

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes

Dissertação



**Ecofisiologia do crescimento inicial e metabolismo da cevada sob restrição
hídrica, altas temperaturas e tratamento de sementes**

Benhur Schwartz Barbosa

Pelotas, 2023

Benhur Schwartz Barbosa

**Ecofisiologia do crescimento inicial e metabolismo da cevada sob restrição
hídrica, altas temperaturas e tratamento de sementes**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora:

Profa. Dra. Emanuela Garbin Martinazzo Aumonde

Co-Orientadores:

Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde

Prof. Dr. Tiago Pedó

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

B238e Barbosa, Benhur Schwartz

Ecofisiologia do crescimento inicial e metabolismo da cevada sob restrição hídrica, altas temperaturas e tratamento de sementes / Benhur Schwartz Barbosa ; Emanuela Garbin Martinazzo Aumonde, orientadora ; Tiago Zanatta Aumonde, Tiago Pedó, coorientadores. — Pelotas, 2023.

93 f.

Dissertação (Mestrado) — Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. *Hordeum vulgare*. 2. Germinação. 3. Atividade enzimática. 4. Metabólitos. 5. Estresses abióticos. I. Aumonde, Emanuela Garbin Martinazzo, orient. II. Aumonde, Tiago Zanatta, coorient. III. Pedó, Tiago, coorient. IV. Título.

CDD : 633.164

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

Benhur Schwartz Barbosa

Ecofisiologia do crescimento inicial e metabolismo da cevada sob restrição hídrica, altas temperaturas e tratamento de sementes

Dissertação apresentada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 28/02/2023

Banca examinadora:

.....
Profa. Dra. Emanuela Garbin Martinazzo (Orientadora)
Doutora em Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde
Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof. Dr. Tiago Pedó
Doutor em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Profa. Dra. Andréia da Silva de Almeida
Doutora em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Profa. Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires
Doutora em Agronomia/Fitotecnia pela Universidade Federal de Lavras

.....
Dra. Angelita Celente Martins
Doutora em Fisiologia Vegetal pela Universidade Federal de Pelotas

Lista de Tabelas

Tabela 1:	Resumo da análise de variância com os quadrados médios da germinação (GER), primeira contagem de germinação (PCG), índice de velocidade de germinação (IVG), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), peróxido (H ₂ O ₂) e peroxidação lipídica (MDA), para a temperatura de 20°C.....	35
Tabela 2:	Germinação, primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 20°C.....	36
Tabela 3:	Atividade enzimática da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, e peroxidação lipídica de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 20°C.....	43
Tabela 4:	Desdobramento da interação significativa cultivar x condição hídrica para a variável peróxido de hidrogênio, para a temperatura de 20°C.....	47
Tabela 5:	Resumo da análise de variância com os quadrados médios da germinação (GER), primeira contagem de germinação (PCG), índice de velocidade de germinação (IVG), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), peróxido (H ₂ O ₂) e peroxidação lipídica (MDA), para a temperatura de 30°C.....	48
Tabela 6:	Germinação, primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 30°C.....	49
Tabela 7:	Atividade enzimática da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase de diferentes, e peróxido e peroxidação de cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 30°C.....	53
Tabela 8:	Peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 30°C.....	55
Tabela 9:	Resumo da análise de variância com os quadrados médios do crescimento da parte aérea (CPA), crescimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), açúcar solúvel total (AST), prolina (PRO) e proteína (PRT), para a temperatura de 20°C.....	63

Tabela 10:	Comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 20°C.....	64
Tabela 11:	Açúcar solúvel total, prolina e proteína de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 20°C.....	70
Tabela 12:	Resumo da análise de variância com os quadrados médios do crescimento da parte aérea (CPA), crescimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), açúcar solúvel total (AST), prolina (PRO) e proteína (PRT), para a temperatura de 30°C.....	72
Tabela 13:	Comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 30°C.....	74
Tabela 14:	Açúcar solúvel total, prolina e proteína de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 30°C.....	78

Sumário

1. Introdução Geral.....	10
1.1 Cultura da Cevada.....	13
1.2 Estresse térmico.....	16
1.3 Estresses abióticos e a restrição hídrica.....	17
1.4 Tratamento de sementes.....	21
1.5 Enzimas antioxidantes.....	23
2. Capítulo I – Desempenho fisiológico e atividade antioxidante de sementes e plântulas de cevada sob restrição hídrica, altas temperaturas e tratamento de sementes.....	29
2.1 Introdução.....	29
2.2 Material e métodos.....	31
2.3 Resultados e discussão.....	35
2.4 Conclusão.....	57
3. Capítulo II - Crescimento inicial e desempenho metabólito de sementes e plântulas de cevada sob restrição hídrica, altas temperaturas e tratamento de sementes.....	58
3.1 Introdução.....	58
3.2 Material e métodos.....	60
3.3 Resultados e Discussão.....	63
3.4 Conclusão.....	80
4. Considerações finais.....	81
5. Referências.....	82

Resumo

BARBOSA, Benhur Schwartz. **Ecofisiologia do crescimento inicial e metabolismo da cevada sob restrição hídrica, altas temperaturas e tratamento de sementes.** Orientadora: Prof. Dra. Emanuela Garbin Martinazzo Aumonde. 2023. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Sementes) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

O objetivo do presente estudo foi de avaliar os efeitos causados pelo ambiente hídrico e térmico desfavorável em associação ao tratamento de sementes e sua influência no desempenho fisiológico de sementes, na ecofisiologia do crescimento e no metabolismo da plântula. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 5x6x2 (5 cultivares, 6 tratamentos de semente e 2 condições hídricas). As sementes para germinar e se desenvolverem dos diferentes foram dispostas em B.O.D às temperaturas de 20°C e 30°C e sob duas condições hídricas, sendo capacidade de retenção do substrato e restrição hídrica. As cultivares Danielle, BRS Korbel e BRS Brau apresentaram mais sensibilidade a restrição hídrica, uma vez que a germinação e crescimento inicial destas foram inferiores, além de que a atividade enzimática, bem como o teor dos metabólitos, também apresentaram valores reduzidos para estas cultivares. A cultivar BRS Quaranta apresentou maior tolerância para a imposição da restrição hídrica, obtendo maiores valores, em comparação com as demais cultivares, para as variáveis de germinação e para as de crescimento inicial. A atividade enzimática e o teor dos metabólitos também foram superiores para a cultivar BRS Quaranta. A cultivar BRS Korbel apresentou maior tolerância quando submetida ao estresse térmico e a restrição hídrica simultaneamente ao estresse térmico, obtendo maiores valores para as variáveis de germinação e crescimento inicial, maior atividade enzimática e maiores teores de metabólitos. A maioria dos produtos utilizados na realização do tratamento de sementes não causaram efeitos negativos na cevada, independentemente do estresse a qual a cultura foi exposta. A condição de restrição hídrica diminuiu as variáveis de germinação e de crescimento inicial, e aumentou o a atividade enzimática e o teor de metabólicos.

Palavras chave: *Hordeum vulgare*; germinação; atividade enzimática; metabólitos; estresses abióticos.

Abstract

BARBOSA, Benhur Schwartz. **Ecophysiology of early growth and metabolism of barley under water restriction, high temperatures and seed treatment.** Advisor: Prof. Dra. Emanuela Garbin Martinazzo Aumonde. 2023. 93f. Dissertation (Master in Seed Science and Technology) – Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

The objective of the present study was to evaluate the effects caused by the unfavorable water and thermal environment in association with seed treatment and its influence on the physiological performance of seeds, on the ecophysiology of growth and on seedling metabolism. The experimental design was completely randomized, in a 5x6x2 factorial scheme (5 cultivars, 6 seed treatments and 2 water conditions). The seeds to germinate and develop from the different ones were arranged in B.O.D at temperatures of 20°C and 30°C and under two hydric conditions, being substrate retention capacity and water restriction. The Danielle, BRS Korbél and BRS Brau cultivars were more sensitive to water restriction, since their germination and initial growth were lower, in addition to the fact that the enzymatic activity, as well as the metabolite content, also showed reduced values for these cultivars. Cultivar BRS Quaranta showed greater tolerance for the imposition of water restriction, obtaining higher values, in comparison with the other cultivars, for germination variables and for initial growth variables. Enzymatic activity and metabolite content were also higher for the BRS Quaranta cultivar. Cultivar BRS Korbél showed greater tolerance when subjected to heat stress and water restriction simultaneously with heat stress, obtaining higher values for the variables of germination and initial growth, higher enzymatic activity and higher levels of metabolites. Most products used in seed treatment did not cause negative effects on barley, regardless of the stress to which the crop was exposed. The water restriction condition decreased germination and initial growth variables, and increased enzymatic activity and metabolic content.

Keywords: *Hordeum vulgare*; germination; enzymatic activity; metabolites; abiotic stresses.

1. Introdução Geral

A cevada (*Hordeum vulgare* L.), cereal pertencente à família Poaceae, reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, ordem Poales e gênero *Hordeum* (FERREIRA, 2015) é o quinto grão em ordem de importância mundial, atrás apenas do arroz, milho, trigo e soja (DE MORI & MINELLA, 2012).

Restos arqueológicos de grãos de cevada foram encontrados na região do Crescente Fértil, localizado no Oriente Médio, evidenciado que ela foi doméstica por volta do ano de 8000 a.C. (FERREIRA, 2015). Era o principal cereal utilizado pelos Romanos, Hebreus e Gregos para a fabricação de pães (KRUKLIS, 2019).

Assim como o trigo, a cevada foi um dos primeiros cereais produzidos pelo homem, sendo uma das primeiras culturas domésticas, utilizada principalmente na produção de cerveja, para a obtenção do malte e para a alimentação animal e humana (FERREIRA, 2015; JAQUES et al., 2019). Atualmente é utilizada como matéria prima na fabricação do malte, flocos e farinha (BUENO et al., 2020), onde o maior interesse se dá pelas indústrias de malte cervejeiro (KRUKLIS, 2019). Para a alimentação animal a cultura pode ser utilizada como grãos, silagem, forragem verde, feno e fabricação de rações (DE MORI & MINELLA, 2012).

As mudanças climáticas estão aumentando a temperatura média e diminuindo a precipitação global, entre as diversas consequências ocasionadas por estes eventos, a seca é um dos principais fatores que afetam diretamente na produção agrícola (ANJUM et al., 2017). Além disso, devido à liberação em excesso de gases, principalmente o CO₂ atmosférico, mudanças climáticas podem aumentar significativamente as temperaturas globais nos próximos anos (ULLAH et al., 2022). Neste cenário, a produção agrícola pode ficar comprometida, isso porque o estresse térmico é um dos estresses abióticos, ao lado da seca, que mais possui a capacidade de causar danos severos as plantas (KRUSZKA et al., 2014), uma vez que o estresse térmico afeta negativamente o crescimento vegetativo e reprodutivo das plantas (IHSAN et al., 2019).

Desde a década de 80 a seca tornou-se mais frequente e intensa, e a tendência é de que nos próximos anos seja ainda mais intensificada, com isso, a determinação de cultivares tolerantes a estas situações é vital para a manutenção e amplificação dos rendimentos agrícolas (KACZMAREK et al., 2017). Nesse contexto, estudos com o intuito de determinar cultivares tolerantes ao estresse térmico e hídrico são de suma importância (RADZIKOWSKA et al., 2020). O estudo de cultivares tolerantes a ocorrência destes dois estresses abióticos simultâneos, ou de forma isolada, são ferramentas indispensáveis para a escolha do material genético que deve ser utilizado em tais condições, tendo em vista que, em um campo de produção pode haver a ocorrência da seca simultaneamente a altas temperaturas, agravando ainda mais os problemas causados por estes dois estresses ambientais, com isso, a determinação de cultivares tolerantes a ocorrência em conjunto delas é de suma importância (ZHAO et al., 2016). Assim, Fang et al. (2017) afirmam que cultivares bem sucedidas devem produzir altos rendimentos mesmo em condições de estresse, como a restrição hídrica e as altas temperaturas.

Perturbações ambientais que causam danos significativos no crescimento, desenvolvimento, metabolismo e produção das plantas são consideradas estresses ambientais (LAXA et al., 2019). Assim, o estresse pode ser definido como um fator ambiental que prejudica o crescimento e desenvolvimento da planta e o rendimento final em um campo de produção (KOSAVÁ et al., 2018). Um estresse pode causar na planta distúrbios fisiológicos e lesões, além de facilitar o aparecimento de doenças (SHAO et al., 2008). No ambiente de cultivo as plantas podem estar expostas a diferentes estresses, que podem causar, tanto direta como indiretamente, redução na qualidade fisiológica das sementes, diminuindo a sua germinação e vigor (RHAMAN et al., 2022).

O baixo rendimento das culturas está atrelado a vários estresses abióticos, no qual se destaca o hídrico (ALGHABARI & IHSAN, 2018). A seca pode ser definida como a situação em que não há umidade suficiente no solo para atender as necessidades impostas por determinada cultura em determinado período (KACZMAREK et al., 2017). Sendo que o déficit hídrico causa limitações no rendimento de um campo de produção (WANG et al., 2012), sendo considerado um dos estresses abióticos que mais trazem prejuízos ao crescimento e desenvolvimento das plantas (AKITHA & GIRIDHAR, 2105). Isso porque nesta

condição ocorrem alguns eventos no vegetal, tais como, redução na taxa de assimilação de CO₂ para a produção de carboidratos, fechamento estomático, redução do desenvolvimento celular e aceleração da senescência e abscisão foliar, além de que afeta a partição adequada de assimilados entre os órgãos constituintes da planta (LI et al., 2013).

Plantas submetidas à restrição hídrica e a altas temperaturas, em um mesmo cenário, tendem a ter a sua produção reduzida, uma vez que, em tais condições ocorre o aumento da atividade respiratória da planta, redução no índice de troca de CO₂, bem como a sua condução nos espaços intercelulares e nas folhas, podendo ainda causar a redução do ciclo da cultura, desta forma, esses fatores aliados influenciam negativamente no rendimento final das plantas (LOPES & LIMA, 2015). As plantas podem apresentar mecanismos de resistência ou de tolerância aos estresses que elas são expostas durante o seu ciclo de vida, desenvolvendo estratégias para reverter às condições impostas pelo estresse (KOSOVÁ et al., 2018).

Plantas de cevada apresentam alta variabilidade genética para respostas de tolerância à seca (BORNARE et al., 2012; AHMED et al., 2016), este fato torna esta cultura uma excelente fonte de pesquisa para estudar a regulação genética da adaptação à deficiência hídrica (ELAKHDAR et al., 2022). Além disso, os possíveis efeitos causados pela restrição hídrica podem variar de acordo com a cultivar, ou seja, uma cultivar pode ser mais tolerante ou mais sensível a este estresse abiótico (TOSCANO et al., 2017).

O crescimento e desenvolvimento de uma cultura depende da adaptação das plantas as condições abióticas que podem mudar constantemente durante o ciclo da cultura, onde, em algumas situações ocorrerá estresses abióticos, como altas temperatura e falta de água, outro fator que influencia no sucesso do crescimento e desenvolvimento de um vegetal é o grau de resíduos de produtos químicos que ficam em contato com as suas sementes, plântulas e plantas, neste cenário, entra o tratamento de sementes (GANILHO et al., 2022). Segundo Radzikowska et al. (2020) a ocorrência de restrição hídrica em combinação com os efeitos de fitotoxicidade causados por produtos utilizados no tratamento de sementes podem reduzir o crescimento da cultura e causar modificações no metabolismo da planta.

A utilização de produtos químicos, como fungicidas e inseticidas, na realização do tratamento de sementes é uma boa ferramenta para diminuir os estresses bióticos que uma planta possa vir a sofrer, entretanto eles devem ser usados com sabedoria, pois em alguns casos pode haver efeito de fitotoxicidade (LACERDA et al., 2021). Além disso, o tratamento de sementes é utilizado com o objetivo de auxiliar as plântulas no início do seu desenvolvimento, onde estas podem estar expostas a diversos estresses abióticos, como o hídrico e o térmico (ZENI et al., 2019).

Estudos sobre como os produtos químicos utilizados no tratamento de sementes afeta a viabilidade e o vigor das sementes, bem como os atributos do metabolismo do estresse de uma planta são escassos. Além disso, na literatura há experimentos que estudam os estresses de forma individual, entretanto, em um campo de produção há a ocorrência de estresses, principalmente ambientais, de forma simultânea.

Com isso, o objetivo do presente estudo foi de avaliar os efeitos causados pelo ambiente hídrico e térmico desfavorável em associação ao tratamento de sementes e sua influência no desempenho fisiológico de sementes, na ecofisiologia do crescimento e no metabolismo da plântula.

1.1 Cultura da Cevada

A cevada é um cereal produzido em várias regiões do mundo, sendo que a Rússia, Espanha, Alemanha, Canadá e França são os principais países produtores desta cultura (TRIDGE, 2022). Este cereal é utilizado para fabricação de rações, bem como matéria prima na indústria alimentar e cervejeira (BEZPAL'KO et al., 2020). Sendo que 75% da produção mundial é destinada para a alimentação animal e 25% é maltada ou utilizada na alimentação humana (ELAKHDAR et al., 2022). Além disso, esta planta é rica em carboidratos, minerais, vitaminas (ALGHABARY & IHSAN, 2018), e especialmente em fibras dietéticas solúveis, sendo que estas possuem a capacidade de reduzir a ocorrência de diabetes do tipo II (ELAKHDAR et al., 2022).

No Brasil, a produção de cevada está concentrada na região sul (BUENO et al., 2020). O volume de produção da cevada no Brasil é discreto quando

comparado a outros cereais, como arroz, porém o seu cultivo tem apresentado evolução (JAQUES et al., 2019).

A produção nacional não é o suficiente para atender a demanda, imposta principalmente pelas indústrias cervejeiras, tanto que o Brasil é um grande importador de cevada (KRUKLIS, 2019). Este fator está atrelado a dois principais fatores, a quantidade de grãos de cevada produzidos no Brasil e a dificuldade em obter os parâmetros de qualidade do grão para que ele possa ser destinado para as indústrias cervejeiras (EMBRAPA, 2022).

Na safra de 2022 o Brasil produziu aproximadamente 510.200 toneladas de cevada (CONAB, 2022), entretanto o país importou cerca de 658.546 toneladas do grão (COMEX STAT, 2022). A indústria cervejeira necessita que os grãos de cevada apresentem no mínimo 9,5% e no máximo 12% de proteína bruta e uma taxa de germinação de no mínimo 95%, para que assim seja possível obter malte com uma qualidade que atenda ao mercado (BRESSAN, 2018). Assim, devido a grande exigência em relação a atributos físicos e químicos para que o grão de cevada possa ser destinado para a indústria cervejeira, muitos produtores do país acabam trocando o cultivo da cevada por outros cereais de inverno, como o trigo.

Neste cenário a implantação da cevada no Cerrado, através do melhoramento genético que disponibilize material varietal que suporte a seca e o calor, além de um conjunto tecnológico que proporcione ao produtor estabilidade financeira para que assim a cultura consiga disputar com outras commodities agrícolas, principalmente o trigo, são fatores essenciais para que a importação de cevada pelo Brasil diminua (EMBRAPA, 2022).

A produção de cevada evoluiu nos últimos anos sendo que a área semeada de cevada em 1980 no Brasil era de 97 mil hectares, com uma produtividade de 1.460,8 kg/ha e uma produção de 141,7 mil toneladas. Em 1990 a produtividade média nacional de cevada alcançou 2.126,4 kg/ha, com uma produção de 208,6 mil toneladas em uma área semeada de 98,1 mil hectares. Na safra agrícola de 2000 a produção de cevada no Brasil foi de 283 mil toneladas, onde foram semeados 140,6 mil hectares, obtendo uma produtividade de 2.013 kg/ha. No ano de 2010 a produção de cevada no Brasil foi de 283,9 mil toneladas, a área semeada foi de 88,4 mil hectares e a produtividade média alcançou a marca de 2.599 kg/ha. Em 2020 o Brasil produziu 374,4 mil toneladas de cevada em uma área semeada de 103,4 mil hectares, obtendo 3.621 kg/ha de produtividade média (CONAB, 2021). A

produção de cevada no Brasil na safra 2022 foi de 510,2 mil toneladas, obtendo uma produtividade média de 4.138 kg/ha, sendo que a área semeada foi de 123,3 mil hectares (CONAB, 2023).

