam ficar armazenadas de uma estação de cultivo para outra. Um dos aspectos que devem ser observados durante o armazenamento das sementes é a desaceleração do metabolismo (De Vitis et al., 2020), a fim de diminuir os efeitos deletérios que ocorrem com o avanço da idade da semente.

Durante o envelhecimento das sementes, acontece o acúmulo de espécies reativas de oxigênio o que prejudica a germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas devido a ocorrência de estresse oxidativo (Adetunji et al., 2021). Dentro do grupo de EROs está o peróxido de hidrogênio (H₂O₂), o ânion superóxido (O₂⁻), a radical hidroxila (•OH) e o oxigênio singlete (¹O₂), que são naturalmente formados durante a respiração das plantas, coexistem e podem se converter entre uma

forma e outra, mas quando em excesso podem causar danos às sementes, como a peroxidação lipídica (Wojtyla et al., 2016; Kurek et al., 2019).

É necessário que se tenha um eficiente sistema antioxidante, que elimine as espécies reativas de oxigênio que são formadas ao longo do envelhecimento (Sahu et al., 2017). Esse sistema é formado por uma parte não enzimática e outra parte enzimática, da qual fazem parte as enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX), sendo que elas atuam de forma conjunta no combate aos EROs (Shvachko & Khlestkina, 2020; Begum et al., 2022).

A SOD é considerada umas das primeiras linhas de defesa do sistema antioxidante das células, promovendo a transmutação do superóxido em peróxido de hidrogênio (Devi & Giridhar, 2015; Gill et al., 2015). A catalase e ascorbato peroxidase são as duas enzimas responsáveis por transformar o peróxido de hidrogênio em água, sendo que a catalase se mostra mais eficiente nesse processo, já que ocorre em maior quantidade nas células (Gill et al., 2015; Sofo et al., 2015).

Assim, o objetivo deste trabalho é verificar o desempenho fisiológico e bioquímico de sementes de cevada tratadas e armazenadas por curtos períodos de período.

2. Metodologia

O experimento foi conduzido no Laboratório de Biosementes, do Departamento de Fitotecnia – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel – Universidade Federal de Pelotas. Foram utilizadas as cultivares BRS Cauê e BRS Rubi e os tratamentos de sementes: controle (ausência de tratamento de sementes=TS0), Fipronil BRT 250 FS (i.a. = Fipronil = TS1), Baytan FS (i.a. = Triadimenol= TS2), Certeza N (i.a. = Fluazinam + Tiram= TS3), Cruiser Opti (i.a. = LambdaCialotrina + Tiametoxam = TS4) e Standak Top (i. a. = Fipronil + Piraclostrobina + Tiofanato-Metílico = TS5). As sementes foram tratadas e armazenadas em sacos de papel, permanecendo em ambiente não controlado por 0, 7, 14, 21, e 28

O experimento foi trifatorial 2x6x5, sendo duas cultivares, seis tratamentos de sementes e cinco períodos de armazenamento.

O tratamento de sementes foi realizado com as dosagens de: Fipronil BRT FS=0,15 mL/100g de semente; Baytan FS=0,27 mL/100g de sementes; Certeza N = 0,2 mL/100g de sementes; Cruiser Opti=0,25 mL/100g de sementes; Standak Top a dose utilizada foi de 0,2 mL/100g de sementes. Os 100g de semente foram colocados em saco plástico, onde os produtos foram depositados com auxílio de seringas hipodérmicas. Procedeu-se a homogeneização do produto com as sementes.

As análises realizadas foram:

Germinação: foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes cada, dispostas entre três folhas de papel germitest, umedecidas com 2,5 vezes o peso do papel seco, mantidas em B.O.D. na temperatura de 20°C, com luz constante. As contagens foram realizadas aos sete dias após semeadura e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (Brasil, 2009).

Comprimento de parte aérea e raiz: 20 sementes, repetidas quatro vezes, foram colocadas no terço superior do papel germitest umedecido com 2,5 vezes o peso do papel e mantido por sete dias a uma temperatura de 20°C, com resultados expressos em centímetro (Nakagawa, 1994).

Massa de parte aérea e raiz: foram utilizadas 10 plântulas dívida em parte aérea e raiz, acondicionadas em sacos de papel, mantidas em estufa com circulação de ar forçado regulada a 70°C até massa constante. Após esse período os sacos foram pesados e o resultado foi expresso em gramas (Nakagawa, 1994).

Enzimas antioxidantes: o sistema enzimático antioxidante foi avaliado através da atividade específica das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX). Para isso, as amostras (250 mg – 275 mg) foram

maceradas com auxílio de nitrogênio líquido (N₂) e polivinilpolipirrolidona (10 %). Foram homogeneizados em 1,5 mL para as amostras da temperatura de 20°C e 1,7 mL para as amostras na temperatura de 30°C com tampão de extração fosfato de potássio 100 mM pH 7,8, contendo EDTA 0,1 mM e 33 ácido ascórbico 10 mM. O homogeneizado foi centrifugado a 13.000 g, por 20 minutos, a 4 °C e o sobrenadante, coletado para determinação da atividade das enzimas.

Superóxido dismutase (EC 1.15.1.1): foi avaliada pela capacidade da enzima em inibir a fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT), seguindo a metodologia proposta por Giannopoulos e Ries, 1977. Os resultados foram expressos em (Umg⁻¹ de proteína).

Catalase (EC 1.11.1.6): foi quantificada como descrito por Azevedo et al. (1998), com base no consumo de H₂O₂ (coeficiente de extração 39,4 mM cm⁻¹). Os resultados foram expressos em μmol H₂O₂ min⁻¹.mg⁻¹ de proteína.