A semente da cevada é alongada, apresentando pericarpo, testa, camada de aleurona e tegumento (FERREIRA, 2015). A camada de aleurona apresenta uma grande importância durante o processo de produção de cerveja, isso porque é nesta camada que ocorre a formação das enzimas β -glucanase, β -amilase e α -amilase, que participam do processo de sacarificação do amido, e posteriormente na sua transformação em álcool, durante o processo de fermentação (JAQUES, 2018).

Para que a semente apresente um desempenho satisfatório no campo é necessário que ela possua uma boa qualidade fisiológica, que está atrelada aos atributos físicos, genéticos, fisiológicos e sanitários (PESKE et al., 2012). A união destes atributos define o vigor, germinação e sanidade das sementes, além da sua pureza física e varietal (JAQUES et al., 2019).

A fertilização do óvulo é a primeira etapa para a formação da semente, nesta fase ocorrem mudanças nas estruturas bioquímicas, fisiológicas e morfologias das sementes, até que ela chega à fase de maturidade (HEHENBERGER et al., 2012). Quando inicia a maturidade fisiológica, a transferência de assimilados da planta para as sementes é cessada, com isso, neste estágio o potencial fisiológico da semente é alto (JAQUES et al., 2019).

A densidade de semeadura recomenda para a cultura da cevada é de 250-300 plantas por m², em um espaçamento entre linhas de 12-20 cm e uma profundidade de 3-5 cm (EMBRAPA, 2019). A cevada é uma planta herbácea, que apresenta ciclo anual e pode alcançar uma estatura entre 60-110 centímetros (KRUKLIS, 2019). O seu sistema radicular é fasciculado, enquanto que o colmo é cilíndrico, apresentando 5 a 7 nós, onde nascem as folhas, que são longas, alternadas e estreitas (FERREIRA, 2015). Sua inflorescência possui formato de espiga e as unidades reprodutivas são denominadas de espiguetas (HOUSTON et al., 2013).

A cultivar Danielle apresenta altura de planta em média de 78 cm, espigamento em 83 dias e maturação em 130 dias, é moderadamente resistente ao acamamento, resistente ao oídio, ferrugem da folha, mancha-reticular e mancha-marrom, e é suscetível a giberela (EMBRAPA, 2019).

A cultivar BRS Korbel apresenta altura de planta em média de 80 cm, espigamento em 85 dias e maturação em 125 dias, é moderadamente resistente ao acamamento, resistente ao oídio, moderadamente resistente a mancha-reticular e suscetível a ferrugem da folha, mancha-marrom e giberela (EMBRAPA, 2017).

A cultivar BRS Brau apresenta altura de planta em média de 76 cm, espigamento em 88 dias e maturação em 132 dias, é moderadamente resistente ao acamamento, altamente suscetível ao oídio, suscetível a ferrugem da folha, mancha-marrom e giberela, e moderadamente resistente a mancha-reticular (EMBRAPA, 2019).

A cultivar Imperatriz apresenta altura de planta em média de 73 cm, espigamento em 82 dias e maturação em 127 dias, é moderadamente resistente ao acamamento, oídio, ferrugem da folha e mancha-reticular, moderadamente suscetível a mancha-marrom, e é suscetível a giberela (EMBRAPA, 2019).

A cultivar BRS Quaranta apresenta altura de planta em média de 80 cm, espigamento em 88 dias e maturação em 132 dias, é moderadamente resistente ao acamamento, oídio e mancha-reticular, e suscetível a ferrugem das folhas, mancha-marrom e giberela (EMBRAPA, 2017).

1.2 Estresse térmico

As mudanças climáticas que assolam o planeta nos últimos anos evidenciam que há tendência de aumento da temperatura, trazendo preocupações para o setor agrícola, uma vez que o estresse térmico em conjunto ao déficit hídrico são os estresses abióticos que mais impactam na produção e qualidade das culturas (KRUSZKA et al., 2014). A cevada é vulnerável a altas temperaturas, em condições de estresse térmico, o crescimento e desenvolvimento das plantas são afetados e conseqüentemente o rendimento e a qualidade fisiológica das sementes (DAWOOD et al., 2020).

O grau de dano que as plantas podem sofrer com o estresse térmico depende da intensidade do aumento da temperatura e o tempo de exposição a esse estresse (BAHRAMI & RAHIMMALEK, 2019). Assim, o estresse térmico pode provocar lesões celulares nas plantas, tais como, desnaturaçãõ ou degradação de proteínas, inativação enzimática, aumento da fluidez dos lipídeos da membrana e

perda da integridade da membrana (DAWOOD et al., 2020). A fotossíntese também é amplamente afetada em condições de alta temperatura, uma vez que ocorrem alterações nas proteínas do cloroplasto e no desempenho dos canais iônicos, com isso, plantas submetidas a este estresse apresentam redução na produtividade final (KRUSZKA et al., 2014).

Além de todos os problemas citados anteriormente, quando as sementes e plântulas são submetidas a altas temperaturas e baixa umidade, há a ocorrência de estresse hídrico, devido ao fato de que nessas condições os vegetais tendem a aumentar os processos de transpiração e evapotranspiração (DAWOOD et al., 2020), e isso pode interferir no desenvolvimento fenológico da cevada, principalmente quando a cultura esta na fase de floração (IHSAN et al., 2019). Neste sentido, Kruszka et al. (2014) afirmam que o estresse por calor é muitas vezes acompanhado da seca, e a ocorrência simultânea desses dois estresses são as principais limitações para a produção agrícola em escala mundial.

O estresse térmico pode ser definido como a ocorrência de temperaturas extremas, acima da faixa ótima para determinada cultura (IHSAN et al., 2019). De maneira geral, a ocorrência de altas temperaturas são acompanhadas da seca, que unidas se tornam a principal limitação estressora abiótica para os vegetais (PRZULJ et al., 2014). Neste sentido Radzikowska et al. (2020) afirmam que a ocorrência do estresse de restrição hídrica associado ao estresse por alta temperatura causa na planta limitação na assimilação de CO₂.

A temperatura está diretamente relacionada às várias funções das plantas, tais como, germinação das sementes, partição da matéria seca, fotossíntese e respiração (IHSAN et al., 2019). É um dos principais fatores que influenciam no processo germinativo de uma semente, com isso, a presença de altas temperaturas durante esta etapa pode comprometer o crescimento e desenvolvimento inicial das culturas, acarretando em um estabelecimento inadequado da lavoura, que terá reflexos negativos no rendimento final (ULLAH et al., 2022).

1.3 Estresses abióticos e a restrição hídrica

Um estresse abiótico pode ser definido como qualquer fator externo que cause impactos negativos no desenvolvimento de uma planta (LI et al., 2013). A ocorrência de estresses abióticos durante o ciclo de vida de uma planta são as

principais causas de redução do rendimento final em um campo de produção (WARSI et al., 2021).

A seca, altas e baixas temperaturas, solo alcalino e inundações do solo são exemplos de estresses abióticos que podem apresentar efeitos adversos na produção agrícola (GÜREL et al., 2016). Estes estresses causam modificações nas vias metabólicas das plantas, além de afetarem o crescimento e desenvolvimento da cultura (LI et al., 2013).

O solo e o clima são os principais fatores que influenciam na disponibilidade hídrica para as plantas, sendo está um fator crítico para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais (MAROK et al., 2013). Durante o seu ciclo de vida, as plantas podem ficar expostas a diversos estresses abióticos, dentro dos quais a restrição hídrica é um dos mais comuns de ocorrer, nesta situação, processos bioquímicos, morfológicos, moleculares e fisiológicos acabam sendo prejudicados, ocasionando inibição do crescimento do vegetal (MEZER et al., 2014).

A restrição hídrica pode ser definida como uma situação em que o turgor e o potencial hídrico da planta são reduzidos de maneira a interferir nas funções básicas das espécies vegetais (SHAO et al., 2008). Devido, principalmente, ao fato de que esse estresse causa redução das trocas gasosas, fechamento dos estômatos, perda da eficiência fotossintética da planta e limitação da absorção de nutrientes (SILVA et al., 2011). Também causa diminuição do potencial hídrico do solo, reduzindo a absorção de água pelas raízes (KOSOVÁ et al., 2018).

A restrição hídrica pode causar nas plantas uma interrupção precoce do desenvolvimento floral e levar à esterilidade (KAZAM et al. 2015). Além de afetar as fases de crescimento e desenvolvimento das plântulas (CHO et al., 2017), tanto que este estresse abiótico é considerado um dos principais problemas que afeta tanto o rendimento final da cultura como a taxa de crescimento e desenvolvimento dos vegetais, isso porque ele afeta negativamente alguns processos fisiológicos e bioquímicos nas vias celulares e moleculares da planta (AKITHA & GIRIDHAR, 2105), como, fotossíntese, absorção de íons, translocação de solutos e o metabolismo de nutrientes e hormônios (CHAO et al., 2008). Tanto que ALGHABARI & IHSAN (2018) afirmam que plantas de cevada produzidas em condições de estresse hídrico têm a sua produtividade e crescimento afetados, devido a alterações de mecanismos morfofisiológicos.

Quando uma planta é exposta a restrição hídrica, o potencial de água em seus tecidos sofre um declínio, afetando o rendimento da cultura, isso porque influencia em todas as fases de desenvolvimento da planta (MAIA et al., 2020). Além disso, quando a planta é exposta a uma condição estressante durante a sua fase vegetativa ou reprodutiva, a qualidade fisiológica da semente pode ser afetada, pois estas condições afetam o conteúdo de cálcio, o acúmulo de matéria seca, a deposição do amido, a viabilidade e o vigor das sementes, além de ocasionar a formação de sementes deformadas e menores (PESKE et al., 2012).

A cevada apresenta tolerância moderada à seca e pode haver alguma diferença entre as cultivares de cevada quanto a essa tolerância, devido às diferenças genéticas existentes entre elas (MEZER et al., 2014). Sendo que o processo germinativo das sementes, ao lado do crescimento inicial das plântulas, são as fases mais suscetíveis ao déficit hídrico, com isso, sementes expostas à restrição hídrica tendem a ter o percentual de germinação reduzido (AMINI, 2013).

Quando a cevada sofre déficit hídrico, ela pode apresentar três estratégias para resistir a este estresse abiótico: (1) maximizar o uso da água na transpiração; (2) potencializar o nível de produção por unidade de transpiração e (3) sincronizar as fases fenológicas com suprimento de água sazonais (BUENO et al., 2020). Essas estratégias são utilizadas pela planta para regular a homeostase e reduzir os potenciais danos que o déficit hídrico pode causar (MAIA et al., 2020). Neste sentido, Mezer et al. (2014) afirmam que uma estratégia adaptativa das plantas à seca é a eficiência na captação da água, onde o acúmulo de solutos compatíveis e nutrientes minerais nas plantas quando estas estão sofrendo com o déficit hídrico auxiliam na manutenção do turgor, absorção de água e atividade metabólica.

O ajuste osmótico é um importante mecanismo para a tolerância da planta a restrição hídrica, onde os osmoprotetores se encontram acumulados no vacúolo e citossol, com o objetivo de preservar a integridade celular de enzimas, membranas celulares e proteínas, além de manter o equilíbrio hídrico (QUEIROZ et al., 2011). Sendo assim, o fechamento estomático é considerado uma resposta precoce ao déficit hídrico, isso porque os estômatos são capazes de fechar antes que ocorram alterações na quantidade de água presente nas folhas dos vegetais (MEZER et al., 2014). Entretanto, quando ocorre esse fechamento estomático há uma redução da concentração de dióxido de carbono (CO_2) intracelular, com a baixa concentração de CO_2 há a estimulação da oxigenação da ribulose-1,5-bifosfato, como

consequência desse evento, ocorre à formação, durante o processo de fotorrespiração, de peróxido de hidrogênio, sendo que este é uma das espécies reativas do oxigênio que mais causam danos ao metabolismo da planta (LEXA et al., 2019).

A ocorrência da restrição hídrica leva ao estresse oxidativo, comprometendo o mecanismo de fotossíntese, isso porque, nesta situação, ocorre uma limitação da difusão do CO₂ através dos estômatos, assim, as plantas ficam expostas a uma grande quantidade de energia luminosa, que não pode ser convertida em energia bioquímica, como consequência, há a produção de espécies reativas ao oxigênio (MAROK et al., 2013). A fotossíntese pode ser impactada diretamente e indiretamente pela restrição hídrica, os efeitos diretos estão relacionados a limitações de difusão através dos estômatos e do mesófilo, enquanto que os efeitos indiretos estão associados às alterações do metabolismo fotossintético, como a ocorrência do estresse oxidativo (MEZER et al., 2014).

A restrição hídrica pode causar impactos negativos tanto no crescimento quanto no desenvolvimento das plantas (LI et al., 2013). Pois este estresse causa diminuição de trocas gasosas, devido ao fechamento estomático, redução do potencial hídrico das folhas e inibição da respiração e fotossíntese das plantas (SHAO et al., 2008).

Plantas que são submetidas a restrição hídrica tendem a ter seus estômatos fechados, para proteção contra a perda de água, com isso, ocorre restrição da difusão do CO₂ atmosférico e da taxa fotossintética (BARBOSA et al., 2014). E essa interferência no processo de abertura e fechamento dos estômatos pode causar maior formação de espécies reativas ao oxigênio, resultando em estresse oxidativo (SHAO et al., 2008). Porém, as ações de enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, podem reduzir a formação de espécies reativas ao oxigênio (FAGHANI et al., 2015).

O crescimento vegetativo está diretamente relacionado à eficiência do processo fotossintético (MEZER et al., 2014). Com isso, é afetado negativamente quando as plantas estão expostas a estresses, neste sentido, a restrição hídrica pode causar problemas, quanto ao crescimento vegetal, principalmente, pelo fato de que ele causa alterações no processo fotossintético da planta, afetando tanto a fixação do dióxido de carbono quanto à captação de energia radiante (PANDA et al., 2006). Plantas de cevada que sofrem com o déficit hídrico apresentam menor

produtividade de sementes e biomassa vegetativa, além da redução no extrato do malte e no percentual de proteína solúvel (BUENO et al., 2020).

O rendimento de sementes de cevada é diretamente influenciado pela fase de floração da planta, pois é quando o número de sementes por espigas e o comprimento das espigas são definidos, e quando há restrição hídrica durante essa fase fenológica, podem ocorrer perdas na produtividade (BUENO et al., 2020). Com isso, a disponibilidade hídrica durante este período é fundamental para a obtenção de altas produtividades em um campo de produção (KAZAM et al., 2015).

O rendimento também é afetado pela restrição hídrica durante a fase de enchimento de grãos, pois quando a planta sofre esse estresse, há uma redução no peso das sementes, número de sementes por espiga e teor de carboidrato (BUENO et al., 2020). A diminuição na massa das sementes ocorre devido ao fato de que a deficiência hídrica acelera o processo de senescência das folhas, reduzindo o período de enchimento das sementes, acarretando na redução do seu peso (ALGHABARI & IHSAN, 2018).

1.4 Tratamento de sementes

Por volta do ano de 1600 foi constatado a primeira utilização de um fungicida no tratamento de sementes, se trata do Sulfato de Cobre (CuSO_4), que foi manejado para combater fungos que atacavam a cultura do trigo (RADZIKOWSKA et al., 2020). Desde então, a utilização de inseticidas e fungicidas incorporados às sementes com o intuito de proteger a cultura contra patógenos e aumentar a produtividade está sendo cada vez mais comum nos países que apresentam uma agricultura tecnificada (DAN et al., 2013).

Nos dias atuais ocorre um sistema intensivo de produção agrícola nas mais distintas regiões do planeta, e a incidência de patógenos e pragas está diretamente relacionada a este fator, uma vez que o fornecimento de fertilizantes, bem como a disponibilidade da água em doses ideais, facilitam a proliferação, sobrevivência e disseminação dos mais variados tipos de pragas e patógenos (SHAKIR et al., 2016). Sendo assim, a realização do tratamento de sementes é um manejo importante para diminuir a incidência de infestação e infecção de patógenos nas sementes (PEREIRA et al., 2019). Com isso, esta prática pode fornecer, quando

realizado da maneira correta, incremento na produtividade e a produção de um produto de maior qualidade (BEZPAL'KO et al., 2020). Ainda, alguns inseticidas utilizados no tratamento de sementes, além de proporcionar o controle de pragas, podem atuar fisiologicamente na planta, auxiliando no crescimento inicial e no desenvolvimento do vegetal (ABATI et al., 2014).

Além da ocorrência de condições climáticas favoráveis, ferramentas tecnológicas são essenciais para a obtenção de altos tetos produtivos em uma lavoura, e neste cenário entra o tratamento de sementes (ANNAMALAI et al., 2018). No tratamento de sementes podem ser utilizados diversos produtos, dentre os quais estão os agroquímicos, como fungicidas e inseticidas (PEREIRA et al., 2019). Esses são utilizados com o intuito de reduzir ou eliminar agentes causais que apresentam potencial para causar danos nas plantas, podendo acarretar em morte dos vegetais, sendo necessário, nessa situação, o replantio e a utilização de defensivos químicos, o que acaba aumentando o custo de produção (BANIANI et al., 2016).

O manejo ineficiente do tratamento de sementes, ou ainda a não realização do mesmo, pode causar problemas para a cultura da cevada, uma vez que, neste cenário, a incidência de patógenos nas plantas pode aumentar, ocasionando a morte dos vegetais, e conseqüentemente diminuindo o rendimento final (AGOSTINETTO et al., 2018). Por outro lado, realizar o tratamento de sementes, da maneira correta, auxiliam as culturas a expressarem todo o seu potencial genético (ANNAMALAI et al., 2018). Uma vez que ele é um método eficaz na redução de possíveis estresses bióticos que possam assolar as plantas durante o seu ciclo de vida (LACERDA et al., 2021).

As sementes podem ser uma fonte de patógenos que possuem a capacidade de prejudicar o desenvolvimento das plantas e conseqüentemente reduzir a produtividade final da cultura (RADZIKOWSKA et al., 2020). Neste sentido, a utilização de produtos químicos para a realização do tratamento de sementes é utilizada com uma alternativa para suprimir tais problemas (BANIANI et al., 2016). Annamalai et al. (2018) afirmam que a utilização de inseticidas no tratamento de sementes é considerada uma prática agrônômica de baixo custo e viável para o controle de pragas que possam atacar as raízes ou parte aérea das plantas no seu início do desenvolvimento.

A utilização de produtos químicos no tratamento de sementes é um método preventivo para o controle de pragas e doenças, porém, em alguns casos, os resíduos deixados por estes produtos podem prejudicar o crescimento das plantas (OLADAPO et al., 2021). Pereira et al. (2019) afirmam que a utilização de alguns produtos químicos no tratamento de sementes pode reduzir a germinação das mesmas, bem como reduzir a sobrevivência das plântulas. Além disso, alguns destes produtos químicos podem causar diversos distúrbios nas plantas, afetando alguns processos do vegetal, como fotossíntese, respiração, reações biossintéticas, composição molecular e crescimento celular (SHAKIR et al., 2016).

Além da função básica de proteger a cultura contra patógenos, os produtos utilizados para a realização do tratamento de sementes também podem fornecer efeitos secundários no vegetal, causando alguns distúrbios no metabolismo da planta, que podem vir a causar fitotoxicidade para a cultura, afetando, tanto o seu crescimento e desenvolvimento inicial, bem como a produtividade final da cultura (MURPHY et al., 2017; RADZIKPWSKA et al., 2020). Por outro lado, além da proteção contra patógenos e doenças, alguns ingredientes ativos presentes nos produtos utilizados para a realização do tratamento de sementes podem beneficiar o crescimento e desenvolvimento da cultura (SOARES et al., 2014).

Tanto os produtos químicos utilizados no tratamento de sementes quanto a ocorrência de estresses abióticos podem causar a redução da porcentagem de germinação e influenciar negativamente o crescimento inicial das plântulas, sendo que quando ocorrem em conjunto, estes efeitos deletérios podem ser ainda mais expressivos (ROCHA et al., 2020). O principal motivo pelo o qual os produtos químicos utilizados na realização do tratamento de sementes afetam negativamente a planta é a capacidade de causar fitotoxicidade ao vegetal (RADZIKOWSKA et al., 2020).

1.5 Enzimas antioxidantes

As espécies reativas ao oxigênio, consideradas citotóxicas, apresentam a capacidade de causar danos severos ao metabolismo das plantas através de estresses oxidativos, ocasionando, desta forma, peroxidação lipídica (AKITHA & GIRIDHAR, 2105). Tanto a restrição hídrica como as altas temperaturas podem

umentar a formação de espécies reativas ao oxigênio (ZAHEDI et al., 2016) nos cloroplastos, peroxissomos e mitocôndria (ELAKHDAR et al., 2022). Superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), hidroxila (OH^-) e oxigênio singlete (O_2^{\cdot}), são alguns exemplos de espécies reativas ao oxigênio (AKITHA & GIRIDHAR, 2105). Além de que estes são as espécies reativas ao oxigênio mais comum de ocorrer em casos de estresse hídrico (HUSEYNOVA et al., 2014) e térmico (GUPTA et al., 2013).

Com o aumento da produção de espécies reativas ao oxigênio, o estado redox celular é ajustado através de um sistema antioxidante (ELAKHDAR et al., 2022). As enzimas antioxidantes superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase atuam como mecanismo de defesa da planta contra os efeitos maléficos das espécies reativas ao oxigênio, diminuindo a quantidade de superóxido e peróxido de hidrogênio presentes nas plantas (BARBOSA et al., 2014; ZAHEDI et al., 2016). Contudo, a atividade enzimática pode variar de acordo com o período em que a planta é submetida aos estresses, a gravidade destes, a espécie vegetal, a idade da planta e a capacidade da planta em tolerar os estresses impostos a ela (AKITHA & GIRIDHAR, 2015).

O oxigênio molecular (O_2) apresenta grande importância para o desempenho das funções celulares de uma planta, entretanto, este mesmo O_2 pode levar a formação das espécies reativas ao oxigênio, com o objetivo de neutralizar os efeitos maléficos da citotoxicidade causadas pelo efeito das espécies reativas ao oxigênio, as plantas desenvolveram mecanismos de defesa enzimáticos e não enzimáticos, estes antioxidantes atuam de tal forma que evitam, sequestram ou promovem a degradação de radicais livres, prevenindo, desta forma, a possível ocorrência de danos às células das plantas (BARBOSA et al., 2014).

Em baixas concentrações as espécies reativas ao oxigênio não causam problemas ao metabolismo da planta e podem operar como agentes de sinalização intracelular para desencadear respostas de defesa da planta (ZHANASSOVA et al., 2021). Isso porque, quando há a ocorrência de estresses leves ou moderados, a produção de espécies reativas ao oxigênio é fortemente regulada por enzimas antioxidantes (SKOWRON & TROJAK, 2020). Entretanto, a alteração entre o equilíbrio de produção e neutralização de espécies reativas ao oxigênio leva ao aumento da mesma a níveis intracelulares, ocasionando o estresse oxidativo (BARBOSA et al., 2014). Essa situação comumente ocorre quando as plantas

sofrem algum estresse ambiental (KOSAVA et al., 2018), como o déficit hídrico e as altas temperaturas.

Em situações adequadas de cultivo, a síntese e a homeostase das espécies reativas ao oxigênio apresentam equilíbrio, entretanto, ele pode ser afetado em situações de estresse sofrido pelas plantas, dos quais são enquadrados tanto o déficit quanto a ocorrência de temperaturas acima do ideal para a cultura (ZHOU et al., 2019). Além disso, processos metabólicos que são dependentes do oxigênio levam à formação de espécies reativas ao oxigênio, assim, a fotossíntese, a respiração aeróbica e a fotorrespiração podem ocasionar a geração de espécies reativas ao oxigênio nos cloroplastos, peroxissomos e mitocôndrias, respectivamente, as plantas que sofrem estresse hídrico ou térmico, ou ainda a combinação desses dois estresses abióticos, como um mecanismo de defesa, tendem a ter os seus estômatos fechados, conseqüentemente haverá a formação de espécies reativas ao oxigênio nos cloroplastos, devido à baixa concentração de CO₂ (BARBOSA et al., 2014).

A ocorrência da restrição hídrica diminui a concentração de CO₂ cloroplástico, como consequência, durante o processo de fotorrespiração, há uma predominância na produção de peróxido de hidrogênio, o que causa um desequilíbrio no estado regulador redox das células vegetais (SKOWRON & TROJAK, 2020).

A superóxido dismutase é uma família de metaloenzimas presentes em organismos aeróbicos e esta relacionada com a remoção de espécies reativas ao oxigênio (ZHOU et al., 2019). Os SODs podem ser classificados em três categorias, de acordo com o tipo de cofator de metal, são elas, Cu/Zn-SOD (CSD), Fe-SOD (FSD) e Mn-SOD (MSD), sendo que o CSD são os mais abundantes nas plantas (BARBOSA et al., 2014). É considerada um dos principais antioxidantes enzimáticos, uma vez que ela apresenta papel fundamental no processo de catalisação da dismutação de radicais livres de superóxidos, assim, ela atua na proteção das células vegetais ao dano oxidativo (ZHOU et al., 2019). Participa de processos que envolvem a modulação do nível de peróxido de hidrogênio nos peroxissomos, mitocôndria, cloroplasto e citosol (BARBOSA et al., 2014). Uma vez que o superóxido dismutase dismuta os radicais superóxido (O₂⁻) em peróxido de hidrogênio, para que assim a catalase e a ascorbato peroxidase possam agir sobre

as moléculas de peróxido de hidrogênio e então elimina-las (AKITHA & GIRIDHAR, 2105).

A catalase é uma enzima que atua no processo de eliminação de peróxido de hidrogênio que é gerado durante a fotorrespiração, bem como, na β -oxidação dos ácidos graxos (BARBOSA et al., 2014). Concentrações muito altas de peróxido de hidrogênio podem apresentar efeitos tóxicos para as plantas (HUSEYNOVA et al., 2014). Neste sentido, a catalase apresenta grande importância no combate ao estresse oxidativo, isso porque, converte duas moléculas de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) em água e oxigênio molecular (O_2) (ZAHEDI et al., 2016). Assim, evitando possíveis danos celulares causados pelo déficit hídrico (AKITHA & GIRIDHAR, 2105) e tendo como função a prevenção da peroxidação das plantas (ZHANASSOVA et al., 2021).

A ascorbato peroxidase é uma heme-proteína, sendo pertencente à classe I da superfamília das peroxidases, além de apresentar diferentes formas isoenzimáticas, estas podem ser encontradas nos peroxissomos, cloroplastos, mitocôndrias, citossol e parede celular (BARBOSA et al., 2014). De acordo com a compartimentação intracelular, a ascorbato peroxidase pode ser dividida em quatro tipos: dissolvido no estroma do cloroplasto, conectado ao tilacoide, forma citosólica e forma de membrana glioxissômica (HUSEYNOVA et al., 2014).

Devido ao fato de ter alta afinidade com o peróxido de hidrogênio, a ascorbato peroxidase possui a capacidade de eliminar o peróxido de hidrogênio, mesmo em situações em que ele se encontra em baixas concentrações (BARBOSA et al., 2014). Com isso, a atividade enzimática da ascorbato peroxidase pode ser maior do que a da catalase em plantas que sofreram déficits hídricos leves (AKITHA & GIRIDHAR, 2015).

O equilíbrio entre a produção de espécies reativas ao oxigênio e a sua eliminação é controlada pelo sistema antioxidante, em situações de crescimento ideal das culturas há um equilíbrio entre a produção e a eliminação das espécies reativas ao oxigênio (ABDELAAL et al., 2018). Entretanto quando os vegetais são submetidos a estresses abióticos, como a restrição hídrica e altas temperaturas, há uma produção excessiva de espécies reativas ao oxigênio, e estas causam estresse oxidativo (BOARETTO et al., 2014).

Neste cenário, o mecanismo antioxidante enzimático, representado principalmente pela superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, atuam

em conjunto para a realização da eliminação das espécies reativas ao oxigênio, quando estas estão sendo produzidas em excesso devido à presença de estresses abióticos (KABIRI & NAGHIZADEH, 2015). Porém, caso o sistema antioxidante não consiga eliminar o excesso de espécies reativas ao oxigênio, estas se acumulam nas células vegetais, podendo causar problemas nos mecanismos fisiológicos e bioquímicos do vegetal (HARB et al., 2015).

Quando submetidas a estresses abióticos os vegetais desenvolvem alguns mecanismos adaptativos para manter a pressão de turgor celular, como a regulação osmótica (SEMIDA et al., 2020), com isso, eles tendem a acumular metabólitos (ZHANG et al., 2015), tais como, açúcar solúvel, prolina e proteína (HUSSAIN et al., 2019). Assim, o acúmulo destes metabólitos está associado à proteção das plantas contra estresses abióticos (ZIVANOVIC et al., 2020). Isso porque concentrações elevadas dos metabólitos no sistema vegetal podem fornecer proteção aos órgãos celulares das plantas submetidas a estresses abióticos, uma vez que estes facilitam a atividade enzimática e aumentam o potencial de absorção da água (SINGH et al., 2015).

Quando expostas à restrição hídrica, os metabólitos são os principais reguladores osmóticos nas plantas (HUSSAIN et al., 2019). A manutenção da pressão de turgor celular é um mecanismo de defesa da planta contra estresses abióticos (PRAZERES et al., 2021), e esse processo ocorre através do acúmulo de solutos, como a prolina e açúcares (DIEN et al., 2019). Onde ocorre um ajuste osmótico para auxiliar no crescimento, desenvolvimento e sobrevivência das plantas durante o período de estresse, isso porque, esse ajuste osmótico faz com que o potencial osmótico da célula seja reduzido, como consequência haverá uma atração da água para a célula, o que ajuda esta a manter o seu turgor (PRAZERES et al., 2021).

Os açúcares solúveis fornecem carbonos para o pleno funcionamento do metabolismo celular e desempenham um importante papel no crescimento e na manutenção da estrutura geral das plantas (SINGH et al., 2015). Eles desempenham um papel fundamental no ajuste osmótico das células vegetais, além disso, eles atuam como sinalizadores moleculares, onde modulam alguns genes que estão relacionados com a fotossíntese e a síntese de osmólitos (SEMIDA et al., 2020).

Os açúcares garantem que o suprimento de carboidratos seja mantido nos vegetais em condições de estresses ambientais (FÀBREGAS & FERNIE, 2019). Assim, o aumento da concentração de açúcar solúvel está diretamente relacionado com os mecanismos de defesa das plantas para tolerar estresses abióticos (WU & LI, 2022). Isso porque o maior acúmulo de açúcares solúveis total permite maior integridade celular, quando as plântulas são submetidas a algum estresse abiótico, como a restrição hídrica e alta temperatura (MEDYOUNI et al., 2021). Os açúcares podem atuar como substituto da água, em situações de desidratação do vegetal, fornecendo uma camada de hidratação em torno das proteínas (SALLAM et al., 2019).

A prolina estabiliza a estrutura das proteínas e das membranas celulares, permite o ajuste osmótico e atua como um agente protetor de enzimas (DIEN et al., 2019), além de ser um eliminador de antioxidantes e radicais livres, diminuindo, desta forma, o estresse oxidativo (ZAHEDI et al., 2016). Ela também facilita a absorção de água das plantas em condições de estresse e melhora a homeostase redox (SINGH et al., 2015). Com isso, o acúmulo de prolina está diretamente correlacionado com a tolerância do vegetal em tolerar a restrição hídrica (FÀBREGAS & FERNIE, 2019).

O acúmulo de prolina é comum em vegetais expostos à restrição hídrica (SALLAM et al., 2019). E a sua biossíntese no sistema vegetal ocorre no citosol e plastídio e a sua degradação nas mitocôndrias (SINGH et al., 2015). Além disso, o acúmulo de prolina é uma resposta metabólita da planta quando esta for exposta à restrição hídrica (DIEN et al., 2019).

A proteína é o principal componente da organela e da matriz celular, ela funciona como um catalisador no processo de metabolismo celular e participa da regulação do potencial osmótico da planta (ZHANG et al., 2015). Com isso, ela é uma das principais biomoléculas que atuam no processo de osmorregulação (ZANASSOVA et al., 2021). O aumento da proteína quando as plantas estão expostas a algum tipo de estresse está relacionado ao mecanismo de manutenção do balanço hídrico (PRAZERES et al., 2021).

2. Capítulo I

Desempenho fisiológico e atividade antioxidante de sementes e plântulas de cevada sob restrição hídrica, altas temperaturas e tratamento de sementes

2.1 Introdução

A cevada (*Hordeum vulgares* L.) é um cereal de inverno da família Poaceae, produzida em diversas regiões do mundo, ocupa a quinta posição, em escala mundial, quanto à produção de grãos, além de que a cevada foi um dos primeiros cereais da história, ao lado do trigo, a serem produzidas pela humanidade, devido a sua capacidade de adaptação a diferentes ambientes de cultivo (BARBOSA et al., 2022).

Este cereal de inverno é utilizado para a alimentação animal como forragem e ração, e para a alimentação humana na fabricação de farinha, flocos e malte (JAQUES et al., 2019). No Brasil a produção de cevada esta concentrada na região sul (PESENTI et al., 2021), sendo que a produção do país deste cereal alcançou 510,2 mil toneladas na safra 2022 (CONAB, 2022).

Previsões climáticas sugerem que com o aumento da temperatura média haverá períodos de calor mais intensos e duradouros dos quais são observados na atualidade (FREY et al., 2015). Tanto que o aumento da temperatura é uma preocupação global, assim, há uma estimativa de que a temperatura média global aumente em 2°C nos próximos 50 anos (IQBAL et al., 2017). Com isso, pode ser intensificada a ocorrência simultânea dos estresses hídricos e térmicos, uma vez que, geralmente altas temperaturas são acompanhadas de períodos de seca, ainda, a combinação destes dois estresses abióticos podem causar distúrbios na biologia do vegetal, como inibição do crescimento e da fotossíntese, fechamento estomático e acúmulo de espécies reativas ao oxigênio, que podem causar o estresse oxidativo (ZHANASSOVA et al., 2021).

A germinação das sementes esta diretamente relacionada com a temperatura (IHSAN et al., 2019), com isso, a presença de altas temperaturas durante a germinação pode comprometer este processo (ULLAH et al., 2022). Além disso, o processo germinativo é uma das fases do ciclo de vida das culturas mais suscetíveis à ocorrência da restrição hídrica (AMINI, 2013).

A pratica de utilização de produtos químicos para a realização do tratamento de sementes é um manejo agrônômico feito com o intuito de controlar pragas e doenças que possam vir a prejudicar as sementes e plântulas no início do estabelecimento de uma lavoura, entretanto os resíduos deixados por estes produtos podem causar problemas no crescimento dos vegetais (OLADAPO et al., 2021). Neste sentido, a composição molecular, o crescimento celular, as reações biossintéticas, a fotossíntese e a respiração são alguns processos que podem ser afetados negativamente pelos resíduos dos produtos químicos utilizados no tratamento de sementes (SHAKIR et al., 2016). Eles também podem reduzir a germinação das sementes e a sobrevivência das plântulas (PEREIRA et al., 2019).

As espécies reativas ao oxigênio são citotóxicas e podem causar danos ao metabolismo dos vegetais por meio do estresse oxidativo (AKITH & GIRIDHAR, 2015). Neste sentido, os estresses por restrição hídrica e alta temperatura podem favorecer o aumento da formação de espécies reativas ao oxigênio (ZAHEDI et al., 2016). Nesta situação, enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase, catalase e ascorbaro peroxidase, atuam como mecanismo de defesa dos vegetais contra os problemas causados pelas espécies reativas ao oxigênio (BARBOSA et al., 2014).

Com isso, o objetivo do presente estudo foi de avaliar os efeitos causados pelo ambiente hídrico e térmico desfavorável em associação ao tratamento de sementes e sua influência no desempenho fisiológico de sementes e na atividade antioxidante das plântulas.

2.2 Material e métodos

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Biosementes, Departamento de Fitotecnia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Universidade Federal de Pelotas.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 5x6x2 (5 cultivares, 6 tratamentos de semente e 2 condições hídricas), com 4 repetições.

Foram utilizadas as cultivares Danielle, BRS Korbel, BRS Brau, Imperatriz e BRS Quaranta, e os seguintes tratamentos de sementes: controle (ausência de tratamento de sementes), Fipronil BRT 250 FS (i.a. = Fipronil), Baytan FS (i.a. = Triadimenol), Certeza N (i.a. = Fluazinam + Tiram), Cruiser Opti (i.a. = Lambda-Cialotrina + Tiametoxam) e Standak Top (i. a. = Fipronil + Piraclostrobrina + Tiofanato-Metílico).

Para a realização do tratamento de sementes, foram utilizados sacos plásticos contendo as sementes, para a deposição dos produtos no interior dos sacos plásticos foram utilizadas seringas hipodérmicas, depois de injetado os produtos, foi realizado a mistura manual, para a homogeneização.

A dose e volume de calda utilizados foram de acordo com a recomendação das bulas dos respectivos produtos utilizados. Foram pesadas 100 gramas de sementes de cada cultivar, e realizada a conversão da dose e volume de calda dos produtos de acordo com a massa de sementes utilizada. Para o Fipronil BRT FS a dose utilizada foi de 0,15 mL/100g de sementes e volume de calda de 3 mL/100g de sementes. Para o Baytan FS a dose utilizada foi de 0,27 mL/100g de sementes e o volume de calda de 0,5 mL/100g de sementes. Para o Certeza N a dose utilizada foi de 0,2 mL/100g de sementes e o volume de calda de 0,5 mL/100g de sementes. Para o Cruiser Opti a dose utilizada foi de 0,25 mL/100g de sementes e o volume de calda de 0,8 mL/100g de sementes. Para o Standak Top a dose utilizada foi de 0,2 mL/100g de sementes e volume de calda de 0,5 mL/100g de sementes.

As sementes para germinar e se desenvolverem foram dispostas em B.O.D às temperaturas de 20°C e 30°C. E, sob duas condições hídricas, sendo capacidade de retenção do substrato (2,5 vezes a massa do papel seco) e restrição hídrica. A restrição hídrica foi imposta através de solução de água deionizada e polietilenoglicol (PEG 6000), sendo o potencial osmótico utilizado de -0,30 Mpa, com base em estudos preliminares realizados por Koch (2019).

Para a mensuração do efeito da condição ambiental abiótica de restrição hídrica e excesso térmico sobre o desempenho fisiológico de sementes e na atividade antioxidante das plântulas de cultivares de cevada foram avaliados os seguintes parâmetros:

Germinação: foram utilizadas 50 sementes para cada subamostra, semeadas entre três folhas de papel *germitest*, sendo mantidas em câmara de germinação do tipo B.O.D. na temperatura correspondente de cada tratamento (20°C e 30°C). As contagens foram realizadas aos sete dias após semeadura e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Primeira contagem da germinação: realizada conjuntamente com o teste de germinação, sendo avaliada a porcentagem de plântulas normais. A contagem foi realizada aos quatro dias após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Índice de Velocidade de Germinação: obtido a partir de contagens diárias, efetuadas sempre no mesmo horário, das sementes germinadas apresentando protrusão radicular mínima de 3 a 4 mm, até a obtenção de número constante (NAKAGAWA, 1994).

Para a determinação da atividade enzimática antioxidante, após o final do teste de germinação, as plântulas foram coletadas e alocadas em sacos plásticos herméticos, e armazenadas a temperatura de -80°C em ultrafreezer até a análise das amostras.

Atividade enzimática antioxidante: 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

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.

A superóxido dismutase (EC 1.15.1.1) foi avaliada pela capacidade da enzima em inibir a fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT) (GIANNOPOLIS & RIES, 1977), em um meio de reação composto por fosfato de potássio 100 mM pH 7,8, metionina 14 mM, EDTA 0,1 µM, NBT 75 µM e riboflavina 2 µM. A placa com o meio de reação e a amostra foram iluminados por 10 minutos, com uma lâmpada fluorescente de 20 W. Um controle, contendo o mesmo meio de reação sem a amostra foi iluminado e um branco, contendo o meio de reação sem amostra e o meio de reação, permaneceu no escuro. Os resultados foram expressos em (Umg⁻¹ de proteína).