Ascorbato peroxidase (EC 1.11.1.11): foi determinada segundo Nakano e Asada (1981), monitorando-se a taxa de oxidação do ascorbato (ASA), a 290 nm. Os resultados foram expressos em μmol ASA min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

Peroxidação lipídica e peróxido de hidrogênio (H₂O₂): foram determinados em 250-275 mg de matéria fresca. A quantificação do peróxido de hidrogênio foi determinada de acordo com Velikova et al. (2000). Os resultados foram expressos em μmol de H₂O₂ g⁻¹ MF. A peroxidação lipídica foi determinada por meio da quantificação de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBA), conforme descrito por Cakmak e Horst (1991). A peroxidação lipídica foi expressa em μmol de MDA-TBA g⁻¹ MF.

Teores de açúcares solúveis totais (AST): foram realizadas conforme Grahmam e Smydzuk (1965). O teor de açúcares solúveis totais foi expresso em mg.g⁻¹MF.

Os dados obtidos foram submetidos à análise da variância e, se significativos pelo teste F a nível 5% de probabilidade, submetidos a análise de médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

3. Resultados e Discussão

De acordo com a Tabela 1 pode-se observar que a interação tripla foi significativa para as variáveis germinação, comprimento de parte aérea, comprimento de raiz, atividade das enzimas catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD) e ascorbato peroxidase (APX) e peroxidação lipídica. Para as variáveis massa seca de parte aérea, peróxido de hidrogênio e açúcares solúveis totais somente a interação entre períodos de armazenamento e tratamentos de sementes foi significativa (Tabela 1). As interações entre períodos de armazenamento e tratamentos de sementes e períodos de armazenamento e cultivares foram significativas para a variável massa seca de raiz (Tabela 1).

Para a germinação, foi possível analisar que a cultivar BRS Rubi foi mais sensível (Tabela 2) ao se utilizar o tratamento de sementes Fipronil (TS1), Baytan (TS2) e Cruiser Opti (TS4), aos 28 dias de armazenamento, podendo se perceber uma diminuição na germinação as sementes nesse período. Tratamentos de sementes com ingrediente ativo do grupo dos triazóis como o Baytan, tendem a oferecer risco de toxidez para organismos não alvo, resultando assim em efeito fitotóxico para as plântulas de cevada, o que leva a uma redução da germinação (Roman et al., 2021). O efeito dessa toxidez pode ter sido potencializado com o passar dos dias em que as sementes ficaram em contato com esse tratamento, por isso resultando em uma diminuição mais notória da germinação quando as sementes foram testadas após 28 dias de armazenamento.

Tabela 1 - Resumo do quadro de análise de variância com os quadrados médios de germinação (G), comprimento de parte aérea (CPA) e de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e de raiz (MSPA), quantificação da atividade das enzimas, catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD) e ascorbato peroxidase (APX), de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), da peroxidação lipídica (PER) e dos açúcares solúveis totais de plântulas de cevada, Capão do Leão, 2024.

FV	GL	G	CPA	CR	MSPA	MSR
TA	4	44,2*	19,1*	9,9*	0,0*	0,0*
TS	5	27,4*	176,7*	44,6*	0,0*	0,0*
CV	1	74,8*	5,3 ^{ns}	65,6*	0,0*	0,0*
TAxTS	20	20,1*	3,5*	4,9*	0,0*	0,0*
TAxCV	4	28,6*	1,4 ^{ns}	7,8*	0,0 ^{ns}	0,0*
TSxCV	5	3,25 ^{ns}	1,2 ^{ns}	4,8*	0,0 ^{ns}	0,0 ^{ns}
TAxTSxCV	20	18,6*	3,3*	3,9*	0,0 ^{ns}	0,0 ^{ns}
erro	180	9,6	1,5	1,7	0,0	0,0
CV (%)		3,23	10,56	10,97	9,43	8,13

FV	GL	CAT	SOD	APX	H ₂ O ₂	PER	AST
TA	4	0,1*	128,9*	12,3*	2931,2*	9755,2*	85,6*
TS	5	0,0*	7,21*	0,94*	293,7*	946,1*	28,6*
CV	1	0,1*	14,3*	9,32*	439,9*	486,8 ^{ns}	43,1*
TAxTS	20	0,3*	14,6*	2,50*	580,8*	405,8*	50,6*
TAxCV	4	0,1*	2,3*	1,78*	130,1 ^{ns}	213,4 ^{ns}	8,9 ^{ns}
TSxCV	5	0,0 ^{ns}	2,5*	1,64*	64,4 ^{ns}	500,1 ^{ns}	11,9 ^{ns}
TAxTSxCV	20	0,1*	2,9*	1,17*	86,1 ^{ns}	421,3*	7,1 ^{ns}
erro	180	0,2	0,7	0,23	61,1	226,6	6,2
CV (%)		39,61	27,12	37,26	22,79	19,83	27,89

*Significativo pelo teste F a 0,05 de probabilidade. FV= fontes de variação, GL= graus de liberdade e ^{ns}= não significativo. Fonte: Autores (2024).

O tratamento de sementes com Fipronil e Cruiser Opti não causam redução na germinação quando elas são tratadas e logo em seguida são colocadas para germinar (Dan et al., 2010). Esse mesmo comportamento também foi observado no presente estudo, em que a germinação das sementes das duas cultivares utilizadas não foi afetada quando da utilização desse produto no período zero de armazenamento (Tabela 2). Entretanto, a permanência desse tratamento por 28 dias em contato com as sementes pode ter causado um potencial de fitotoxidez, fazendo com que a sua germinação diminuísse.

Tabela 2 – Desdobramento dos efeitos simples da interação tripla períodos de armazenamento x tratamento de semente x cultivar para a variável germinação, Capão do Leão, 2024.