A 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). O meio de reação foi composto por tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), H₂O₂ 12,5 mM, água e o extrato enzimático, sendo a atividade monitorada pelo decréscimo na absorbância a 240 nm durante dois minutos incubado a 28°C. Os resultados foram expressos em µmol H₂O₂ min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

A ascorbato peroxidase (EC 1.11.1.11) foi determinada segundo Nakano & Asada (1981), monitorando-se a taxa de oxidação do ascorbato (ASA), a 290 nm. O meio de reação composto de tampão fosfato de potássio 100 mM pH 7,0, ácido ascórbico 0,5 mM e H₂O₂ 0,1 mM, incubado a 28 °C. O decréscimo na absorbância foi monitorado por um período de dois minutos a partir do início da reação. A atividade da enzima foi calculada utilizando o coeficiente de extração molar de 2,8 mol⁻¹L cm⁻¹. Os resultados foram expressos em µmol ASA min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

O conteúdo de peroxidação lipídica e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) foram determinados em 250-275 mg de matéria fresca. Os tecidos foram macerados em tampão de extração contendo ácido tricloroacético (TCA) a 0,1 %. O homogenato foi centrifugado a 12.000g, durante 20 minutos, sendo o sobrenadante transferido para microtubos Eppendorf, de 2 mL.

A quantificação do peróxido de hidrogênio foi determinada de acordo com Velikova et al. (2000). Em tubos de ensaio contendo tampão fosfato de potássio 10 mM pH 7,0 e KI 1 M, foi adicionada uma alíquota do sobrenadante, seguido de incubação a 30 °C, por 10 minutos. As leituras foram realizadas em

espectrofotômetro a 390 nm. A concentração foi calculada a partir de uma curva padrão de H_2O_2 (com concentrações de 20 μL , 40 μL , 60 μL , 80 μL , 100 μL , 120 μL , 140 μL e 160 μL), e expressa em μmol de H_2O_2 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). Ao meio de reação, composto por 0,5 % (p/v) de ácido tiobarbitúrico (TBA) e 10 % (p/v) de TCA, foi adicionada uma alíquota do sobrenadante, sendo posteriormente incubados a 90 °C, por 20 minutos. A reação foi paralisada por resfriamento rápido em gelo por 10 minutos, logo após a retirada do meio de incubação. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro, a 535 nm e 600 nm. O TBA forma complexos de cor avermelhada com aldeídos de baixa massa molecular, como o malonodialdeído (MDA), produto secundário do processo de peroxidação. A peroxidação lipídica foi expressa em μmol de MDA-TBA g^{-1} MF.

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.

2.3 Resultados e discussão

Não foram constatadas interações significativas entre os fatores cultivar e tratamento de sementes para a variável peróxido de hidrogênio, assim como entre os fatores condição hídrica e tratamento de sementes para as variáveis germinação, primeira contagem de germinação e peróxido de hidrogênio, e para a interação cultivar x condição hídrica x tratamento de sementes, somente para a variável peróxido de hidrogênio não houve interação significativa, sendo que para as demais variáveis esta interação foi constatada (Tabela 1).

Tabela 1: Resumo da análise de variância com os quadrados médios da germinação (GER), primeira contagem de germinação (PCG), índice de velocidade de germinação (IVG), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), peróxido (H₂O₂) e peroxidação lipídica (MDA), para a temperatura de 20°C.

F.V.	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS							
		G	PCG	IVG	SOD	CAT	APX	H ₂ O ₂	MDA
C	4	27,51 *	70,61*	10,97*	0,19*	0,01*	0,49*	218,26*	0,05*
CH	1	90,04*	522,15*	364,82*	18,93*	0,04*	10,3*	702,31*	0,11*
TS	5	2,83ns	27,19*	2,33*	0,21*	0,01*	0,32*	40,37*	0,01ns
C x CH	4	6,86*	24,73*	6,98*	0,09*	0,01*	0,26*	249,08*	0,01*
C x TS	20	3,36*	11,9*	0,71*	0,14*	0,01*	0,17*	10,13ns	0,01*
CH x TS	5	3,77ns	3,87ns	0,98*	0,36*	0,01*	0,36*	15,07ns	0,01*
C x CH x TS	20	4,65*	6,57*	1,08*	0,05*	0,01*	0,07*	7,52ns	0,01*
Resíduo	180	1,34	3,01	0,21	0,01	0,01	0,02	6,73	0,01
CV (%)		2,39	3,75	3,17	12,09	19,08	14,99	9,48	18,08

* = significativo a 5% de probabilidade

ns = não significativo a 5% de probabilidade

C: cultivar; CH: condição hídrica; TS: tratamento de sementes

A cultivar C3 (BRS Brau) apresentou diferença significativa para a variável germinação, em relação às demais cultivares estudadas no presente estudo, onde ela obteve a menor germinação (96%) quando não foi utilizado tratamento de sementes (TS1) em condição de suprimento adequado da água (Tabela 2). Esse

dados demonstra que a cultivar C3 (BRS Brau) apresenta viabilidade inferior de suas sementes, nesta situação, em comparação as outras cultivares analisadas, fato este que pode ser explicado pelo ambiente interação genótipo x ambiente de multiplicação. Jarwar et al. (2019) afirmam que a base genética de uma cultivar pode influenciar no rendimento final da cultura, bem como na qualidade fisiológica das sementes produzidas.

Tabela 2: Germinação, primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 20°C.

Germinação (%)										
Suprimento Adequado de Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	98 Aaa	100 Aaa	96 Baa	98 Aaa	100 Aaa	96 Aaa	97 Aaa	96 Aaa	98 Aaa	96 Aaa
TS2	100 Aaa	99 Aaa	100 Aaa	98 Aaa	98 Aaa	88 Bbβ	98 Aaa	100 Aaa	96 Aaa	100 Aaa
TS3	92 Bba	99 Aaa	99 Aaa	100 Aaa	100 Aaa	92 Baa	95 Abβ	90 Bbβ	99 Aaa	99 Aaa
TS4	97 Aaa	98 Aaa	99 Aaa	100 Aaa	100 Aaa	95 Aaa	97 Aaa	97 Aaa	99 Aaa	97 Aaa
TS5	98 Aaa	98 Aaa	98 Aaa	98 Aaa	100 Aaa	94 Baβ	92 Bbβ	98 Aaa	99 Aaa	98 Aaa
TS6	99 Aaa	98 Aaa	100 Aaa	100 Aaa	100 Aaa	88 Cbβ	95 Bbβ	93 Bbβ	100 Aaa	98 Aaa
CV (%) 2,39										
Primeira Contagem de Germinação (%)										
Suprimento Adequado de Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	95Aaa	97Aaa	94Aaa	93Aaa	99Aaa	87Aaβ	87Bbβ	87Bbβ	91Aaa	92Aaβ
TS2	95Aaa	96Aaa	98Aaa	97Aaa	95Aba	83Bbβ	86Bbβ	91Aaβ	95Aaa	95Aaa
TS3	85Bba	97Aaa	95Aaa	96Aaa	97Aaa	85Bba	84Bbβ	81Bcβ	92Aaa	93Aaa
TS4	96Aaa	97Aaa	98Aaa	98Aaa	98Aaa	92Aaa	92Aaβ	95Aaa	94Aaa	95Aaa
TS5	95Aaa	93Aaa	98Aaa	95Aaa	98Aaa	88Aaβ	80Bcβ	93Aaa	93Aaa	93Aaβ
TS6	92Bba	93Bba	100Aaa	99Aaa	92Bba	81Cbβ	89Baa	91Baβ	97Aaa	92Baa
CV (%) 3,75										
Índice de Velocidade de Germinação										
Suprimento Adequado de Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	15,88Baa	16,25Aaa	15,49Bba	15,65Baa	16,31Aaa	13,91Aaβ	13,13Baβ	13,83Aaβ	13,98Aaβ	14,74Abβ
TS2	15,99Aaa	15,97Aaa	16,42Aaa	16,09Aaa	15,93Aaa	12,69Bbβ	13,20Baβ	13,14Baβ	12,90Bbβ	15,90Aaa
TS3	14,61Bba	15,90Aaa	16,02Aaa	16,11Aaa	16,15Aaa	12,63Bbβ	12,18Bbβ	12,13Bbβ	12,68Bbβ	14,51Abβ
TS4	15,77Aaa	16,12Aaa	16,23Aaa	16,32Aaa	16,29Aaa	13,45Baβ	13,20Baβ	13,85Baβ	13,33Bbβ	14,48Abβ
TS5	15,90Aaa	15,86Aaa	16,15Aaa	15,88Aaa	16,44Aaa	14,25Baβ	12,37Dbβ	13,38Caβ	13,91Baβ	15,01Abβ
TS6	15,88Baa	15,84Baa	16,50Aaa	16,43Aaa	15,84Baa	11,83Ccβ	13,15Baβ	13,34Baβ	13,83Baβ	15,37Aaa
CV (%) 3,17										

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivar dentro de cada tratamento de semente e cada condição hídrica, mesma letra minúscula na coluna para tratamento de sementes dentro de cada cultivar e cada condição hídrica e mesma letra grega para condição hídrica para cada cultivar e cada tratamento de sementes não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. C1: Danielle. C2: BRS Korbel. C3: BRS Brau. C4: Imperatriz. C5: BRS Quaranta. TS1: Controle. TS2: Fipronil BRT 250 FS. TS3: Baytan FS. TS4: Certeza N. TS5: Cruiser Opti. TS6: Standak Top.

A cultivar C1 (Danielle) obteve menor germinação (92%), quando sob TS3 (Baytan FS), para a condição de suprimento adequado da água (Tabela 2). Ou seja, dentre as cultivares estudadas, esta foi a que apresentou maior influência do produto mesmo em condição adequada de suprimento hídrico. Tanto que dentre todos os produtos utilizados no tratamento de sementes, a única situação em que houve diferença estatística entre os produtos, no suprimento adequado de água, foi quando o TS3 (Baytan FS) foi aplicado no tratamento das sementes da cultivar C1 (Danielle) (Tabela 2).

O Baytan FS é um fungicida sistêmico, utilizado no tratamento de sementes das culturas do algodão, aveia, cevada e trigo, o ingrediente ativo deste produto é o triadimenol e o seu grupo químico é o triazol (BAYER, 2022). Os fungicidas triazólicos atuam inibindo a enzima lanosterol 14 α -desmetilase, sendo que esta enzima é essencial para a biossíntese do ergosterol, por sua vez, o ergosterol é um composto que desempenha papel fundamental na membrana celular dos fungos, ou seja, ao reduzir a biossíntese do ergosterol, conseqüentemente o crescimento e desenvolvimento dos fungos será reduzido (DORIGAN et al., 2019).

Os fungicidas pertencentes ao grupo químico dos triazóis podem ser tóxicos para alguns organismos não-alvos (ROMAN et al., 2021). Ou seja, quando é realizado o tratamento de sementes de cevada com o Baytan FS, este produto pode ocasionar fitotoxicidade para a cultura, e uma das conseqüências é a redução da viabilidade das suas sementes, corroborando com os dados apresentados anteriormente. Além disso, estudos demonstram a redução da germinação de sementes em função da utilização de produtos químicos que tem como ingrediente ativo o triadimenol, que é o caso do Baytan FS, como relatado por Baniani et al. (2016) para o algodão e Abati et al. (2014) para o trigo.

Em relação a germinação das cultivares quando submetidas à restrição hídrica, C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) diferiram das demais, quando apresentaram maior germinação ao ser aplicado o TS2 (Fipronil BRT 250 FS), TS3 (Baytan FS), TS5 (Cruiser Opti) e TS6 (Standak Top), enquanto que para o TS1 (Controle) e TS4 (Certeza N) não houve diferença significativa entre as cultivares (Tabela 2).

Estes dados sugerem a maior tolerância das cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) associada ao estresse restrição hídrica no início do ciclo, uma vez que apresentar maior germinação é um indicio de que a viabilidade das sementes

destas cultivares não tiveram tantos danos quanto das outras cultivares quando submetidas a restrição hídrica.

Enquanto que a C1 (Danielle) foi a cultivar que apresentou menor germinação quando submetida ao déficit hídrico, tanto que só não diferiu estatisticamente das demais cultivares estudadas quando aplicado o TS1 (Controle) e TS4 (Certeza N), nestas situações, não foram encontradas diferenças estatísticas entre as cultivares quando submetidas à restrição hídrica. Por outro lado, no TS2 (Fipronil BRT 250), TS3 (Baytan FS), TS5 (Cruiser Opti) e TS6 (Standak) a C1 (Danielle) apresentou diferença estatística em comparação com as demais cultivares, obtendo valores reduzidos de germinação. Com isso, é possível averiguar a suscetibilidade desta cultivar quanto a sua viabilidade ao ser exposta a seca (Tabela 2).

Os produtos utilizados no tratamento de sementes diferiram estatisticamente entre si, na condição de restrição hídrica, sendo o TS1 (Controle) e o TS4 (Certeza N) não causaram a redução da germinação de nenhuma cultivar. Enquanto que o TS2 (Fipronil BRT 250 FS) reduziu a germinação da C1 (Danielle), nesta situação a germinação constatada foi de 88%. O TS3 (Baytan FS) diminuiu a germinação da C2 (BRS Korbel) e C3 (BRS Brau) onde estas cultivares obtiveram 95% e 90% das sementes germinadas, respectivamente. O TS5 (Cruiser Opti) reduziu a germinação da C2 (BRS Korbel), onde a germinação constatada, para esta situação, foi de 92%. E o TS6 (Standak Top) causou a diminuição da germinação das cultivares C1 (Danielle), C2 (BRS Korbel) e C3 (BRS Brau), onde estas apresentaram germinação de 88%, 95% e 93%, respectivamente (Tabela 2).

Em relação às diferentes disponibilidades de água à que as sementes foram submetidas, é notório que a partir dos dados de germinação (Tabela 2), que em algumas situações, a restrição hídrica causa a redução da percentagem de germinação das sementes. Esse cenário ocorreu nas cultivares C1 (Danielle), C2 (BRS Korbel) e C3 (BRS Brau), enquanto que para as cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta), não houve diferença estatística entre as disponibilidades de água (Tabela 2).

A redução da germinação das sementes quando submetidas a restrição hídrica pode ocorrer porque a germinação e o desenvolvimento das plântulas são bastante influenciados pela ocorrência do déficit hídrico (THABET et al., 2018). Quando as sementes são submetidas à restrição hídrica os processos de produção

de energia acabam sendo comprometidos, impactando diretamente na redução da germinação (QUEIROZ et al., 2019). Além disso, em situações de falta de água, a absorção de água pelas sementes é reduzida, impossibilitando, em alguns casos, a germinação, uma vez que o processo de embebição acaba ficando comprometido (KHAFAGY et al., 2017). A capacidade das sementes em absorverem água é considerado um dos principais fatores para o sucesso do processo (ULLAH et al., 2022).

Para a variável primeira contagem de germinação, na condição de suprimento adequado da água, a cultivar C1 (Danielle) diferiu estatisticamente das demais, apresentando valor inferior, quando aplicado o TS3 (Baytan FS), com 85% de germinação (Tabela 2). Esse comportamento também foi constatado na variável germinação, o que indica que tanto a viabilidade quanto a expressão inicial do vigor das sementes da cultivar C1 (Danielle) podem ser afetados pela fitotoxicidade causada pelo TS3 (Baytan FS).

Além disso, as cultivares C1 (Danielle), C2 (BRS Korbel) e C5 (BRS Quaranta) diferiram estaticamente das demais cultivares quando foi aplicado o TS6 (Standak Top), sendo constatados valores inferiores, com 92%, 93% e 92%, respectivamente (Tabela 2).

Na situação de restrição hídrica é possível observar que as cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quarata) apresentaram valores superiores para a variável primeira contagem de germinação, em comparação com as outras cultivares (Tabela 2). Isso evidencia a tolerância superior à falta de água, uma vez que este teste é considerado um teste de vigor.

A C2 (BRS Korbel) foi a cultivar que apresentou os menores valores para a primeira contagem de germinação na condição de restrição hídrica, onde somente para o TS4 (Certeza N) não apresentou percentagem de germinação inferior às demais cultivares. Este fato evidencia que esta cultivar é suscetível a ocorrência de falta de água.

Ainda, para a variável germinação, foi constatado menores percentagens para a cultivar C1 (Danielle), enquanto que, como mencionado anteriormente, a percentagem da variável primeira contagem de germinação foi menor na cultivar C2 (BRS Korbel). Isso indica que o desempenho fisiológico da C1 (Danielle) é afetada com a restrição hídrica, enquanto que a expressão do vigor da C2 (BRS Korbel) também é prejudicado.

Em relação aos diferentes tratamentos de sementes utilizados no presente estudo, para condição de suprimento adequado da água, houve diferença estatística entre eles, onde houve redução da germinação para o TS2 (Fipronil BRT 250 FS) e TS6 (Standak Top) na cultivar C5 (BRSQuaranta), com 95% e 92% das sementes germinadas, respectivamente.

Ao utilizar o TS3 (Baytan FS) na C1 (Danielle), também houve redução da germinação na situação de suprimento adequado de água, onde a germinação foi de 85% (Tabela 2). Para a variável germinação este comportamento também foi constatado, evidenciando que a utilização do TS3 (Baytan FS) para C1 (Danielle) causa redução da sua viabilidade e expressão do vigor.

Na condição de restrição hídrica, todos os tratamentos de sementes, com exceção do TS4 (Certeza N), causaram a redução da primeira contagem de germinação em algum momento, sendo que o TS3 (Baytan FS) foi o produto que mais causou o declínio na germinação. Esse comportamento foi observado nas cultivares C1 (Danielle), C2 (BRS Korbel) e C3 (BRS Brau), onde os dados obtidos para a primeira contagem de germinação foram de 85%, 84% e 81%, respectivamente. Para as cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta), não houve diferença estatística significativa entre os produtos utilizados (Tabela 2).

Para as duas situação de disponibilidade hídrica é possível observar que houve situações em que a seca causou a redução para a variável primeira contagem de germinação. Isso acontece porque a disponibilidade da água é essencial para iniciar o processo germinativo (ANJUM et al., 2017). Sendo assim, quando uma semente é submetida ao déficit hídrico, a embebição de água por esta semente acaba sendo afetada negativamente, como consequência pode haver a inviabilização da sequência de eventos metabólitos relacionados ao processo de germinação, acarretando em redução da porcentagem de germinação das sementes (SANTOS et al., 2018).

Em relação a variável índice de velocidade de germinação, as cultivares diferiram significativamente entre si, na situação de suprimento adequado de água, sendo que apresentaram respostas diferentes aos produtos utilizados no tratamento de sementes. A cultivar C1 (Danielle) atingiu menor índice de velocidade de germinação em comparação as demais cultivares, quando aplicado o TS1 (Controle), TS3 (Baytan FS) e TS6 (Standak Top). Enquanto que as cultivares

C2 (BRS Korbel) e C5 (BRS Quaranta) para o TS6 (Standak Top). E as cultivares C3 (BRS Brau) e C4 (Impertariz) para o TS1 (Controle) (Tabela 2).

Quando submetida à restrição hídrica, a cultivar C5 (BRS Quaranta) apresentou os maiores valores de índice de velocidade de germinação, em comparação as demais cultivares (Tabela 2). A C5 (BRS Quaranta), para está variável, apresenta superioridade de resposta à restrição hídrica. Soares et al. (2014) afirmam que quanto maior o índice de velocidade de germinação, maior a capacidade da cultura em tolerar estresses que podem afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas. Toscano et al. (2017) relatam que o índice de velocidade de germinação é um importante parâmetro na escolha de genótipos tolerantes a determinado estresse. Amini (2013) constata que cultivares que apresentam processo germinativo acelerado são mais propícias a apresentarem melhor estabelecimento da cultura, principalmente em ambientes propícios a ocorrência da seca, melhorando o estabelecimento da lavoura e conseqüentemente aumentando o rendimento final. Para Queiroz et al.(2019) a capacidade de uma semente em germinar em situações de estresse está atrelado a sua eficiência em utilizar suas reservas em condições adversas.

Na condição de suprimento adequado da água, apenas o TS1 (Controle) e TS3 (Baytan FS) para a cultivar C1 (Danielle) e o TS1 (Controle) para a cultivar C3 (BRS Brau), diferiram estatisticamente dos demais tratamentos de sementes utilizados (Tabela 2). Neste cenário, é importante salientar possíveis efeitos prejudiciais em resposta a TS3 (Baytan FS) em C1 (Danielle), visto que além do menor índice de velocidade de germinação, também foram constatados a redução da germinação e da primeira contagem.

Para a condição de restrição hídrica, é possível verificar em TS3 (Baytan FS), que para todas as cultivares ocorreu redução no índice de velocidade de germinação em comparação com os demais tratamentos de sementes (Tabela 2).

O TS6 (Standak Top) quando aplicado na cultivar C1 (Danielle), apresentou o menor resultado para o índice de velocidade de germinação. Entretanto, para as demais cultivares, o produto resultou nos melhores índices de velocidade de germinação (Tabela 2). Neste sentido, diferentes cultivares apresentam distintas respostas a produtos químicos utilizados no tratamento de sementes (CHAICHI et al., 2022). Uma vez que os compostos químicos presentes nos produtos apresentam a capacidade de causar efeitos de citogenotoxicidade, podendo causar

danos cromossômicos e morte celular sendo que o nível de ocorrência desses efeitos depende, dentre outros fatores, da capacidade da cultivar em tolerá-los (BERNARDES et al., 2019). Neste sentido, Schons et al. (2018) afirmam que as características genéticas de uma cultivar podem ser cruciais para determinar o nível de interferência que um estresse pode causar no vegetal.

Comparando as duas disponibilidades hídrica, suprimento adequado de água e restrição hídrica, é possível observar que quando submetida ao déficit hídrico a cevada apresenta uma redução no seu índice de velocidade de germinação. Isso porque a restrição hídrica limita a embebição das sementes durante o processo de germinação, podendo, desta forma, inviabilizar a sequência de eventos fisiológicos e bioquímicos, como consequência a velocidade de germinação será reduzida (SANTOS et al., 2018). Nestas condições, pode haver falta de energia para que o processo germinativo seja realizado na totalidade, acelerando a perda de qualidade e desempenho da semente.

A atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase aumentou quando as sementes foram submetidas à restrição hídrica, em comparação com a condição de suprimento adequado de água (Tabela 3). Neste contexto, a produção e eliminação de espécies reativas ao oxigênio podem ser controladas na célula vegetal, entretanto o equilíbrio entre produção e eliminação pode ser perturbado quando sob condição de estresse (LAXA et al., 2019).

Quando as plantas são expostas ao déficit hídrico ocorre à formação de espécies reativas ao oxigênio (HUSEYNOVA et al., 2014; ZHANASSOVA et al., 2021). Como consequência, há aumento da atividade enzimática da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, uma vez que estas enzimas fazem parte do sistema antioxidante das plantas, atuando como um mecanismo de defesa do vegetal aos efeitos das espécies reativas ao oxigênio (BARBOSA et al., 2014).

Há trabalhos científicos que corroboram com a ideia trazida no presente estudo de que a atividade enzimática da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase aumentam quando as plantas são submetidas à restrição hídrica, como, Zhao et al. 2016 em milho que constataram aumento da atividade enzimática da superóxido dismutase. Skowron & Trojak (2020) em cevada observaram o aumento da atividade enzimática da catalase. Prazeres et al. (2021) em milho evidenciaram aumento da atividade enzimática ascorbato peroxidase.

Tabela 3: Atividade enzimática da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, e peroxidação lipídica de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 20°C.

Superóxido Dismutase (unidades.min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)										
Suprimento Adequado da Água					Restrição Hídrica					
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	0,2098Ccβ	0,2734Ccβ	0,4912Baβ	0,7132Aaβ	0,7212Aaβ	1,0455Cba	0,8569Dbα	1,2434Bba	1,4237Aaa	1,2035Bba
TS2	0,5674Abβ	0,4854Abβ	0,361Bbβ	0,2734Bcβ	0,5029Aaβ	1,2568Aaa	0,8615Bba	1,3818Aaa	1,3629Aaa	1,3348Aaa
TS3	0,6876Aaβ	0,7544Aaβ	0,5144Baβ	0,6447Aaβ	0,5144Baβ	1,1276Baa	1,3428Aaa	1,1523Bba	1,3400Aaa	1,3334Aaa
TS4	0,4900Bbβ	0,6493Aaβ	0,6318Baβ	0,4545Bbβ	0,5794Aaβ	1,1799Aaa	0,9760Bba	0,9761Bca	1,1743Aba	1,0952Aba
TS5	0,6571Aaβ	0,1736Bcβ	0,5440Aaβ	0,4957Abβ	0,5494Aaβ	1,2633Aaa	0,6588Cca	0,9698Bca	0,9014Bca	1,1640Aba
TS6	0,6229Baβ	0,7997Aaa	0,5322Baβ	0,7191Aaa	0,6256Baβ	0,9756Aba	0,8982Aba	0,8205Ada	0,8451Aca	0,9884Aca
CV (%) 12,09										
Catalase (μmol H ₂ O ₂ .min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)										
Suprimento Adequado da Água					Restrição Hídrica					
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	0,0117Bbβ	0,0145Bba	0,0248Bbβ	0,04213Abβ	0,0427Aaβ	0,0439Cba	0,0265Dbα	0,0459Cbβ	0,0907Aaa	0,0645Bca
TS2	0,0346Aaa	0,0331Aaβ	0,0359Abβ	0,0385Abβ	0,0324Abβ	0,0451Cba	0,0491Caa	0,0769Baa	0,0824Baa	0,137Aaa
TS3	0,0145Cbβ	0,0373Baa	0,0463Baa	0,0650Aaβ	0,0539Aaβ	0,0383Bba	0,0437Baa	0,0449Bba	0,0810Aaa	0,0855Aba
TS4	0,0250Baβ	0,0458Aaa	0,0476Aaa	0,0461Abβ	0,0531Aaa	0,0595Baa	0,0528Baa	0,0469Bba	0,0920Aaa	0,0620Bca
TS5	0,018Bbβ	0,0089Bbβ	0,0470Aaa	0,0549Aaβ	0,0185Bcβ	0,0705Baa	0,0334Dbα	0,0568Cba	0,0730Bba	0,0885Aba
TS6	0,0270Baβ	0,0313Baβ	0,0443Aaa	0,0505Aba	0,0490Aaβ	0,0446Bba	0,0448Baa	0,0450Bba	0,0620Bba	0,0768Aba
CV (%) 19,08										
Ascorbato Peroxidase (μmol Ascorb. min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)										
Suprimento Adequado da Água					Restrição Hídrica					
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	0,5385Bca	0,5400Bba	0,7803Aaβ	0,9556Aaa	0,7380Aaβ	0,7283Bca	0,7314Bca	1,1127Aaa	1,1159Aba	0,9681Aca
TS2	1,2418Aaa	0,7571Baβ	0,7379Baβ	0,7504Bbβ	0,8709Baβ	1,1040Aaa	0,9613Bba	0,9613Baa	1,2518Aba	1,2202Aba
TS3	0,8589Aba	0,8884Aaβ	0,6717Aaβ	0,7603Abβ	0,7480Aaβ	0,9561Bba	1,1546Baa	1,0425Baa	1,6660Aaa	1,6547Aaa
TS4	0,7434Abβ	0,8666Aaβ	0,7745Aaβ	0,8480Abβ	0,7580Aaβ	1,1720Aba	1,3420Aaa	1,2327Aaa	1,3473Aba	1,2709Aba
TS5	0,7539Abβ	0,2547Bcβ	0,7948Aaβ	0,8377Abβ	0,6627Aaβ	1,6541Aaa	0,9475Bba	1,0935Baa	1,6294Aaa	1,5500Aaa
TS6	0,8674Bba	0,9921Aaβ	0,8618Baa	1,0455Aaβ	0,7617Baβ	1,0461Bba	1,2761Aaa	0,9462Baa	1,4560Aaa	1,4295Aaa
CV (%) 14,99										
Peroxidação Lipídica - (μmol MDA-TBA g ⁻¹ MF)										
Suprimento Adequado da Água					Restrição Hídrica					
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	0,121Aaβ	0,123Aaa	0,067Bbβ	0,075Baa	0,059Bbβ	0,240Aaa	0,142Bba	0,134Baa	0,083Caa	0,094Cba
TS2	0,120Aaβ	0,144Aaβ	0,069Bbβ	0,081Baa	0,069Bbβ	0,196Aba	0,112Bba	0,129Baa	0,096Baa	0,130Baa
TS3	0,133Aaβ	0,133Aaa	0,777Bbβ	0,085Baa	0,098Bca	0,194Aba	0,134Bba	0,143Baa	0,103Caa	0,112Caa
TS4	0,124Aaβ	0,122Aaa	0,101Baβ	0,090Baa	0,087Bca	0,210Aba	0,126Bba	0,132Baa	0,092Caa	0,073Cba
TS5	0,136Aaa	0,126Aaβ	0,046Cbβ	0,085Baa	0,076Bba	0,121Cca	0,262Aaa	0,160Baa	0,103Caa	0,103Caa
TS6	0,122Aaβ	0,123Aaa	0,053Bbβ	0,063Baβ	0,101Aaa	0,230Aaa	0,130Bba	0,115Baa	0,102Baa	0,115Baa
CV (%) 18,08										

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivar dentro de cada tratamento de semente e cada condição hídrica, mesma letra minúscula na coluna para tratamento de sementes dentro de cada cultivar e cada condição hídrica e mesma letra grega para condição hídrica para cada cultivar e cada tratamento de sementes não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. C1: Danielle. C2: BRS Korbel. C3: BRS Brau. C4: Imperatriz. C5: BRS Quaranta. TS1: Controle. TS2: Fipronil BRT 250 FS. TS3: Baytan FS. TS4: Certeza N. TS5: Cruiser Opti. TS6: Standak Top.

A superóxido dismutase realiza a catalisação da reação dismutase do radical superóxido O_2^- , formando oxigênio molecular e peróxido de hidrogênio (HUSEYNOVA et al., 2014; ZHANASSOVA et al., 2021), para que assim os danos causados por estas espécies reativas ao oxigênio nas plantas seja reduzido (HUSSAIN et al., 2019). Com isso, através da Tabela 3 é possível verificar que a atividade enzimática da superóxido dismutase foi superior para as cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta).

Neste contexto, a determinação de cultivares tolerantes a seca esta diretamente relacionada ao sistema de proteção antioxidante (HUSEYNOVA et al., 2014). Uma vez que plantas que apresentam maiores níveis de atividade de enzimas antioxidantes possuem maior tolerância aos problemas causados pelo estresse oxidativo (ZHANASSOVA et al., 2021).

A catalase desempenha papel fundamental contra o estresse oxidativo, uma vez que proporciona uma rápida eliminação do peróxido de hidrogênio (HUSEYNOVA et al., 2014). Esta enzima neutraliza geração de peróxido de hidrogênio, realizando a conversão desta espécie reativa ao oxigênio em água e oxigênio (BARBOSA et al., 2014). Neste contexto, foi constatado para a catalase superioridade nas cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) (Tabela 3). Neste sentido, Skowron & Trojak (2020) afirmam que a maior atividade enzimática da catalase esta associada a tolerância a restrição hídrica.

A ascorbato peroxidase, assim como a catalase, é uma enzima antioxidante que elimina o excesso de peróxido de hidrogênio presente nas células vegetais (SMIRNOFF & ARNAUD, 2018). Assim como foi constatado para as enzimas superóxido dismutase e catalase, a atividade enzimática da ascorbato peroxidase foi superior para as cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) (Tabela 3).

A eficiência de uma planta em eliminar o excesso de espécies reativas ao oxigênio em decorrência de estresses depende, dentre outros fatores, da tolerância deste vegetal ao estresse que ela esta sendo exposta (ZHANASSOVA et al., 2021).

Em relação aos diferentes produtos utilizados para a realização do tratamento de sementes, na situação de suprimento adequado da água, o TS3 (Baytan FS) e o TS6 (Standak Top) foram os produtos que proporcionaram maior aumento da atividade enzimática da superóxido dismutase. O TS3 (Baytan FS), TS4 (Certeza N) e o TS6 (Standak Top) aumentaram a atividade enzimática da

catalase. E o TS2 (Fipronil BRT 250 FS) e o TS6 (Standal Top) foram os produtos que aumentaram a atividade enzimática da ascorbato peroxidase (Tabela 3).

O TS6 (Standak Top) foi o único produto na situação de suprimento adequado de água que proporcionou o aumento da atividade enzimática de todas as enzimas avaliadas (superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase). Estes dados evidenciam que em uma situação ideal de cultivo, temperatura e disponibilidade de água, ideais, o TS6 (Standak Top) tende a aumentar a atividade antioxidante das plântulas de cevada.

O aumento da atividade enzimática é um mecanismo utilizado pelas plântulas em tolerar estresses a qual elas possam ser submetidas (HUSSAIN et al., 2019), com isso, maior atividade enzimática destas favorece a sua tolerância à estresses, desta forma, os produtos utilizados no tratamento de sementes que auxiliam em uma maior produção da atividade enzimática acabam favorecendo a capacidade de tolerância dos vegetais. Lacerda et al. 2021 constatou que a utilização de fipronil e piraclostrobina favoreceu a atividade enzimática do trigo, em comparação com outros ingredientes ativos, corroborando com os dados trazidos anteriormente, uma vez que o TS6 (Standak Top) tem como ingrediente ativo o fipronil e a piraclostrobina, além do tiafonato-metílico.

Enquanto que na condição de restrição hídrica, o TS2 (Fipronil BRT FS 250) foi o que provocou o maior aumento da atividade enzimática da superóxido dismutase e catalase, enquanto que o TS3 (Baytan FS), TS5 (Cruiser Opti) e o TS6 (Standak Top) foram os produtos que proporcionaram maior aumento na atividade enzimática da ascorbato peroxidase (Tabela 3).

Na situação de suprimento adequado da água o TS2 (Fipronil BRT 250 FS), TS1 (Controle) e o TS5 (Cruiser Opti) foram os produtos que mais diminuíram a atividade enzimática da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, respectivamente (Tabela 3).

Já, na situação de restrição hídrica, a atividade enzimática da superóxido dismutase foi reduzida com a aplicação do TS6 (Standak Top). A atividade enzimática da catalase reduziu quando foi utilizado o TS1 (Controle) e o TS6 (Standak Top). E a atividade enzimática da ascorbato peroxidase diminuiu quando aplicado o TS1 (Controle) (Tabela 3).

Na condição de restrição hídrica os valores obtidos para a peroxidação lipídica foram superiores em comparação com a condição de suprimento adequado

de água (Tabela 3). Como consequência do estresse por restrição hídrica o acúmulo de peróxido de hidrogênio tende a ser maior, e como consequência há maior ocorrência da peroxidação lipídica e diminuição da integridade da membrana (ABDELAAL et al., 2018). Quando a semente fica exposta ao déficit hídrico pode ocorrer estresse oxidativo, assim, o aumento do conteúdo de peroxidação lipídica indicam a prevalência deste estresse (VASILAKOGLU et al. 2021).

As cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) apresentaram os menores valores para a peroxidação lipídica, na condição de restrição hídrica (Tabela 3). Neste sentido, Boaretto et al. (2014) afirmam que o aumento do teor de peroxidação lipídica esta relacionada com danos mais severos na membrana decorrente do estresse oxidativo, com isso, a ocorrência de menores teores destes compostos esta atrelado a tolerância do vegetal ao estresse pelo qual foi exposto.

Os dados trazidos anteriormente quanto à atividade enzimática da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase indicaram que as cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) apresentaram as maiores atividades destas enzimas, aliado aos menores valores de peroxidação lipídica obtidos por estas cultivares indicam a maior tolerância destas ao estresse por restrição hídrica.

Por outro lado, a cultivar C1 (Danielle) apresentou os maiores valores para a peroxidação lipídica, na condição de restrição hídrica (Tabela 3). Isso indica que quando o mecanismo protetor contra as espécies reativas ao oxigênio, representado pelo sistema antioxidante, é falho, ocorre uma perturbação do metabolismo do vegetal, representado pelo estresse oxidativo, devido as grandes quantidades das espécies reativas ao oxigênio, como o peróxido de hidrogênio, resultando, desta forma, em peroxidação lipídica (AKITHA & GIRIDHAR, 2013).

O TS4 (Certeza N) foi o produto utilizado na realização do tratamento de sementes que mais causou o aumento da peroxidação lipídica na situação de suprimento adequado de água. Enquanto que na situação de restrição hídrica os produtos TS5 (Cruiser Opti) e o TS6 (Standak Top) foram os que mais causaram o aumento da peroxidação lipídica.

A peroxidação lipídica é resultado de danos oxidativos ocasionados em situações em que o vegetal foi submetido a algum estresse e o mecanismo antioxidante não foi capaz de eliminar o excesso de espécies reativas ao oxigênio (AKHITA et al., 2015). Com isso, fica evidente que na situação de restrição hídrica, os ingredientes ativos que compõem o TS5 (Cruiser Opti), lambda-cialotrina e

tiametoxam, e o TS6 (Standak Top), fipronil, piraclostrobina e tiofonato-metílico. favoreceram o aumento da peroxidação lipídica, na situação de restrição hídrica.

Tabela 4: Desdobramento da interação significativa cultivar x condição hídrica para a variável peróxido de hidrogênio, para a temperatura de 20°C.

	Peróxido de Hidrogênio ($\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$)									
	Suprimento Adequado da Água					Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	26,98A β	27,35A β	29,89A α	27,40A α	27,21A α	34,13A α	32,37A α	30,96A α	24,33B β	25,45B α
TS2	26,44A α	29,04A α	30,80A α	28,82A α	27,87A α	28,72A α	30,67A α	28,71A α	23,38B β	25,45B α
TS3	25,73A α	27,84A β	27,45A α	28,14A α	26,92A α	26,62B α	32,94A α	26,13B α	23,39B β	26,02B α
TS4	25,08B β	29,08B α	28,58B α	35,32A α	26,09B α	31,50A α	29,18A α	26,27A α	22,76B β	26,75A α
TS5	26,94A β	28,41A β	27,82A α	28,38A α	24,85A α	32,11A α	32,96A α	27,68B α	22,97C β	27,84B α
TS6	25,88A α	28,54A α	28,22A α	29,14A α	25,54A α	28,61A α	31,52A α	27,23B α	24,05B β	25,50B α

CV (%) 10,36

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivar dentro de cada tratamento de semente e cada condição hídrica e mesma letra grega para condição hídrica para cada cultivar e cada tratamento de sementes não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. C1: Danielle. C2: BRS Korbel. C3: BRS Brau. C4: Imperatriz. C5: BRS Quaranta. TS1: Controle. TS2: Fipronil BRT 250 FS. TS3: Baytan FS. TS4: Certeza N. TS5: Cruiser Opti. TS6: Standak Top.

Na condição de restrição hídrica os valores obtidos para o peróxido de hidrogênio foram superiores em comparação com a condição de suprimento adequado de água (Tabela 4). Da mesma forma que aconteceu com a peroxidação lipídica (Tabela 3), isso acontece porque, ao ficarem exposta a condições de falta da água, os vegetais tendem a aumentar a sua produção de espécies reativas ao oxigênio, como consequência a quantidade de peróxido de hidrogênio presente no metabolismo das plântulas tende a ser maiores.

As cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) apresentaram os menores valores de peróxido de hidrogênio, quando comparada com as demais, na condição de restrição hídrica (Tabela 4). Este comportamento esta associado à atividade enzimática superior que estas cultivares apresentaram (Tabela 3), uma vez que quando o vegetal apresenta um sistema antioxidante eficiente, ocorrerá um equilíbrio entre a produção e eliminação das espécies reativas ao oxigênio.

C1 (Danielle) e C2 (BRS Korbel) foram as cultivares que apresentaram maiores valores de peróxido de hidrogênio (Tabela 4). Estes dados indicam que quando submetidas a restrição hídrica, elas apresentam suscetibilidade a este estresse abiótico, uma vez que o sistema antioxidante destas cultivares não foram suficientemente eficientes para remover o peróxido de hidrogênio produzido em excesso devido a condição estressante.

Todas as variáveis mensuradas na temperatura de 30°C apresentaram interação significativa entre todos os fatores estudados (Tabela 5).