Germinação (%)							
Cauê							
TA \ TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	
0	97 Aαα*	97 Abα	98 Aαα	99 Aαα	96 Aαα	97 Aαα	
7	97 Aαα	100 Aαα	94 Aαα	98 Aαα	97 Aαα	95 Aαα	
14	98 Aαα	95 Abα	95 Aαα	96 Aαα	96 Aαα	97 Aαα	
21	97 Aαα	95 Abα	94 Aαα	95 Aαα	93 Aαα	99 Aαα	
28	94 Aαα	95 Abα	95 Aαα	96 Aαα	98 Aαα	97 Aαα	

Rubi							
TA \ TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	
0	98 Aαα	97 Aαα	97 Aαα	98 Aαα	98 Aαα	98 Aαα	
7	97 Aαα	96 Aαβ	93 Abα	95 Aαα	94 Abα	95 Aαα	
14	98 Aαα	99 Aαα	95 Bαα	97 Aαα	93 Bbα	95 Bαα	
21	99 Aαα	97 Aαα	96 Aαα	95 Aαα	97 Aαα	97 Aαα	
28	94 Abα	89 Bbβ	89 Bbβ	97 Aαα	92 Bbβ	97 Aαα	

*Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de sementes (TS), letras minúsculas na coluna comparam períodos de armazenamento (TA), letras gregas comparam cultivares (CV) e se iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade. TS0 = ausência de tratamento de sementes; TS1= Fipronil BRT 250 FS; TS2= Baytan FS; TS3= Certeza N, TS4= Cruiser Opti; TS5= Standak Top. Fonte: Autores (2024).

O tratamento de sementes com maior influência no comprimento de parte aérea foi Baytan (Tabela 3), independentemente da cultivar e do período de armazenamento. O comprimento de raiz foi afetado pelos tratamentos de semente que contém fipronil em sua formulação, ou seja, Fipronil e Standak Top (Tabela 4), aos sete e 21 dias de armazenamento e somente para a cultivar BRS Rubi. O efeito deletério desses produtos não foi verificado em outros trabalhos com culturas como trigo (Abati et al., 2014) e soja (Cunha et al., 2015), em que não promoveram alteração no comprimento da raiz, e lentilha (Rubert et al., 2020), em que promoveram um incremento de tamanho radicular.

Para a variável massa seca de parte aérea, o tratamento de sementes com Standak Top após 28 dias foi o que afetou de forma mais evidente a deposição de massa na parte aérea das plântulas de cevada (Tabela 5), sendo que houve diminuição quando comparado aos demais dias de armazenamento e tratamentos de sementes.

É possível notar que as plântulas tratadas com Baytan FS apresentaram menor comprimento de parte aérea (Tabela 3), mas a deposição de massa seca se manteve estatisticamente igual com o passar dos dias de armazenamento, se apresentando menor somente se comparada aos demais tratamentos utilizados (Tabela 4). O ingrediente ativo desse produto é o triadimenol, o qual pode afetar o crescimento da primeira folha das plântulas de cereais, atrasando o seu desenvolvimento e diminuindo o comprimento, mas não afetando a alocação de matéria nesses órgãos (Radzikowska et al., 2020; Liu et al., 2021).

Tabela 3 – Desdobramento dos efeitos simples da interação tripla períodos de armazenamento x tratamento de semente x cultivar para a variável comprimento de parte aérea, Capão do Leão, 2024.

		Comprimento de parte aérea (cm)					
		Cauê					
TA \ TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	
0	12,7 Aaα*	10,7 Bbα	7,3 Caα	11,1 Bbα	13,1 Aaα	11,6 Bbα	
7	11,9 Aaα	12,3 Aaα	7,0 Baβ	11,2 Abα	12,4 Aaα	11,9 Abα	
14	11,4 Aaα	12,5 Aaα	6,8 Baα	12,9 Aaα	11,7 Aaα	12,3 Abα	
21	12,2 Aaβ	13,1 Aaα	7,7 Baα	13,0 Aaα	13,3 Aaα	13,6 Aaα	
28	12,1 Aaβ	13,3 Aaα	7,7 Baα	13,3 Aaα	12,6 Aaβ	14,6 Aaα	
		Rubi					
TA \ TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	
0	11,4 Abα	12,1 Abα	7,9 Bbα	11,6 Abα	12,9 Aaα	12,5 Aaα	
7	10,5 Bbα	11,8 Abα	9,9 Baα	12,8 Abα	13,3 Aaα	10,7 Bbα	
14	12,1 Abα	12,1 Abα	6,3 Bbα	12,3 Abα	12,4 Aaα	12,3 Aaα	
21	14,3 Aaα	14,0 Aaα	6,5 Bbα	13,7 Aaα	12,5 Aaα	13,1 Aaα	
28	14,0 Aaα	14,1 Aaα	7,4 Bbα	14,3 Aaα	14,5 Aaα	13,4 Aaα	

*Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de sementes (TS), letras minúsculas na coluna comparam períodos de armazenamento (TA), letras gregas comparam cultivares (CV) e se iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade. TS0 = ausência de tratamento de sementes; TS1= Fipronil BRT 250 FS; TS2= Baytan FS; TS3= Certeza N, TS4= Cruiser Opti ; TS5= Standak Top. Fonte: Autores (2024).

Tabela 4 – Desdobramento dos efeitos simples da interação tripla períodos de armazenamento x tratamento de semente x cultivar para a variável comprimento de raiz, Capão do Leão, 2024.

		Comprimento de raiz (cm)					
TA	Cauê						
	TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5
0		10,8 Bbα*	12,3 Baα	10,2 Baα	13,9 Aaα	14,7 Aaα	12,0 Bbα
7		12,3 Bbα	13,6 Aaα	9,3 Caα	11,3 Bbα	13,9 Aaα	15,1 Aaα
14		12,8 Aaα	13,6 Aaα	10,1 Baα	12,2 Abα	12,5 Aaα	12,2 Abα
21		13,9 Aaα	14,7 Aaα	11,7 Baα	15,2 Aaα	13,5 Aaα	12,5 Bbα
28		11,7 Abα	12,7 Aaα	11,2 Aaα	13,1 Abα	12,3 Aaα	11,3 Abα
TA	Rubi						
	TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5
0		10,8 Cbα	12,9 Baα	10,3 Caα	12,5 Bbα	15,5 Aaα	11,0 Caα
7		11,8 Abα	10,2 Bbβ	9,8 Baα	10,9 Aaα	12,1 Abα	8,7 Bbβ
14		11,6 Abα	12,9 Aaα	9,2 Baα	11,4 Aaα	11,9 Abα	10,6 Baα
21		13,3 Aaα	11,1 Bbβ	9,2 Baβ	12,7 Aaβ	13,1 Abα	11,6 Aaα
28		12,9 Aaα	11,9 Aaα	10,2 Aaα	11,5 Aaα	12,2 Abα	11,2 Abα

*Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de sementes (TS), letras minúsculas na coluna comparam períodos de armazenamento (TA), letras gregas comparam cultivares (CV) e se iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade. TS0 = ausência de tratamento de sementes; TS1= Fipronil BRT 250 FS; TS2= Baytan FS; TS3= Certeza N, TS4= Cruiser Opti; TS5= Standak Top. Fonte: Autores (2024).

Para a variável massa seca de parte aérea, o tratamento de sementes com Standak Top após 28 dias foi o que afetou de forma mais evidente a deposição de massa na parte aérea das plântulas de cevada (Tabela 5), sendo que houve diminuição quando comparado aos demais dias de armazenamento e tratamentos de sementes.

Tabela 5 – Desdobramento dos efeitos simples da interação entre períodos de armazenamento x tratamento de semente para as variáveis massa seca de parte aérea e massa seca de raiz, Capão do Leão, 2024.

		Massa seca de parte aérea (g)					
TA	Rubi						
	TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5
0		0,076 Aa*	0,077 Ab	0,072 Aa	0,082 Aa	0,076 Ab	0,081 Ab
7		0,081 Aa	0,083 Aa	0,069 Ba	0,087 Aa	0,080 Ab	0,084 Aa
14		0,080 Ba	0,087 Aa	0,066 Ca	0,078 Ba	0,086 Aa	0,088 Aa
21		0,073 Aa	0,075 Ab	0,063 Ba	0,078 Aa	0,074 Ab	0,078 Ab
28		0,080 Aa	0,079 Ab	0,068 Ba	0,078 Aa	0,079 Ab	0,074 Bb
TA	Cauê						
	TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5
0		0,080 Aa	0,084 Ab	0,083 Ab	0,088 Aa	0,081 Aa	0,078 Aa
7		0,076 Aa	0,081 Ab	0,079 Ab	0,076 Ab	0,078 Aa	0,073 Aa
14		0,080 Ba	0,092 Aa	0,089 Aa	0,081 Bb	0,083 Ba	0,079 Ba
21		0,075 Ba	0,075 Bc	0,083 Ab	0,079 Ab	0,082 Aa	0,074 Ba
28		0,079 Ba	0,072 Cc	0,089 Aa	0,075 Cb	0,070 Cb	0,063 Db

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade de erro. TS0 = ausência de tratamento de sementes; TS1= Fipronil BRT 250 FS; TS2= Baytan FS; TS3= Certeza N, TS4= Cruiser Opti ; TS5= Standak Top. Fonte: Autores (2024).

É possível notar que as plântulas tratadas com Baytan FS apresentaram menor comprimento de parte aérea (Tabela 3), mas a deposição de massa seca se manteve estatisticamente igual com o passar dos dias de armazenamento, se apresentando menor somente se comparada aos demais tratamentos utilizados (Tabela 4). O ingrediente ativo desse produto é o triadimenol, o qual pode afetar o crescimento da primeira folha das plântulas de cereais, atrasando o seu desenvolvimento e diminuindo o comprimento, mas não afetando a alocação de matéria nesses órgãos (Radzikowska et al., 2020; Liu et al., 2021).

A deposição de massa na raiz foi afetada negativamente pelos tratamentos de semente Fipronil, Certeza, Cruiser Opti e, mais drasticamente pelo Standak Top, todos após 28 dias de armazenamento (Tabela 5). O armazenamento das sementes tende a reduzir a deposição da matéria nos órgãos da planta, independentemente de estarem tratadas ou não, mas a diminuição pode ser mais acentuada se as sementes estiverem com algum tipo de tratamento químico (Dan et al., 2010).

A maior atividade da SOD foi verificada após 28 dias de armazenamento para o tratamento de sementes Standak Top e para a cultivar BRS Cauê (Tabela 6). Para a cultivar BRS Rubi, a maior atividade da SOD também foi verificada aos 28 dias de armazenamento, mas para o tratamento de sementes Certeza (Tabela 6).

A SOD é responsável por transmutar o ânion superóxido em peróxido de hidrogênio, ambos compostos responsáveis por ocasionar estresse oxidativo nas células quando em altas concentrações (Saibi & Brini, 2018). Quando as atividades das enzimas de defesa antioxidante aumentam, isso indica uma adaptação ao estresse imposto às células da planta (Hussain et al., 2019). Assim, pode-se entender que as células da planta de cevada armazenadas aos 28 dias ainda possuem eficiência para combater o estresse oxidativo imposto pelo tratamento de semente, além daquele estresse decorrente do próprio envelhecimento das sementes.

Tabela 6 – Desdobramento dos efeitos simples da interação tripla períodos de armazenamento ou tratamento de semente x cultivar para a variável superóxido dismutase, Capão do Leão, 2024.