Tabela 5: Resumo da análise de variância com os quadrados médios da germinação (GER), primeira contagem de germinação (PCG), índice de velocidade de germinação (IVG), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), peróxido (H₂O₂) e peroxidação lipídica (MDA), para a temperatura de 30°C.

F.V.	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS							
		G	PCG	IVG	SOD	CAT	APX	H ₂ O ₂	MDA
C	4	867,61*	883,15*	114,58*	9,39*	0,02*	3,21*	410,15*	0,01*
CH	1	3375,01*	4887,04*	578,05*	433,99*	0,42*	86,89*	605,49*	0,22*
TS	5	370,28*	108,13*	10,44*	6,45*	0,03*	4,53*	56,58*	0,01*
C x CH	4	4128,33*	1196,83*	144,07*	2,56*	0,01*	1,13*	52,42*	0,01*
C x TS	20	945,22*	42,54*	4,64*	1,17*	0,01*	0,71*	9,09*	0,01*
CH x TS	5	171,71*	39,27*	3,28*	4,43*	0,01*	1,53*	14,35*	0,01*
C x CH x TS	20	557,22*	27,55*	3,01*	1,46*	0,01*	0,29*	13,57*	0,01*
Resíduo	180	1893,01	12,98	1,11	0,09	0,01	0,06	2,62	0,01*
CV (%)		7,97	9,16	8,01	11,57	15,27	14,8	5,48	13,64

* = significativo a 5% de probabilidade

C: cultivar; CH: condição hídrica; TS: tratamento de sementes

Na condição de suprimento adequado de água a cultivar C1 (Danielle) sob TS1 (Controle) e TS3 (Baytan FS), com 84% e 71%, respectivamente, de germinação. A cultivar C3 (BRS Brau) sob TS6 (Standak Top), com 78% de germinação. E a cultivar C5 (BRS Quaranta) sob TS6 (Standak Top), com 81% de germinação (Tabela 6). Foram as cultivares que apresentaram germinação inferior, em comparação com as demais, na condição de suprimento adequado de água, ou seja, quando o estresse imposto foi apenas o térmico.

Entretanto na condição de restrição hídrica as cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) apresentaram a menor germinação, quando comparadas as demais cultivares, independente do produto utilizado no tratamento de sementes. Ou seja, é notório que quando combinado os estresses de seca e alta temperatura, as cultivares em questão reduzem a sua viabilidade.

Tabela 6: Germinação, primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 30°C.

Germinação (%)										
Suprimento Adequado da Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	84Baa	96Aaa	94Aaa	97Aaa	94Aaa	90Aaa	93Aaa	88Aaa	42Cbβ	73Baβ
TS2	86Aaa	95Aaa	87Aaa	90Aaa	82Abα	79Baa	91Aaa	75Bbβ	42Cbβ	51Cbβ
TS3	71Bbβ	87Aaa	94Aaa	95Aaa	83Abα	84Aaa	90Aaa	88Aaa	58Baβ	54Bbβ
TS4	91Aaa	90Aaa	91Aaa	94Aaa	95Aaa	89Aaa	88Aaa	88Aaa	43Cbβ	74Baβ
TS5	90Aaa	95Aaa	89Aaa	85Aaa	90Aaa	89Aaa	89Aaa	82Abα	56Baβ	52Bbβ
TS6	87Aaa	90Abβ	78Bbα	93Aaa	81Bbα	78Aaa	87Aaa	88Aaa	62Baβ	59Bbβ
CV (%) 7,97										
Primeira Contagem de Germinação (%)										
Suprimento Adequado da Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	83Baa	96Aaa	94Aaa	95Aaa	94Aaa	87Aaa	91Aaa	87Aaa	39Cbβ	70Baβ
TS2	81Baa	95Aaa	87Aaa	90Aaa	82Bbα	78Aaa	84Aaβ	70Bbβ	40Bbβ	48Bbβ
TS3	70Bbα	85Aaa	92Aaa	94Aaa	83Abα	78Aaa	82Aaa	82Aaa	41Cbβ	52Bbβ
TS4	86Aaa	87Aaa	90Aaa	94Aaa	95Aaa	88Aaa	82Aaa	88Aaa	42Cbβ	70Baβ
TS5	90Aaa	93Aaa	89Aaa	83Aaa	90Aaa	85Aaa	80Aaβ	78Abβ	51Baβ	44Bbβ
TS6	82Baa	88Abα	77Bbα	92Aaa	80Bbα	78Aaa	87Aaa	86Aaa	56Baβ	54Bbβ
CV (%) 9,16										
Índice de Velocidade de Germinação										
Suprimento Adequado da Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	13,88Baa	15,82Aaa	15,71Aaa	15,93Aaa	15,50Aaa	14,76Aaa	15,27Aaa	14,14Aaβ	5,67Cbβ	11,38Baβ
TS2	13,94Baa	15,75Aaa	14,58Aaa	14,99Aaa	13,54Bbα	12,98Bbα	14,42Aaa	12,12Baβ	5,76Dbβ	7,63Cbβ
TS3	11,69Bbα	14,18Aaa	15,39Aaa	15,46Aaa	14,19Abα	13,00Abα	14,25Aaa	13,28Aaβ	7,52Baβ	8,00Bbβ
TS4	14,72Aaa	14,78Aaa	14,90Aaa	15,62Aaa	15,67Aaa	14,63Aaa	14,08Aaa	14,35Aaβ	6,39Cbβ	12,10Baβ
TS5	14,65Aaa	15,58Aaa	14,96Aaa	13,94Aaa	15,10Aaa	14,19Aaa	13,89Aaβ	13,00Aaβ	8,00Baβ	7,93Bbβ
TS6	14,17Baa	15,41Abα	12,96Bbα	15,41Aaa	13,42Bbα	13,48Abα	14,40Aaa	13,80Aaa	9,03Baβ	9,08Bbβ
CV (%) 8,01										

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivar dentro de cada tratamento de semente e cada condição hídrica, mesma letra minúscula na coluna para tratamento de sementes dentro de cada cultivar e cada condição hídrica e mesma letra grega para condição hídrica para cada cultivar e cada tratamento de sementes não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. C1: Danielle. C2: BRS Korbel. C3: BRS Brau. C4: Imperatriz. C5: BRS Quaranta. TS1: Controle. TS2: Fipronil BRT 250 FS. TS3: Baytan FS. TS4: Certeza N. TS5: Cruiser Opti. TS6: Standak Top.

Com isso, é possível verificar, através dos dados de germinação trazidos anteriormente, que as cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) tendem a ser mais sensíveis que as demais cultivares, ao serem expostas ao estresse térmico e restrição hídrica simultaneamente. Neste sentido, Steiner et al. (2016) afirmam que cultivares que apresentam tolerância aos estresses térmicos e hídricos, durante a fase de germinação, são mais propensas a estabelecer maior uniformidade no

campo quando estes estresses abióticos estiverem presentes no ambiente de cultivo.

O TS2 (Fipronil BRT 250 FS) causou a redução da germinação das sementes da cultivar C5 (BRS Quaranta) na condição de suprimento adequado de água, onde, nesta situação, a germinação foi de 82%. O TS3 (Baytan FS) reduziu a germinação das sementes das cultivares C1 (Danielle) e C5 (BRS Quaranta), que apresentaram 71% e 83% de suas sementes germinadas, respectivamente. E o TS6 (Standak Top) reduziu a germinação das sementes das cultivares C2 (BRS Korbel), C3 (BRS Brau) e C5 (BRS Quaranta), onde elas apresentaram 90%, 78% e 81%, respectivamente de suas sementes germinadas (Tabela 6).

Na situação de restrição hídrica, todos os produtos utilizados no tratamento de sementes reduziram a germinação. O TS1 (Controle) reduziu a germinação da C4 (Imperatriz). O TS2 (Fipronil BRT 250 FS) nas cultivares C3 (BRS Brau), C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta). O TS3 (Baytan FS) reduziu a germinação da C5 (BRS Quaranta). O TS4 (Certeza N) da C4 (Imperatriz). O TS5 (Cruiser Opti) diminuiu a germinação da C3 (BRS Brau) e da C5 (BRS Quaranta). E o TS6 (Standak Top) reduziu a germinação da C5 (BRS Quaranta) (Tabela 6).

A restrição hídrica proporcionou reduções mais acentuadas na germinação das sementes, quando comparado com a condição de suprimento adequado de água, para as cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) (Tabela 6). Assim, altas temperaturas podem influenciar na germinação das sementes, devido ao fato de que este estresse abiótico pode influenciar em processos fisiológicos e bioquímicos responsáveis pelo início do processo germinativo, e também na absorção de água durante a germinação das sementes (TOSCANO et al., 2017).

Sementes que ficam expostas à restrição hídrica, em alguns casos, podem não conseguirem absorver a quantidade mínima de água para iniciar o processo de germinação (MASETTO et al., 2017). A disponibilidade de água associada à temperatura regula a germinação das sementes, assim, condições de restrição hídrica aliadas a altas temperaturas podem reduzir a germinação das sementes (TOSCANO et al., 2017).

Na condição de suprimento adequado de água a cultivar C1 (Danielle) diferiu estatisticamente das demais, para a variável primeira contagem de germinação, obtendo valores inferiores, na situação em que o produto utilizado no tratamento de sementes foi o TS1 (Controle), TS2 (Fipronil BRT 250 FS), TS3 (Baytan FS) e TS6

(Standak Top), sendo que a porcentagem de sementes germinadas foi de 83%, 81%, 70% e 82%, respectivamente. Para o TS4 (Certeza N) e TS5 (Cruiser Opti) não houve diferença significativa entre as cultivares (Tabela 6). Esses dados demonstram que a cultivar C1 (Danielle) apresenta maior suscetibilidade ao estresse térmico, quando comparado às demais cultivares, uma vez que a redução da porcentagem de germinação na primeira contagem sugere perda da expressão do vigor, neste caso, quando submetida a altas temperaturas.

Quando as cultivares foram submetidas à restrição hídrica, é notório observar que o desempenho das cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) foi inferior às demais cultivares (Tabela 6). Além disso, a diminuição da porcentagem de sementes germinadas para estas cultivares também foi constatada para a variável germinação, evidenciando que elas tendem a sofrer mais com a ocorrência simultânea dos estresses de falta de água e altas temperaturas.

O TS2 (Fipronil BRT 250 FS) causou a redução dos valores obtidos na primeira contagem de germinação das sementes da cultivar C5 (BRS Quaranta) na condição de suprimento adequado de água, onde, nesta situação, a germinação foi de 82%. O TS3 (Baytan FS) reduziu a primeira contagem de germinação das sementes das cultivares C1 (Danielle) e C5 (BRS Quaranta), que apresentaram 70% e 83% de suas sementes germinadas, respectivamente. E o TS6 (Standak Top) reduziu a primeira contagem de germinação das sementes das cultivares C2 (BRS Korbel), C3 (BRS Brau) e C5 (BRS Quaranta), onde elas apresentaram 88%, 77% e 80%, respectivamente de suas sementes germinadas (Tabela 6).

Na situação de restrição hídrica, todos os produtos utilizados no tratamento de sementes reduziram a primeira contagem de germinação. O TS1 (Controle) reduziu a primeira contagem de germinação da C4 (Imperatriz). O TS2 (Fipronil BRT 250 FS) nas cultivares C3 (BRS Brau), C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta). O TS3 (Baytan FS) na C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta). O TS4 (Certeza N) da C4 (Imperatriz). O TS5 (Cruiser Opti) na C3 (BRS Brau) e da C5 (BRS Quaranta). E o TS6 (Standak Top) para a C5 (BRS Quaranta) (Tabela 6).

A C2 (BRS Korbel) foi a única cultivar que apresentou valores superiores, estatisticamente, em comparação às demais cultivares, em todos os tratamentos de sementes utilizados, tanto na condição de suprimento adequado de água quanto na condição de restrição hídrica para a variável índice de velocidade de germinação (Tabela 6), ou seja, esta cultivar demonstrou possuir maior tolerância

para o estresse térmico e para a ocorrência do estresse térmico simultaneamente ao estresse hídrico.

Já, para a condição de suprimento adequado de água, a cultivar C1 (Danielle) apresentou os menores índices de velocidade de germinação, evidenciando a sua suscetibilidade ao estresse térmico, além disso, para a variável primeira contagem de germinação esse comportamento também ocorreu, corroborando com a ideia de suscetibilidade desta cultivar quando exposta a altas temperaturas.

Na condição de restrição hídrica C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) obtiveram os menores valores para o índice de velocidade de germinação (Tabela 6). Ou seja, quando estas cultivares são submetidas à restrição hídrica simultaneamente ao estresse térmico, ocorre o atraso da germinação de suas sementes, evidenciando a suscetibilidade destas quando expostas a estes estresses abióticos em conjunto.

A atividade enzimática da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase foi estatisticamente superior na condição de restrição hídrica (ocorrência do estresse térmico simultaneamente ao déficit hídrico), em comparação com a condição de suprimento adequado da água (somente estresse térmico) (Tabela 7).

Assim, quando uma semente é exposta ao estresse hídrico e térmico simultaneamente, a tendência é de que haja maior produção de espécies reativas ao oxigênio, em comparação com a ocorrência individual de cada estresse abiótico (ZHANASSOVA et al., 2021). Consequentemente, a tendência é de que a atividade enzimática das enzimas citadas anteriormente seja maior na situação em que os dois estresses estão ocorrendo simultaneamente, uma vez que, com a maior produção de espécies reativas ao oxigênio o sistema antioxidante será mais exigido frente à ocorrência do estresse oxidativo mais agressivo.

Na situação de suprimento adequado de água, as cultivares C1 (Danielle) e C2 (BRS Korbel) apresentaram maior atividade enzimática da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, em comparação com as outras cultivares (Tabela 7).

Tabela 7: Atividade enzimática da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 30°C.

Superóxido Dismutase (unidades.min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)										
Suprimento Adequado de Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	0,750Acβ	1,094Abβ	0,721Acβ	1,083Abβ	1,040Abβ	5,699Aaa	4,107Bca	3,839Bca	3,404Cba	3,542Caa
TS2	1,314Abβ	1,229Abβ	0,627Bcβ	0,449Bcβ	1,026Abβ	3,840Bba	5,973Aaa	2,826Cea	3,252Cba	3,142Cba
TS3	1,547Abβ	1,970Aaβ	1,128Bbβ	1,135Bbβ	1,662Aaβ	3,721Aba	3,946Aca	3,224Bda	2,795Bca	2,837Bba
TS4	2,066Aaβ	1,977Aaβ	1,527Baβ	1,174Bbβ	1,037Bbβ	4,149Bba	5,977Aaa	5,918Aaa	6,128Aaa	3,476Caa
TS5	1,443Abβ	1,066Abβ	0,695Bcβ	0,748Bcβ	0,657Bbβ	3,438Bca	4,976Aba	3,317Bda	3,062Bca	2,853Bba
TS6	2,093Aaβ	2,193Aaβ	1,646Baβ	1,591Baβ	0,972Cbβ	3,361Bca	4,671Aba	4,361Aba	3,278Bba	3,200Bca
CV (%) 11,57										
Catalase (μmol H ₂ O ₂ .min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)										
Suprimento Adequado de Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	0,060Abβ	0,074Abβ	0,015Bbβ	0,079Aba	0,069Aaβ	0,112Bba	0,249Ada	0,113Bca	0,098Bba	0,095Bca
TS2	0,036BCβ	0,074Abβ	0,072Aaβ	0,021Bcβ	0,0636Aaβ	0,099Bba	0,159Aca	0,120Bca	0,120Bba	0,127Bba
TS3	0,074Aaβ	0,088Abβ	0,056Aaβ	0,066Abβ	0,058Aaβ	0,195Baa	0,230Aba	0,172Bba	0,112Cba	0,130Cba
TS4	0,095Aaβ	0,113Aaβ	0,082Baβ	0,114Aaβ	0,056Caβ	0,182Baa	0,246Aba	0,257Aaa	0,265Aaa	0,157Caa
TS5	0,075Aaβ	0,083Abβ	0,028Bbβ	0,057Abβ	0,036Baβ	0,099Bba	0,121Ada	0,111Bca	0,094Bba	0,144Aaa
TS6	0,075Aaa	0,073Abβ	0,059Abβ	0,077Aba	0,064Aaβ	0,097Cba	0,274Aaa	0,129Bca	0,096Cba	0,100Cca
CV (%) 15,27										
Ascorbato Peroxidase (μmol Ascorb. min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)										
Suprimento Adequado de Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	1,731Aaβ	1,580Aaβ	0,327Cdβ	0,862Bbβ	0,976Baβ	2,277Aaa	2,534Aba	2,441Aba	2,138Bba	1,981Bba
TS2	0,918Abβ	1,266Abβ	0,262Bdβ	0,400Bcβ	0,471Bbβ	1,431Bba	2,337Aba	2,038Aba	2,090Aba	2,294Aaa
TS3	1,622Aaa	1,867Aaβ	1,124Bbβ	1,640Aaa	0,777Baβ	1,965Aaa	2,508Aba	2,062Bba	1,805Bca	1,813Bba
TS4	0,915Bbβ	1,559Aaβ	1,836Aaβ	1,685Aaβ	0,915Baβ	2,112Daa	4,077Aaa	4,090Aaa	3,019Baa	2,511Caa
TS5	0,716Abβ	0,852Acβ	0,731Acβ	0,785Abβ	0,6181Abβ	1,828Aba	2,248Aba	2,118Aba	1,962Aba	2,124Aba
TS6	0,662Bbβ	1,420Aaβ	1,217Abβ	1,106Abβ	0,793Baβ	1,658Cba	2,752Aba	2,137Bba	1,502Cca	1,921Bba
CV (%) 14,80										

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivar dentro de cada tratamento de semente e cada condição hídrica, mesma letra minúscula na coluna para tratamento de sementes dentro de cada cultivar e cada condição hídrica e mesma letra grega para condição hídrica para cada cultivar e cada tratamento de sementes não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. C1: Danielle. C2: BRS Korbel. C3: BRS Brau. C4: Imperatriz. C5: BRS Quaranta. TS1: Controle. TS2: Fipronil BRT 250 FS. TS3: Baytan FS. TS4: Certeza N. TS5: Cruiser Opti. TS6: Standak Top.

Assim, de uma maneira geral, quando a produção de espécies reativas ao oxigênio é superior a atividade das enzimas antioxidantes, o que geralmente ocorre quando as plantas sofrem com a restrição hídrica, ocorre o estresse oxidativo (HUSSAIN et al., 2019). Por isso, quanto maior a atividade das enzimas antioxidantes, maior é a tolerância das plantas aos possíveis estresses abióticos que ela pode estar exposta durante o seu ciclo de vida, como é o caso do estresse

térmico causado pelas altas temperaturas simultaneamente a ocorrência da restrição hídrica.

A literatura indica que a maior atividade das enzimas antioxidantes nas plantas é um sinal de que esta é tolerante ao estresse (LAXA et al., 2019). E segundo Pandey et al. (2017) cultivares que apresentam maior atividade enzimática de ascorbato peroxidase possuem maior tolerância ao estresse térmico do que as cultivares com menor atividade desta enzima.

Enquanto que na situação de suprimento adequado da água as cultivares C1 (Danielle) e C2 (BRS Korbel) demonstraram maior atividade das enzimas antioxidantes, na situação de restrição hídrica, a C2 (BRS Korbel) obteve valores superiores na atividade da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase (Tabela 7).

Neste sentido, os problemas relacionados à ocorrência de estresses nas plantas em conjunto são únicos e diferem de quando estes estresses ocorrem de forma individual (LAXA et al., 2019). Além disso, diferentes cultivares podem apresentar respostas moleculares distintas quando são expostas a estresses simultâneas e de forma individual (ZHAO et al., 2016).

Em relação aos diferentes produtos utilizados para a realização do tratamento de sementes, na situação de suprimento adequado da água, o TS6 (Standak Top) foi o produto que proporcionou maior aumento da atividade enzimática da superóxido dismutase. O TS4 (Certeza N) aumentou a atividade enzimática da catalase. E o TS3 (Baytan FS) e o TS4 (Certeza N) foram os produtos que aumentaram a atividade enzimática da ascorbato peroxidase (Tabela 7).