		Superóxido dismutase (μmg^{-1} de proteína)				
TA		Cauê				
TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5
0	0,755 Bb α	1,285 Bc α	1,380 Bc β	2,730 Ab α	3,028 Ab α	3,043 Ab α
7	3,290 Aa β	3,260 Ab α	2,045 Bb β	2,458 Bb α	1,823 Bc α	0,380 Cda
14	1,430 Bb α	0,725 Cc α	0,505 Cc α	2,173 Bb α	1,670 Bc α	3,853 Ab α
21	3,848 Aa α	4,368 Aa α	2,343 Bb β	3,458 Ab α	2,708 Bb β	1,933 Bc α
28	2,873 Ca β	5,175 Ba α	4,545 Ba α	4,988 Ba β	4,913 Ba α	10,630 Aa α

TA		Rubi				
TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5
0	1,253 Cb α	2,080 Cc α	2,868 Bc α	2,998 Bb α	4,003 Aa α	4,233 Ab α
7	4,740 Aa α	3,313 Bb α	3,855 Ab α	0,315 Cc β	2,835 Bb α	1,050 Bd α
14	0,618 Bb α	0,330 Bd α	1,340 Bd α	1,363 Bc α	1,155 Bc α	4,013 Ab α
21	4,510 Aa α	4,353 Ab α	3,630 Ab α	3,650 Ab α	4,020 Aa α	2,663 Aca
28	4,680 Ba α	5,453 Ba α	5,695 Ba α	8,278 Aa α	5,198 Ba α	7,765 Aa β

*Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de sementes (TS), letras minúsculas na coluna comparam períodos de armazenamento (TA), letras gregas comparam cultivares (CV) e se iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade. TS0 = ausência de tratamento de sementes; TS1= Fipronil BRT 250 FS; TS2= Baytan FS; TS3= Certeza N, TS4= Cruiser Opti; TS5= Standak Top. Fonte: Autores (2024).

Na Tabela 7 estão os resultados da atividade enzimática da enzima catalase. Pode-se notar que houve um aumento da atividade dessa enzima com a utilização de todos os tratamentos de semente, exceto o Fipronil, no período zero de armazenamento para a cultivar BRS Rubi (Tabela 7). Também é possível analisar que a menor ação da catalase se deu no período zero de armazenamento, para o tratamento de sementes Baytan para a cultivar BRS Cauê. Para a mesma cultivar ocorreu o maior aumento da atividade dessa enzima, mas no período de 28 dias de armazenamento.

O armazenamento das sementes tende a diminuir a atividade enzimática da CAT, indicando que os danos oxidativos são maiores do que a habilidade da enzima em combatê-los (Heberle et al., 2019). Entretanto, no presente estudo, os períodos de armazenamento de até 28 dias podem não ter sido suficientes para alterar o padrão de atividade da enzima diminuindo sua ação, já que seu funcionamento foi mantido conforme os dias de armazenamento foram passando.

Além da defesa contra a deterioração natural que a semente está submetida durante o armazenamento, também foi possível verificar que as células das plântulas originadas de sementes sob tratamento manifestaram tentativa de defesa frente ao ambiente de tratamento imposto. Isso justifica o aumento da atividade da enzima catalase, que foi maior na situação em que ocorreu avanço do armazenamento e principalmente quando utilizado o produto Standak Top (Oliveira et al., 2020; Lacerda et al., 2021).

A atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) foi mais alta na cultivar BRS Cauê aos 28 dias de armazenamento com o tratamento de sementes Standak Top, quando comparada com os demais períodos de armazenamento, cultivar e tratamentos de sementes (Tabela 8). A atividade da APX diminui conforme o período de armazenamento avança, mas isso se percebe após longos períodos de permanência das sementes estocadas (Sahu et al., 2017), o que não ocorre no presente estudo, que estudou até 28 dias de armazenamento.

Tabela 7 – Desdobramento dos efeitos simples da interação tripla períodos de armazenamento x tratamento de semente x cultivar para a variável catalase, Capão do Leão, 2024.

		Catalase ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína)					
		Cauê					
TA \ TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	
0	0,025 Bba	0,018 Bba	0,013 Baβ	0,050 Abβ	0,085 Aaβ	0,078 Abβ	
7	0,108 Aaα	0,110 Aaβ	0,083 Baβ	0,127 Aaα	0,128 Aaβ	0,048 Bba	
14	0,078 Aaα	0,028 Abα	0,040 Aaβ	0,025 Abα	0,035 Abα	0,073 Abα	
21	0,053 Abβ	0,090 Aaβ	0,028 Aaα	0,078 Aaα	0,050 Abβ	0,040 Abα	
28	0,073 Baa	0,060 Bba	0,043 Baa	0,088 Baa	0,105 Baa	0,263 Aaα	

		Rubi					
TA \ TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5	
0	0,035 Cba	0,033 Cca	0,063 Cba	0,085 Baa	0,165 Abα	0,173 Aaα	
7	0,150 Baa	0,215 Aaα	0,135 Baa	0,128 Baa	0,235 Aaα	0,085 Cba	
14	0,038 Bba	0,038 Bca	0,090 Abα	0,035 Bba	0,048 Bdα	0,080 Abα	
21	0,153 Aaα	0,170 Aaα	0,070 Bba	0,050 Bba	0,125 Aca	0,088 Bba	
28	0,120 Aaα	0,103 Aca	0,060 Bba	0,105 Baa	0,075 Bdα	0,145 Aaβ	

*Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de sementes (TS), letras minúsculas na coluna comparam períodos de armazenamento (TA), letras gregas comparam cultivares (CV) e se iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade. TS0 = ausência de tratamento de sementes; TS1= Fipronil BRT 250 FS; TS2= Baytan FS; TS3= Certeza N, TS4= Cruiser Opti ; TS5= Standak Top. Fonte: Autores (2024).

Tabela 8 – Desdobramento dos efeitos simples da interação tripla períodos de armazenamento ou tratamento de semente x cultivar para a variável ascorbato peroxidase, Capão do Leão, 2024.

Ascorbato peroxidase ($\mu\text{mol de MDA-TBA g}^{-1} \text{MF}$)						
TA	Cauê					
	TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4
0	0,417 Bb α *	0,308 Bb α	0,298 Bb β	1,025 Aa α	1,200 Aa β	1,380 Ab β
7	1,585 Aa β	1,718 Aa β	1,060 Aa β	1,408 Aa α	1,513 Aa β	0,545 Bc α
14	0,905 Ab α	0,338 Ab α	0,455 Ab α	0,268 Ab α	0,423 Ab α	0,993 Ab α
21	0,748 Bb β	1,315 Aa β	0,390 Bb α	1,285 Aa α	0,875 Ab α	0,260 Bc β
28	1,140 Ba β	1,103 Ba α	1,383 Ba β	1,370 Ba α	1,970 Ba α	4,725 Aa α

TA	Rubi					
	TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4
0	0,723 Bc α	0,698 Bb α	1,408 Bb α	1,163 Ba α	2,263 Aa α	2,420 Aa α
7	2,455 Aa α	2,693 Aa α	1,840 Ba α	1,883 Ba α	2,578 Aa α	0,943 Cc α
14	0,363 Ac α	0,380 Ab α	1,085 Ab α	0,425 Ab α	0,558 Ac α	0,810 Ac α
21	2,033 Aa α	2,218 Aa α	1,063 Bb α	0,933 Bb α	1,218 Bc α	0,858 Bc α
28	1,435 Bb α	2,530 Aa α	2,420 Aa α	1,373 Ba α	1,735 Bb α	1,728 Bb β

*Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de sementes (TS), letras minúsculas na coluna comparam períodos de armazenamento (TA), letras gregas comparam cultivares (CV) e se iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade. TS0 = ausência de tratamento de sementes; TS1= Fipronil BRT 250 FS; TS2= Baytan FS; TS3= Certeza N, TS4= Cruiser Opti ; TS5= Standak Top. Fonte: Autores (2024).

A formação de peróxido de hidrogênio foi maior para tratamentos de semente com Fipronil e Baytan no período zero de armazenamento em relação ao controle sem tratamento (Tabela 9). Para os 28 dias de armazenamento o tratamento controle (sem TS) apresentou maior quantidade de peróxido de hidrogênio se comparado a todos os tratamentos de sementes utilizados (Tabela 9).

Tabela 9 – Desdobramento dos efeitos simples da interação dupla entre períodos de armazenamento x tratamento de semente para a variável peróxido de hidrogênio, Capão do Leão, 2024.

Peróxido de hidrogênio ($\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{MF}$)						
TA	Tratamento de semente					
	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5
0	41,975 Bb*	60,235 Aa	62,444 Aa	43,335 Ba	35,560 Ba	36,068 Bb
7	30,305 Ac	30,368 Ab	25,226 Ac	29,634 Ab	25,719 Ab	26,590 Ac
14	33,040 Ac	26,821 Ab	27,184 Ac	25,154 Ab	24,694 Ab	26,553 Ac
21	27,607 Bc	28,490 Bb	29,914 Bc	28,954 Bb	32,879 Ba	54,848 Aa
28	51,635 Aa	32,500 Bb	36,194 Bb	33,065 Bb	31,069 Ba	31,349 Bb

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade de erro. Fonte: Autores (2024).

Na cultivar BRS Cauê ocorreu uma diminuição da peroxidação lipídica após armazenamento de 28 dias e para os tratamentos de sementes Certeza N, Cruiser Opti e Standak Top (Tabela 10). Para a cultivar BRS Rubi os mesmos tratamentos de semente também reduziram a peroxidação lipídica, já após 21 dias (Tabela 10).

A diminuição da peroxidação lipídica indica que o sistema antioxidante pode ter sido incentivado pela presença dos tratamentos de semente, mantendo a mesma controlada a níveis semelhantes ao encontrado em sementes sem tratamento (Tabela 10). Nos casos em que os tratamentos de semente reduziram a peroxidação lipídica, pode ter ocorrido indução do

sistema antioxidante, levando a maior metabolização dos radicais livres que atacam os lipídios e assim diminuindo o estresse oxidativo (Devi & Giridhar, 2015; Alché, 2019).

Tabela 10 – Desdobramento dos efeitos simples da interação tripla entre períodos de armazenamento x tratamento de semente x cultivar para a variável peroxidação lipídica, Capão do Leão, 2024.

		Peroxidação lipídica ($\mu\text{mol de MDA-TBA g}^{-1}\text{ MF}$)					
TA	Cauê						
	TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5
0		79,173 Baa*	88,800 Aaa	93,140 Aba	96,615 Aaa	66,788 Bba	78,243 Baa
7		94,830 Aaa	68,893 Bb β	112,898 Aaa	100,120 Aaa	89,078 Aaa	89,243 Aaa
14		88,338 Aaa	67,405 Bba	87,083 Aba	65,073 Bba	95,853 Aaa	92,410 Aaa
21		62,410 Ab β	86,908 Aaa	79,005 Aba	69,570 Aba	68,835 Aba	70,415 Aaa
28		63,983 Aba	56,158 Bba	72,795 Aba	44,743 Bca	47,040 Bba	44,253 Bba
TA	Rubi						
	TS	TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5
0		83,503 Aaa	84,920 Aaa	92,015 Aaa	75,835 Aaa	63,148 Aaa	81,565 Aaa
7		89,820 Aaa	99,783 Aaa	81,248 Aa β	83,585 Aaa	74,875 Aaa	84,658 Aaa
14		94,968 Aaa	79,000 Aaa	74,590 Aaa	81,045 Aaa	79,748 Aaa	73,563 Aaa
21		84,105 Aaa	91,525 Aaa	86,095 Aaa	60,075 Bba	67,908 Baa	71,400 Baa
28		56,528 Aba	39,173 Aba	49,233 Ab β	43,428 Aba	42,860 Aba	64,450 Aaa

*Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de sementes (TS), letras minúsculas na coluna comparam períodos de armazenamento (TA), letras gregas comparam cultivares (CV) e se iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade. TS0 = ausência de tratamento de sementes; TS1= Fipronil BRT 250 FS; TS2= Baytan FS; TS3= Certeza N, TS4= Cruiser Opti; TS5= Standak Top. Fonte: Autores (2024).