Enquanto que na condição de restrição hídrica, o TS4 (Certeza N) foi o produto que provocou o maior aumento da atividade enzimática da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase (Tabela 7). Demonstrando que quando ocorre o estresse por altas temperaturas simultaneamente a restrição hídrica, este produto favorece as atividades enzimáticas envolvidas no mecanismo antioxidante.

Na condição de restrição hídrica os valores obtidos para o peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica foram maiores quando comparados com a condição de suprimento adequado da água (Tabela 8). Quando há a ocorrência da restrição hídrica, a presença de espécies reativas ao oxigênio aumenta, sendo que uma delas é o peróxido de hidrogênio, com isso, a ocorrência de peroxidação

lipídica também pode aumentar, causando lesões na membrana, inativação enzimática, branqueamento de pigmentos, degradação de proteínas e interrupção das cadeias de DNA, conseqüentemente levando a morte celular (ABBAS et al., 2014).

Tabela 8: Peroxido de hidrogênio e peroxidação lipídica de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 30°C.

Peroxido de Hidrogênio ($\mu\text{mol de H}_2\text{O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$)										
Suprimento Adequado de Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	29,06Aa β	24,67Caa	27,36Bb β	31,05Aaa	28,48Bb β	33,49Aaa	25,32Caa	35,49Aaa	30,78Bba	35,49Aaa
TS2	28,19Ba β	25,67Caa	25,93Cb β	31,04Aa β	30,35Ab β	37,03Aaa	26,08Caa	32,77Bba	33,63Baa	33,74Baa
TS3	28,47Ca β	25,58Daa	29,63Ca β	33,45Aaa	32,61Baa	33,23Aba	25,51Ba β	36,07Aaa	32,68Aaa	32,31Aba
TS4	27,28Bb β	22,31Cba	26,10Bb β	27,28Bb β	32,72Aaa	28,33Bca	22,29Cb β	31,62Aba	31,54Aba	30,40Ab β
TS5	28,06Baa	22,69Cba	27,56Bb β	31,85Aaa	29,01Bba	28,44Bca	24,62Caa	32,32Aba	32,94Aaa	31,28Aba
TS6	29,64Aaa	23,66Cba	25,64Cb β	26,93Bb β	27,71Bb β	30,01Bca	24,91Ca β	32,18Bba	34,71Aaa	33,51Aaa
CV (%) 5,54										
Peroxidação Lipídica - ($\mu\text{mol MDA-TBA g}^{-1} \text{ MF}$)										
Suprimento Adequado de Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	0,097Bb β	0,059Cc β	0,101Bb β	0,111Bb β	0,137Aa β	0,146Bba	0,110Caa	0,167Aaa	0,186Aaa	0,177Aba
TS2	0,078Bc β	0,067Bc β	0,081Bb β	0,108Ab β	0,095Ab β	0,192Aaa	0,144Baa	0,173Baa	0,191Aaa	0,171Aba
TS3	0,146Aa β	0,092Bb β	0,129Aa β	0,118Aa β	0,104Ba β	0,121Bda	0,126Baa	0,178Aaa	0,188Aaa	0,173Aba
TS4	0,057Bc β	0,067Bc β	0,103Aba	0,094Ab β	0,085Ab β	0,142Aca	0,134Aaa	0,121Aba	0,129Aba	0,130Aca
TS5	0,120Ab β	0,115Aaa	0,099Ab β	0,098Ab β	0,091Ab β	0,167Aba	0,126Baa	0,178Aaa	0,189Aaa	0,198Aaa
TS6	0,050Cc β	0,083Bb β	0,097Bb β	0,136Aa β	0,146Aa β	0,157Aca	0,128Caa	0,181Aaa	0,192Aaa	0,207Aaa
CV (%) 13,64										

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivar dentro de cada tratamento de semente e cada condição hídrica, mesma letra minúscula na coluna para tratamento de sementes dentro de cada cultivar e cada condição hídrica e mesma letra grega para condição hídrica para cada cultivar e cada tratamento de sementes não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. C1: Danielle. C2: BRS Korbel. C3: BRS Brau. C4: Imperatriz. C5: BRS Quaranta. TS1: Controle. TS2: Fipronil BRT 250 FS. TS3: Baytan FS. TS4: Certeza N. TS5: Cruiser Opti. TS6: Standak Top.

Tanto na condição de suprimento adequado da água, onde o estresse imposto foi o térmico, quanto na condição de restrição hídrica, onde o estresse imposto foi o térmico simultâneo à restrição hídrica, a cultivar C2 (BRS Korbel) apresentou os menores valores para o peróxido de hidrogênio e a peroxidação lipídica (Tabela 8).

A presença e acúmulo da peroxidação lipídica são indicativos da presença de danos oxidativos decorrentes de estresses, como a restrição hídrica e altas temperaturas (AKHITA & GIRIDHAR, 2013). Ou seja, quanto menor for o teor de peroxidação lipídica maior é a capacidade do vegetal em tolerar estresses a qual

este foi exposto, e foi o que aconteceu com a cultivar C2 (BRS Korbel), evidenciando a sua capacidade em tolerar os estresses por alta temperatura e a ocorrência da restrição hídrica simultânea a alta temperatura.

Por outro lado, as cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) obtiveram os menores valores para o peróxido de hidrogênio e para a peroxidação lipídica, na situação de suprimento adequado da água e na condição de restrição hídrica (Tabela 8). Esse comportamento está diretamente relacionado a falta da capacidade do mecanismo antioxidante destas cultivares em eliminar o excesso de espécies reativas ao oxigênio geradas pela imposição do estresse por alta temperatura e do estresse por alta temperatura simultaneamente ao estresse por restrição hídrica, tanto que, como mencionado anteriormente nos dados trazidos pela Tabela 7, as cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) apresentaram as menores atividade enzimáticas da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase.

Tanto na condição de suprimento adequado da água quanto na condição de restrição hídrica, o TS4 (Certeza N) foi o produto que proporcionou os menores valores de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica (Tabela 9), demonstrando que este produto causa menos fitotoxicidade, uma vez que quanto menor os teores das variáveis mencionadas anteriormente menos às plântulas sofreram com o estresse imposto. Além disso, como mencionando anteriormente, a atividade enzimática da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase foram favorecidas através da aplicação do TS4 (Certeza N), fato este que está diretamente associado à redução do teor de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica nas cultivares tratadas com este produto.

Neste sentido, a função primordial das enzimas antioxidantes é de eliminar o excesso de espécies reativas ao oxigênio, para evitar o estresse oxidativo, com isso, o peróxido de hidrogênio é uma das principais espécies reativas ao oxigênio capazes de ocasionar problemas ao metabolismo vegetal (ABDELAAL et al., 2018). Sendo assim, quanto maior a atividade enzimática, a tendência é de que menor seja a quantidade de peróxido de hidrogênio e a ocorrência de peroxidação lipídica.

Por outro lado, o TS3 (Baytan FS), na condição de suprimento adequado da água, e o TS1 (Controle) e o TS2 (Fipronil BRT 250 FS), na condição de restrição hídrica, foram os produtos que causaram maiores atividades de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica.

2.4 Conclusão

As cultivares Danielle, BRS Korbel e BRS Brau demonstram sensibilidade à restrição hídrica na germinação.

A cultivar BRS Korbel demonstrou menos sensibilidade ao estresse térmico, bem como a ocorrência do estresse térmico simultâneo à restrição hídrica.

A maioria dos produtos utilizados na realização do tratamento de sementes não causaram efeitos negativos na cevada, tanto na situação de suprimento adequado de água quanto na situação de restrição hídrica.

A ocorrência da restrição hídrica diminuiu a germinação das cultivares de cevada e aumentou a atividade das enzimas antioxidante.

3. Capítulo II

Crescimento inicial e desempenho metabólico de sementes e plântulas de cevada sob restrição hídrica, altas temperaturas e tratamento de sementes

3.1 Introdução

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) é um cereal de inverno que pode ser utilizado tanto na alimentação animal como pastagens e ração, quanto na alimentação humana para a fabricação de farinhas e principalmente pela indústria cervejeira para a obtenção do malte (TAVARES et al., 2015). No Brasil a produção de cevada esta concentrada nos três estados da região sul, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (PINHEIRO & GHESTI, 2018).

O Brasil não produz grãos de cevada suficiente para abastecer o mercado interno, sendo necessária a importação de outros países, além disso, no Brasil a cevada é destinada principalmente para as indústrias de bebidas para a produção do malte (JAQUES et al., 2019). Segundo dados da CONAB (2022), o país produziu 510,2 mil toneladas de grãos de cevada no ano de 2022.

Nos últimos anos as mudanças climáticas têm causado modificações nos ambientes em todas as regiões do planeta, dentre essas alterações, o aumento da temperatura tem sido cada vez mais constante, fato este que pode acometer as produções agrícolas, pois as altas temperaturas e a restrição hídrica são estresses abióticos que podem causar perdas na qualidade e na produção das culturas agrícolas (KRUSZKA et al., 2014). Geralmente quando um ambiente se encontra em uma situação de temperatura elevada, a tendência é de que as chuvas regulares sejam afetadas, com isso, a ocorrência do estresse térmico e restrição hídrica são comuns de ocorrer simultaneamente (PRZULJ et al., 2014).

O estresse por alta temperatura provoca nas sementes e plântulas desnaturação ou degradação de proteínas, perda da integridade da membrana,

lesões celulares, aumento da fluidez dos lipídios da membrana e inativação enzimática, podendo, desta forma, comprometer o crescimento inicial das plântulas (DAWOOD et al., 2020). Além disso, Amini (2013) afirma que o crescimento inicial das plântulas é uma das fases do ciclo de vida das culturas mais suscetíveis à ocorrência da restrição hídrica.

A função principal de um produto químico utilizado no tratamento de sementes é proteger a cultura de patógenos, entretanto alguns deles podem apresentar alguns efeitos secundários, que podem causar distúrbios no metabolismo do vegetal, através dos seus efeitos de fitotoxicidade, podendo afetar negativamente o crescimento das plântulas (RADZIKOWSKA et al., 2020). Porém, alguns ingredientes ativos que compõem estes produtos podem favorecer o crescimento e desenvolvimento dos vegetais (SOARES et al., 2014).

Para situações de ocorrência de estresses abióticos, como a restrição hídrica e as altas temperaturas, os vegetais desenvolveram alguns mecanismos adaptativos com o objetivo de manter a pressão de turgor celular, dentre os quais está a regulação osmótica (SEMIDA et al., 2020). Devido a isso o acúmulo de alguns metabólitos, como açúcar solúvel total e prolina são comuns em plântulas que sofreram com algum tipo de estresse abiótico (HUSSAIN et al., 2019). Neste sentido, o acúmulo de compostos metabólitos em situações de condições ambientais estressantes está associado a proteção dos vegetais contra tais estresses, devido ao fato de que concentrações elevadas dos metabólitos citados anteriormente podem fornecer proteção aos órgãos dos vegetais, quando estes são submetidos a estresses abióticos (SINGH et al., 2015).

Com isso, o objetivo do presente estudo foi de avaliar os efeitos causados pelo ambiente hídrico e térmico desfavorável em associação ao tratamento de sementes e sua influência na ecofisiologia do crescimento e no metabolismo da plântula.

3.2 Material e métodos

O trabalho foi conduzido no Laboratório de Biosementes, Departamento de Fitotecnia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Universidade Federal de Pelotas.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em um esquema fatorial 5x6x2 (5 cultivares, 6 tratamentos de semente e 2 condições hídricas), com 4 repetições.

Foram utilizadas as cultivares Danielle, BRS Korbel, BRS Brau, Imperatriz e BRS Quaranta, e os seguintes tratamentos de sementes: controle (ausência de tratamento de sementes), Fipronil BRT 250 FS (i.a. = Fipronil), Baytan FS (i.a. = Triadimenol), Certeza N (i.a. = Fluazinam + Tiram), Cruiser Opti (i.a. = Lambda-Cialotrina + Tiametoxam) e Standak Top (i.a. = Fipronil + Piraclostrobina + Tiofanato-Metílico).

Para a realização do tratamento de sementes, foram utilizados sacos plásticos contendo as sementes, para a deposição dos produtos no interior dos sacos plásticos foram utilizadas seringas hipodérmicas, depois de injetado os produtos, foi realizada a mistura manual, para a homogeneização.

A dose e volume de calda utilizados foram de acordo com a recomendação das bulas dos respectivos produtos utilizados. Sendo assim, foram pesadas 100 gramas de sementes de cada cultivar, e realizada a conversão da dose e volume de calda dos produtos de acordo com a massa de sementes utilizados. Para o Fipronil BRT FS a dose utilizada foi de 0,15 mL/100g de sementes e volume de calda de 3 mL/100g de sementes. Para o Baytan FS a dose utilizada foi de 0,27 mL/100g de sementes e o volume de calda de 0,5 mL/100g de sementes. Para o Certeza N a dose utilizada foi de 0,2 mL/100g de sementes e o volume de calda de 0,5 mL/100g de sementes. Para o Cruiser Opti a dose utilizada foi de 0,25 mL/100g de sementes e o volume de calda de 0,8 mL/100g de sementes. Para o Standak Top a dose utilizada foi de 0,2 mL/100g de sementes e volume de calda de 0,5 mL/100g de sementes.

As sementes para germinar e se desenvolverem foram dispostas em B.O.D às temperaturas de 20°C e 30°C. E, sob duas condições hídricas, sendo

capacidade de retenção do substrato (2,5 vezes a massa do papel seco) e restrição hídrica. A restrição hídrica foi imposta através de solução de água deionizada e polietilenoglicol (PEG 6000), sendo o potencial osmótico utilizado de $-0,30$ Mpa, com base em estudos preliminares realizados por Koch (2019).

Para a mensuração do efeito da condição ambiental abiótica de restrição hídrica e excesso térmico sobre a ecofisiologia do crescimento e no metabolismo das plântulas de cultivares de cevada foram avaliados os seguintes parâmetros:

Comprimento de parte aérea e raiz: foram utilizadas 10 plântulas para cada subamostra, ao final do teste de germinação. O comprimento de parte aérea foi obtido pela distância entre a inserção da porção basal da raiz primária ao ápice da parte aérea e o comprimento da raiz primária. Os resultados foram expressos em milímetros por plântula (cm plântula^{-1}).

Massa seca de parte Aérea e raiz: foram coletadas 10 plântulas por subamostra, ao final do teste de germinação. As plântulas foram separadas em parte aérea e raiz e cada fração foi acondicionada em envelopes de papel pardo, sendo submetidas à secagem em estufa com circulação de ar forçado, sob temperatura de $70 \pm 2^\circ\text{C}$, até a massa constante. Os resultados foram expressos em miligramas por plântula (mg plântula^{-1}).

Açúcares solúveis totais: as dosagens dos teores de açúcares solúveis totais foram realizadas com base na metodologia descrita por Grahmam & Smydzuk (1965). Alíquotas de 0,02 mL (restrição hídrica) e 0,05 mL (controle) de cada amostra, devidamente diluídas, e de um branco e padrões (15-200 μg de glicose/mL), foram pipetadas em tubos de ensaio previamente resfriados em banho de gelo. Em seguida, foi adicionado 3 mL de solução de antrona resfriada (0,15% em H_2SO_4 70%) por tubo. Os tubos foram imediatamente tapados com bolas de vidro e, após 15min de incubação, agitados e levados a banho-maria à temperatura de 90°C por 20 min. Posteriormente, transferidos para ambiente sem luz até atingir a temperatura ambiente, quando então, foram agitadas e realizadas as leituras das densidades ópticas a 620 nm. O teor de açúcares solúveis totais foi expresso em mg.g^{-1} MF.

Prolina: a quantificação do aminoácido prolina foi feita segundo o método descrito por Rena & Masciotti (1976). Adicionou-se 0,1 mL de glicina 0,1 M a alíquotas de 1600 μL da solução obtida pelo MCW, completando-se o volume da solução para 3 mL com água mili-Q. Adicionaram-se então, 2 mL de ácido acético

p.a. e 2 mL de solução de ninhidrina (600 mg de ninhidrina em 15 mL de ácido acético p.a. e 10 mL de ácido fosfórico 6 M). Os tubos foram agitados e incubados em banho-maria a 100 °C por 35 minutos. Depois, foram colocados em banho de gelo, sendo adicionados 4 mL de tolueno p.a. Agitou-se vigorosamente e a absorbância do sobrenadante (tolueno) foi determinada no comprimento de onda de 515 nm. A curva-padrão foi obtida com uma solução de prolina nas concentrações de 0, 0,5, 1,0, 2,0, 3,0 e 4,0 expressos em mmol mg^{-1} MF.

Teor de Proteínas Totais Solúveis: empregou-se o método proposto por Bradford (1976). As leituras foram efetuadas em espectrofotômetro a 595 nm e comparadas com a curva-padrão de caseína a 1%, sendo o teor proteico da amostra expresso em mg de proteína g^{-1} MF.

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.

3.3 Resultados e Discussão

Não foi constatado interação significativa entre os fatores condição hídrica e tratamento de sementes para a variável massa seca da parte aérea, enquanto que, para as demais variáveis todas as interações foram significativas (Tabela 9).

Tabela 9: Resumo da análise de variância com os quadrados médios do crescimento da parte aérea (CPA), crescimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), açúcar solúvel total (AST), prolina (PRO) e proteína (PRT), para a temperatura de 20°C.

F.V.	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS						
		CPA	CR	MSPA	MSR	AST	PRO	PRT
C	4	44,58*	40,83*	15,35*	15,22*	986,34*	12,68*	386,46*
CH	1	969,79*	54,34*	143,33*	24,99*	1376,25*	3221,62*	6429,35*
TS	5	73,74*	40,96*	9,16*	5,46*	159,87*	14,14*	99,45*
C x CH	4	6,49*	12,76*	2,53*	4,23*	131,37*	88,56*	436,83*
C x TS	20	2,31*	4,66*	1,23*	2,17*	65,31*	4,32*	88,82*
CH x TS	5	8,26*	6,01*	0,56ns	3,55*	59,42*	3,85*	63,03*
C x CH x TS	20	1,66*	3,21*	1,58*	1,52*	176,84*	7,96*	34,08*
Resíduo	180	0,62	0,78	0,64	0,52	19,39	0,48	13,72
CV (%)		9,47	8,92	11,2	10,5	13,28	5,92	14,44

* = significativo a 5% de probabilidade

ns = não significativo a 5% de probabilidade

C: cultivar; CH: condição hídrica; TS: tratamento de sementes

As cultivares C3 (BRS Brau) e C4 (Imperatriz) apresentaram diferença significativa em todos os tratamentos de sementes utilizados, inclusive o controle, apresentando valores inferiores para a variável comprimento da parte aérea, em comparação com as demais cultivares, na situação de suprimento adequado de água. Quando as cultivares foram submetidas à restrição hídrica, a cultivar C5 (BRS Quaranta) obteve resultados superiores para a variável comprimento da parte aérea, para todos os tratamentos de sementes utilizados (Tabela 10).

Tabela 10: Comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 20°C.