Aos 14 dias de armazenamento para o tratamento de sementes Baytan FS, e aos 28 dias para os tratamentos de semente Certeza N e Standak Top as plântulas de cevada apresentaram maior teor de açúcares solúveis totais (Tabela 11). Isso pode estar ligado ao maior comprimento de parte aérea apresentado para esses mesmos períodos e tratamentos (Tabela 3) já que alguns açúcares solúveis como glicose e frutose estão ligados ao crescimento de órgãos na planta (Aragão et al., 2015).

Tabela 11 – Desdobramento dos efeitos simples da interação dupla entre períodos de armazenamento x tratamento de semente para a variável açúcares solúveis totais, Capão do Leão, 2024.

		Açúcares solúveis totais ($\text{mg.g}^{-1}\text{ MF}$)					
		Tratamento de sementes					
TA		TS0	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5
0		7,606 Bb*	6,081 Bb	9,314 Ab	8,656 Ab	9,339 Ab	9,085 Ab
7		9,795 Ba	10,139 Ba	6,830 Cb	8,363 Cb	7,389 Cb	12,824 Aa
14		10,078 Ba	7,438 Cb	14,178 Aa	11,870 Aa	7,221 Cb	7,273 Cb
21		5,539 Ab	6,398 Ab	6,719 Ab	7,628 Ab	7,114 Ab	8,030 Aa
28		6,998 Bb	9,655 Ba	7,253 Bb	8,711 Bb	16,004 Aa	13,546 Aa

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de probabilidade de erro. *Letras maiúsculas na linha comparam tratamentos de sementes (TS), letras minúsculas na coluna comparam períodos de armazenamento (TA), letras gregas comparam cultivares (CV) e se iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade. TS0 = ausência de tratamento de sementes; TS1= Fipronil BRT 250 FS; TS2= Baytan FS; TS3= Certeza N, TS4= Cruiser Opti; TS5= Standak Top. Fonte: Autores (2024).

4. Conclusão

O armazenamento de sementes de cevada tratadas por curto período de período alterou o desempenho fisiológico e bioquímico das sementes.

A cultivar BRS Rubi se apresenta mais sensível aos tratamentos de semente empregados e aos períodos de armazenamento quanto a germinação.

O tratamento químico pode reduzir a germinação, comprimento de parte aérea e raiz e modificar negativamente a resposta enzimática da SOD, CAT e APX.

O tratamento das sementes em até 14 dias pode contribuir para uma semeadura mais segura.

Ambientes de armazenamento diferentes, outras cultivares e outros tratamentos de semente podem ser investigados a fim de se determinar se problemas podem surgir decorrentes dessas combinações.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa. À Universidade Federal de Pelotas e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia de Sementes pela concessão de recursos e espaço físico para desenvolvimento do trabalho.

Referências

- Abati, J., Zucareli, C., Foloni, J. S. S., Henning, F. A., Brzezinski, C. R., & Henning, A. A. (2014). Treatment with fungicides and insecticides on the physiological quality and health of wheat seeds. *Journal of Seed Science*, 36, 392-398.
- Adetunji, A. E., Adetunji, T. L., Varghese, B., Sershen, & Pammenter, N. W. (2021). Oxidative stress, ageing and methods of seed invigoration: an overview and perspectives. *Agronomy*, 11(12), 2369.
- Alché, J., de D. (2019). A concise appraisal of lipid oxidation and lipoxidation in higher plants. *Redox biology*, 23, 101136.
- Aragão, V. P. M., Navarro, B. V., Passamani, L. Z., Macedo, A. F., Floh, E. I. S., Silveira, V., & Santa-Catarina, C. (2015). Free amino acids, polyamines, soluble sugars and proteins during seed germination and early seedling growth of *Cedrela fissilis* Vellozo (Meliaceae), an endangered hardwood species from the Atlantic Forest in Brazil. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 27, 157-169.
- Azevedo, R. D., Alas, R. M., Smith, R. J., & Lea, P. J. (1998). Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. *Physiologia Plantarum*, 104(2), 280-292.
- Begum, N., Hasanuzzaman, M., Li, Y., Akhtar, K., Zhang, C., & Zhao, T. (2022). Seed germination behavior, growth, physiology and antioxidant metabolism of four contrasting cultivars under combined drought and salinity in soybean. *Antioxidants*, 11(3), 498.
- Brasil (2009). *Regras para análise de sementes*. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária.
- Bueno, J. C. M., Jadoski, S. O., Pott, C. A., & de Goes Maciel, C. D. (2020). Riscos de déficit hídrico durante o ciclo de desenvolvimento da cevada em Guarapuava-PR, em diferentes condições climáticas. *Revista Brasileira de Climatologia*, 26.
- Cakmak, I., & Horst, W. J. (1991). Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). *Physiologia plantarum*, 83(3), 463-468.
- Conab (2024). Acompanhamento da Safra Brasileira – Grão – 6º Levantamento, 2024. <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>
- Cunha, R. P. D., Corrêa, M. F., Schuch, L. O. B., Oliveira, R. C. D., Abreu, J. D. S., Silva, J. D. G. D., & Almeida, T. L. D. (2015). Diferentes tratamentos de sementes sobre o desenvolvimento de plantas de soja. *Ciência Rural*, 45(10), 1761-1767.
- Dan, L. G. D. M., Dan, H. D. A., Barroso, A. L. D. L., & Braccini, A. D. L. (2010). Qualidade fisiológica de sementes de soja tratadas com inseticidas sob efeito do armazenamento. *Revista Brasileira de Sementes*, 32, 131-139.
- De Vitis, M., Hay, F. R., Dickie, J. B., Trivedi, C., Choi, J., & Fiegner, R. (2020). Seed storage: maintaining seed viability and vigor for restoration use. *Restoration Ecology*, 28, S249-S255.
- Devi, M. K. A., & Giridhar, P. (2015). Variations in physiological response, lipid peroxidation, antioxidant enzyme activities, proline and isoflavones content in soybean varieties subjected to drought stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 85, 35-44.
- Giannopolitis, C. N., & Ries, S. K. (1977). Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. *Plant physiology*, 59(2), 309-314.

- Gill, S. S., Anjum, N. A., Gill, R., Yadav, S., Hasanuzzaman, M., Fujita, M., ... & Tuteja, N. (2015). Superoxide dismutase—mentor of abiotic stress tolerance in crop plants. *Environmental science and pollution research*, 22, 10375-10394.
- Graham, D., & Smydzuk, J. (1965). Use of anthrone in the quantitative determination of hexose phosphates. *Analytical Biochemistry*, 11(2), 246-255.
- Heberle, E., Araujo, E. F., Lacerda Filho, A. F., Cecon, P. R., Araujo, R. F., & Amaro, H. T. R. (2019). Qualidade fisiológica e atividade enzimática de sementes de milho durante o armazenamento. *Revista de Ciências Agrárias*, 42(3), 657-665.
- Hussain, H. A., Men, S., Hussain, S., Chen, Y., Ali, S., Zhang, S., ... & Wang, L. (2019). Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific reports*, 9(1), 3890.
- Kurek, K., Plitta-Michalak, B., & Ratajczak, E. (2019). Reactive oxygen species as potential drivers of the seed aging process. *Plants*, 8(6), 174.
- Lacerda, M. P., Umburanas, R. C., Martins, K. V., Rodrigues, M. A. T., Reichardt, K., & Dourado-Neto, D. (2021). Vigor and oxidation reactions in soybean seedlings submitted to different seed chemical treatments. *Journal of Seed Science*, 43, e202143012.
- Liu, R., Zhang, H., Deng, Y., Zhou, Z., Liu, X., & Diao, J. (2021). Enantioselective fungicidal activity and toxicity to early wheat growth of the chiral pesticide triticonazole. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(38), 11154-11162.
- Nakagawa, J (1994). *Testes de vigor baseados na avaliação de plântulas*. In: VIEIRA R.D.; CARVALHO M. (Eds.). Testes de vigor em sementes. FUNEP.
- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and cell physiology*, 22(5), 867-880.
- Nakano, Y., & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and cell physiology*, 22(5), 867-880.
- Oliveira, T. L. D., Pinho, R. G. V., Santos, H. O. D., Silva, K. M. D. J., Pereira, E. D. M., & Souza, J. L. D. (2020). Biochemical changes and physiological quality of corn seeds subjected to different chemical treatments and storage times. *Journal of Seed Science*, 42, e202042038.
- Radzikowska, D., Grzanka, M., Kowalczewski, P. Ł., Głowicka-Wołoszyn, R., Blecharczyk, A., Nowicki, M., & Sawinska, Z. (2020). Influence of SDHI seed treatment on the physiological conditions of spring barley seedlings under drought stress. *Agronomy*, 10(5), 731.
- Roman, D. L., Voiculescu, D. I., Filip, M., Ostafe, V., & Isvoran, A. (2021). Effects of triazole fungicides on soil microbiota and on the activities of enzymes found in soil: A review. *Agriculture*, 11(9), 893.
- Rubert, J., Dornelles, S. H. B., Nunes, U. R., Pedrollo, N. T., Peripolli, M., & Cassol, J. C. (2021). Treatment with insecticide and fungicide on the physiological quality of lentil seeds. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e246670.
- Sahu, B., Sahu, A. K., Thomas, V., & Naithani, S. C. (2017). Reactive oxygen species, lipid peroxidation, protein oxidation and antioxidative enzymes in dehydrating Karanj (*Pongamia pinnata*) seeds during storage. *South African Journal of Botany*, 112, 383-390.
- Saibi, W., & Brini, F. (2018). Superoxide dismutase (SOD) and abiotic stress tolerance in plants: An overview. *Superoxide Dismutase: Structure, Synthesis and Applications*; Magliozzi, S., Ed, 101-142.
- Shahbandeh, M (2024). Major barley producers worldwide in 2023/2024, by country. <https://www.statista.com/statistics/272760/barley-harvest-forecast/>
- Shakir, S. K., Kanwal, M., Murad, W., ur Rehman, Z., ur Rehman, S., Daud, M. K., & Azizullah, A. (2016). Effect of some commonly used pesticides on seed germination, biomass production and photosynthetic pigments in tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Ecotoxicology*, 25, 329-341.
- Shvachko, N. A., & Khlestkina, E. K. (2020). Molecular genetic bases of seed resistance to oxidative stress during storage. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 24(5), 451.
- Sofo, A., Scopa, A., Nuzzaci, M., & Vitti, A. (2015). Ascorbate peroxidase and catalase activities and their genetic regulation in plants subjected to drought and salinity stresses. *International journal of molecular sciences*, 16(6), 13561-13578.
- United States Department Of Agriculture – USDA. (2024) Production Barley. <https://fas.usda.gov/data/production/commodity/0430000>
- Velikova, V., Yordanov, I., & Edreva, A. J. P. S. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant science*, 151(1), 59-66.
- Wojtyła, Ł., Lechowska, K., Kubala, S., & Garnczarska, M. (2016). Different modes of hydrogen peroxide action during seed germination. *Frontiers in plant science*, 7, 175649.