Comprimento da Parte Aérea (cm)										
	Suprimento Adequado da Água					Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	11,10Aba	12,29Aaa	9,09Bba	10,00Baa	12,12Aaa	7,56Aaβ	6,98Aaβ	6,10Baβ	7,15Aaβ	7,56Aaβ
TS2	12,26Aaa	11,74Aaa	8,66Bba	9,53Baa	11,83Aaa	6,43Baβ	7,15Baβ	4,62Cbβ	5,20Ccβ	9,44Aaβ
TS3	7,49Aca	7,69Aba	5,97Bca	5,78Bba	6,69Bba	5,47Abβ	4,37Bbβ	3,73Bbβ	3,83Bdβ	4,72Abβ
TS4	12,22Aaa	11,18Baa	10,88Baa	9,69Caa	12,05Aaa	6,59Baβ	6,79Baβ	6,63Baβ	5,92Bbβ	8,53Aaβ
TS5	12,66Aaa	12,71Aaa	10,12Baa	9,76Baa	11,63Aaa	5,35Bbβ	7,19Aaβ	5,66Baβ	5,82Bbβ	8,02Aaβ
TS6	11,01Bba	12,27Aaa	9,44Cba	10,28Baa	12,18Aaa	6,57Baβ	6,38Baβ	6,56Baβ	5,17Ccβ	8,52Aaβ
CV (%) 9,47										
Comprimento da Raiz (cm)										
	Suprimento Adequado da Água					Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	9,49Baa	11,72Aaa	11,67Aaa	11,67Aaa	9,50Bda	9,10Baa	8,63Bbβ	9,73Baβ	11,50Aaa	9,95Baa
TS2	8,11Cba	11,13Bba	10,06Bba	10,80Bba	12,73Aba	7,87Caa	10,60Baa	8,56Cbβ	11,90Aaa	9,81Baβ
TS3	7,25Bba	7,87Bca	7,31Bca	8,20Bca	9,61Ada	8,01Aaa	8,50Aba	6,97Bca	8,44Aba	8,87Aaa
TS4	9,82Baa	12,77Aaa	11,65Aaa	10,60Bba	12,54Aba	8,60Baa	9,07Bbβ	9,92Baβ	12,01Aaβ	11,06Aaβ
TS5	10,24Caa	10,39Cba	12,89Baa	10,04Cba	14,92Aaa	7,78Caβ	8,21Cbβ	10,24Baβ	11,58Aaβ	9,84Baβ
TS6	7,00Bba	10,29Aba	9,51Aba	9,90Aba	11,16Aca	7,82Baa	9,78Aaa	8,59Bba	9,60Aba	9,76Aaβ
CV (%) 8,92										
Massa seca parte aérea (mg planta ⁻¹)										
	Suprimento Adequado da Água					Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	7,61Aca	8,13Aaa	6,92Aba	8,07Aaa	8,59Aba	6,88Aaa	5,53Baβ	5,76Baβ	6,69Aaβ	6,60Abβ
TS2	9,13Aba	8,06Aaa	6,24Bba	6,60Bba	8,10Aba	5,93Baβ	6,14Baβ	5,30Baa	6,05Baa	7,30Aaa
TS3	7,63Aca	7,47Aaa	6,75Bba	6,23Bba	7,46Aba	6,25Aaβ	5,77Aaβ	5,16Aaβ	5,72Aaa	5,78Abβ
TS4	9,01Aba	6,62Bba	7,47Baa	7,83Baa	9,56Aaa	6,51Baβ	7,30Aaa	6,24Baβ	6,10Baβ	8,25Aaβ
TS5	8,38Aca	8,09Aaa	8,09Aaa	7,23Aaa	8,37Aba	6,11Baβ	6,60Baβ	5,68Baβ	6,15Baβ	7,30Aaa
TS6	10,58Aaa	7,82Caa	7,51Caa	8,66Baa	8,99Baa	6,58Baβ	6,31Baβ	6,16Baβ	7,10Baβ	8,20Aaa
CV (%) 11,20										
Massa seca raiz (mg planta ⁻¹)										
	Suprimento Adequado da Água					Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	6,59Bba	7,47Aaa	6,65Bba	8,64Aaa	5,63Bca	6,54Aaa	4,91Baβ	6,79Aaa	7,40Aaa	6,50Aaa
TS2	5,41Aca	7,15Aaa	6,69Aba	6,73Aba	6,53Aca	5,38Baa	6,36Baa	6,35Baa	7,69Aaa	6,65Baa
TS3	7,94Baa	7,47Baa	7,90Baa	8,47Baa	9,49Aaa	6,55Baβ	5,88Baβ	6,47Baβ	8,13Aaa	6,76Baβ
TS4	7,15Aaa	5,89Baa	6,59Bba	6,08Bba	7,88Aba	6,33Baa	5,98Baa	6,78Baa	8,38Aaβ	7,36Aaa
TS5	8,28Aaa	6,73Baa	7,92Aaa	7,73Aaa	7,46Aba	6,54Baβ	4,95Caβ	7,39Aaa	8,13Aaa	6,07Baβ
TS6	6,62Bba	6,66Baa	7,68Aaa	8,01Aaa	6,57Bca	6,45Aaa	5,65Aaa	5,95Aaβ	7,33Aaa	5,99Aaa
CV (%) 10,50										

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivar dentro de cada tratamento de semente e cada condição hídrica, mesma letra minúscula na coluna para tratamento de sementes dentro de cada cultivar e cada condição hídrica e mesma letra grega para condição hídrica para cada cultivar e cada tratamento de sementes não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. C1: Danielle. C2: BRS Korbel. C3: BRS Brau. C4: Imperatriz. C5: BRS Quaranta. TS1: Controle. TS2: Fipronil BRT 250 FS. TS3: Baytan FS. TS4: Certeza N. TS5: Cruiser Opti. TS6: Standak Top.

Em relação aos diferentes produtos utilizados para a realização do tratamento de sementes, é notório observar a partir da Tabela 10 que o TS3 (Baytan FS) proporcionou os maiores efeitos de fitotoxicidade para a variável comprimento de parte aérea, tanto na condição adequada de suprimento hídrico quanto na condição de restrição hídrica.

Na condição de suprimento adequado de água, com exceção do TS3 (Baytan FS), que para todas as cultivares causou a redução do comprimento da parte aérea, apenas em três situações também foram observadas essa redução, o TS2 (Fipronil BRT 250 FS) para a cultivar C3 (BRS Brau) e o TS6 (Standak Top) para as cultivares C1 (Danielle) e C3 (BRS Brau) (Tabela 10).

Na condição de restrição hídrica, o TS3 (Baytan FS) causou a redução do comprimento da parte aérea para todas as cultivares, demonstrando que este produto apresenta a capacidade de reduzir o vigor, independente do material genético utilizado. Neste sentido, Radzikowska et al. (2020) afirmam que o triadimenol, ingrediente ativo do Baytan, causa a redução do crescimento da parte aérea em cevada, pois ele influencia diretamente no atraso do alongamento da primeira folha do vegetal. Neste sentido Liu et al. (2021) constataram em seu estudo que o triadimenol causou a redução da parte aérea na cultura do trigo, dados que corroboram com o presente estudo.

Na condição de restrição hídrica, além do TS3 (Baytan FS), outros produtos também causaram a redução do comprimento da parte aérea, onde sementes sob TS2 (Fipronil BRT 250 FS) para as cultivares C3 (BRS Brau) e C4 (Imperatriz), TS4 (Certeza N) para a C4 (Imperatriz), TS5 (Cruiser Opti) para as cultivares C1 (Danielle) e C4 (Imperatriz) e TS6 (Standak Top) para a C4 (Imperatriz) (Tabela 10).

Alguns produtos utilizados nos tratamentos de sementes podem deixar resíduos prejudiciais para o crescimento (OLADAPO et al. 2019), podendo afetar processos essenciais do vegetal, como a respiração (SHAKIR et al., 2016).

Problemas causados pela restrição hídrica e a capacidade de fitotoxicidade dos produtos químicos, quando combinados, podem ser potencializados, conforme já demonstrado que no suprimento adequado de água os produtos não reduziram o comprimento da parte aérea. Entretanto ao associar produto e restrição hídrica, houve redução deste atributo de crescimento.

Todas as amostras em condição de suprimento adequado de água foram superiores aos tratamentos em condição de restrição hídrica (Tabela 10), evidenciando que independente da cultivar e do produto utilizado no tratamento das sementes, a limitação de água reduz o comprimento da parte aérea das plântulas.

A seca pode ocasionar problemas durante todo o ciclo de vida de um vegetal, entretanto, estes são mais acentuados no início do crescimento e desenvolvimento das plantas, influenciando diretamente no comprimento das plântulas, isso porque a restrição hídrica afeta a formação celular em nível de divisão e expansão (ANJUM et al., 2017).

Quando são fornecidas condições ideais para a germinação das sementes, a tendência é de que as sementes originem plântulas com maior taxa de crescimento, devido a maior capacidade de transformar as reservas dos tecidos de armazenamento, bem como maior incorporação dessas reservas no eixo embrionário (SANTOS et al., 2018).

Na condição de suprimento adequado da água, para a variável comprimento de raiz, a cultivar C5 (BRS Quaranta) apresentou os maiores resultados ao considerar a maioria dos tratamentos de sementes, à exceção do TS1 (controle). Enquanto que a cultivar C1 (Danielle) obteve os menores valores para a variável em questão (Tabela 10). Na condição de restrição hídrica, a cultivar C4 (Imperatriz) apresentou diferença significativa em relação às demais cultivares, para os tratamentos testados.

De modo geral a água fica armazenada nas camadas mais profundas do solo, isso acontece porque nas camadas mais superficiais a tendência é de que a água seja evaporada mais rapidamente (KOEVOETS et al., 2016). Com isso, plantas que possuem a capacidade de desenvolver um sistema radicular mais profundo e mais volumoso apresentam maiores chances de sobreviver em situações de ocorrência de restrição hídrica (VALLIYODAN et al., 2016). Neste contexto, pode ser observado para a cultivar C4 (Imperatriz) que esta apresenta tendência de aumentar o comprimento de suas raízes, em resposta à restrição hídrica.

Quando a cultura é exposta à restrição hídrica, o crescimento da raiz é um dos principais fatores para a tolerância da planta a este estresse, com isso, cultivares que apresentam maiores comprimentos de raízes quando submetidas à seca apresentam maior tolerância a ela (AMINI, 2013).

O TS2 (Fipronil BRT 250 FS), TS3 (Baytan FS) e o TS6 (Standak Top) prejudicaram, independentemente da cultivar, o crescimento das raízes, em comparação aos outros produtos utilizados no tratamento de sementes sob condição de suprimento adequado da água (Tabela 10).

Na condição de restrição hídrica, a resposta aos produtos utilizados no tratamento de sementes diferiu do constatado no suprimento adequado da água. Embora todos os produtos tenham causado, em pelo menos alguma amostra, a redução do comprimento das raízes, esta diminuição ficou concentrada nas cultivares C2 (BRS Korbel) e C3 (BRS Brau), ou seja, o estresse causado pela fitotoxidez dos produtos aliado a ocorrência da restrição de água atingiu maior impacto nestas duas cultivares.

Como pode ser observado na Tabela 10, de uma maneira geral, houve a redução do crescimento das raízes na condição de restrição hídrica, comparado ao suprimento adequado de água. Existem estudos que também relatam a diminuição do crescimento da raiz devido a restrição hídrica, como, Sampathukumar et al. (2022) em algodão e Carvalho et al. (2014) em cevada.

A redução do comprimento das raízes primárias em condições de restrição hídrica ocorre porque nestas condições a embebição durante o processo germinativo fica comprometida, influenciando na velocidade da ocorrência de processos bioquímicos que afetam o crescimento e desenvolvimento das raízes primárias, causando a redução das mesmas, neste cenário, o alongamento celular do embrião também é afetado, resultando na redução, ou ainda na não formação, das raízes primárias (SANTOS et al., 2018). Além de que, nessas condições, o processo de divisão celular e a turgidez das células são afetadas negativamente (JALILIAN et al., 2014).

Para a massa seca da parte aérea, na condição de suprimento adequado de água, as cultivares C1 (Danielle) e C5 (BRS Quaranta) apresentaram diferença significativa em relação às demais cultivares, onde obtiveram valores superiores para esta variável. Entretanto, quando as cultivares foram submetidas à restrição hídrica, a cultivar C5 (BRS Quaranta) apresentou superioridade na sua massa seca da parte aérea, em comparação com as demais cultivares (Tabela 10).

O comportamento da cultivar C5 (BRS Quaranta), na condição de restrição hídrica para a variável massa seca da parte aérea, indica que em possíveis condições de seca no campo no início do estabelecimento da cultura, ela estaria

mais preparada para responder tais adversidades. Isso porque, no início de desenvolvimento da cultura o acúmulo de biomassa na parte aérea das plântulas é fundamental para a realização mais efetiva do processo de fotossíntese e estabelecimento uniforme da lavoura, fatores estes que são primordiais para a obtenção de altos tetos produtivos em um campo de produção.

Em relação à utilização de diferentes produtos para a realização do tratamento de sementes em condição de restrição hídrica, todos os tratamentos utilizados não diferiram estatisticamente, à exceção do TS3 (Baytan FS) para a cultivar C5 (BRS Quaranta) (Tabela 10). Ou seja, há indicativo de que este produto causa efeito de fitotoxicidade mais acentuado nesta cultivar, com isso, a utilização deste produto pode ocasionar redução na biomassa das plântulas de cevada, assim como foi observado no presente estudo.

Já, na situação de suprimento adequado de água, é importante salientar que os produtos TS2 (Fipronil BRT 250 FS) e TS3 (Baytan FS) foram os que mais causaram redução na massa seca da parte aérea, diferindo dos demais produtos, e apresentando valores inferiores, para todas as cultivares, à exceção de C2 (BRS Korbel).

Na condição de restrição hídrica a massa seca da parte aérea foi menor do que na situação de suprimento adequado de água para a grande maioria dos tratamentos utilizados no presente estudo (Tabela 10). Estes dados indicam que na presença de falta da água, a parte aérea das plântulas acaba tendo o seu crescimento e desenvolvimento afetado.

Neste sentido, Campuzano et al. (2012) afirmam que reduções na produção de biomassa de um vegetal exposto ao déficit hídrico está relacionado com o fato de que nesta situação ocorre a redução da taxa de crescimento das plântulas, pois elas apresentam baixa eficiência em transformar a radiação interceptada em biomassa.

Na literatura há relatos da redução da massa seca da parte aérea dos vegetais quando estes foram submetidos a restrição hídrica, como Carvalho et al. (2014) em cevada e trigo, Silva et al. (2011) em milho e Zaina et al. (2020) em trigo, corroborando com os dados trazidos no presente estudo.

Em relação à massa seca da raiz, na condição de restrição hídrica, a cultivar C4 (Imperatriz) apresentou os maiores valores para esta variável (Tabela 10). Estes dados indicam que, dentre as cultivares estudadas, esta é que apresentou

melhor desenvolvimento de suas raízes na presença do déficit hídrico. Sendo este aspecto de suma importância para as plantas de cevada, isso porque absorção de água e nutrientes, armazenamento de recursos e ancoragem física, são algumas das funções realizadas pelas raízes (WALTER et al., 2014).

Além disso, a capacidade da planta em absorver água e nutrientes para uso futuro está diretamente relacionado com a quantidade de biomassa de suas raízes, tendo papel vital no crescimento e desenvolvimento dos vegetais (POORTER et al., 2012). Ainda, maior massa da raiz é um indicativo de que a cultivar apresenta capacidade de tolerar a restrição hídrica (JALILIAN et al., 2014).

O TS2 (Fipronil BRT 250 FS) foi o produto utilizado no tratamento de sementes que causou maiores reduções da massa seca da raiz, em situação de suprimento adequado de água, sendo que apenas para a cultivar C2 (BRS Korbel), este tratamento não apresentou a redução mencionada anteriormente (Tabela 10).

O TS3 (Baytan FS) foi o produto que proporcionou os maiores valores para a massa seca da raiz, em situação de suprimento adequado de água. Diferentemente do comportamento observado em outras variáveis do presente estudo, como comprimento da parte aérea, massa seca da parte aérea e comprimento da raiz.

Além disso, o TS5 (Cruiser Opti) também resultou no acúmulo de massa seca das raízes das cultivares estudadas, com exceção da C5 (BRS Quaranta). O TS5 (Cruiser Opti) tem como um dos seus ingredientes ativos o Tiametoxam, este apresenta a capacidade de favorecer algumas reações fisiológicas, como a expressão de proteínas funcionais que atuam como mecanismo de defesa contra estresses abióticos, como a restrição hídrica (DAN et al., 2013)

O sistema radicular da planta é o principal órgão para a captação de água e nutrientes, e influencia diretamente no crescimento da planta, bem como na produtividade final (YANG et al., 2017). Segundo Sampathukumar et al. (2022) e Carvalho et al. (2014), o déficit hídrico reduz a massa seca das raízes, e, conseqüentemente, impossibilita que esta expresse totalmente o seu vigor. A redução da massa seca da raiz em função da restrição hídrica também é relatada por outros autores, Carvalho et al. (2014), Jalilian et al. (2014), Alghbari & Ihsan (2018) e Sampathukumar et al. (2022).

Através das variáveis de crescimento inicial das cultivares submetidas à restrição hídrica (comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz) (Tabela 10), é notório observar que as cultivares

C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) apresentam indicio de maior tolerância à restrição hídrica, sendo que a C4 (Imperatriz) utiliza suas reservas para suprimir a restrição hídrica desenvolvendo mais o seu sistema radicular, enquanto que a C5 (BRS Quaranta) desenvolveu mais a sua parte aérea. Por outro lado, C1 (Danielle), C2 (BRS Korbel) e C3 (BRS Brau), demonstram que são mais suscetíveis.

Tabela 11: Açúcar solúvel total, prolina e proteína de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 20°C.

Açúcar Solúvel Total (mg g ⁻¹ MF)										
Suprimento Adequado de Água					Restrição Hídrica					
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	22,87Bbβ	21,20Baβ	17,23Baβ	29,41Abβ	29,42Aaβ	40,66Aaa	34,06Bba	30,71Bba	44,44Aaa	42,42Aca
TS2	30,98Aaβ	26,68Baβ	17,70Baβ	32,89Abβ	28,70Baβ	39,61Baa	39,96Bba	47,53Aaa	46,05Aaa	50,02Aba
TS3	25,89Abβ	25,26Aaβ	20,43Baβ	21,93Bcβ	28,91Aaβ	42,87Aaa	39,26Aba	32,33Bba	45,91Aaa	41,30Aca
TS4	27,45Bbβ	29,02Baβ	20,72Caβ	37,73Aaa	30,87Baβ	41,81Aaa	41,20Aba	35,80Bba	33,98Bba	47,15Aba
TS5	23,24Abβ	24,89Aaβ	20,97Aaa	20,99Acβ	20,79Abβ	44,42Aaa	46,89Aaa	22,65Bca	44,47Baa	46,31Aca
TS6	35,42Aaa	25,45Baβ	19,95Baa	27,54Bcβ	23,38Bbβ	33,38Dba	40,88Cba	21,93Eca	49,15Baa	61,91Aaa
CV (%) 13,28										
Prolina (mmol mg ⁻¹ MF)										
Suprimento Adequado de Água					Restrição Hídrica					
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	6,69Bcβ	8,37Abβ	6,51Baβ	7,78Aaβ	7,44Aaβ	17,28Aaa	13,72Caa	15,87Baa	12,48Dca	17,41Aca
TS2	7,35Acβ	7,20Acβ	7,03Aaβ	7,81Aaβ	6,45Abβ	12,59Dba	14,42Caa	15,45Baa	11,40Eda	18,54Aba
TS3	7,52Bcβ	10,40Aaβ	7,04Caβ	8,11Caβ	6,86Caβ	12,81Dba	14,33Caa	15,76Baa	16,93Aaa	16,62Aca
TS4	9,38Bbβ	10,72Aaβ	7,34Daβ	8,56Caβ	7,39Daβ	13,17Dba	14,62Caa	16,33Baa	14,64Cba	19,30Aba
TS5	9,42Abβ	10,13Aaβ	7,69Caβ	8,40Baβ	6,08Dbβ	13,37Dba	14,65Caa	16,86Baa	16,20Baa	20,69Aaa
TS6	11,36Aaβ	10,06Baβ	7,75Daβ	8,92Caβ	7,05Daβ	13,47Cba	14,82Baa	16,35Aaa	15,99Aaa	16,53Aca
CV (%) 5,92										
Proteína (mg g ⁻¹ MF)										
Suprimento Adequado de Água					Restrição Hídrica					
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	6,38Ccβ	22,84Aaβ	17,71Bbβ	19,59Baa	24,27Aaβ	35,55Baa	32,22Baa	32,53Bba	22,59Cba	40,43Aaa
TS2	6,28Ccβ	20,95Baβ	25,23Aaβ	17,49Baa	21,65Baβ	26,16Bba	26,55Bba	31,39Aba	19,31Cba	33,63Aba
TS3	24,41Aaβ	23,82Aaβ	23,81Aaβ	22,26Baa	24,51Aaβ	34,43Aaa	33,91Aaa	28,70Bba	22,80Cba	38,77Aaa
TS4	17,82Bbβ	19,52Baa	27,59Aaβ	24,31Aaa	19,38Bbβ	30,52Bba	22,95Cba	35,40Aaa	21,04Cba	38,43Aaa
TS5	16,93Bbβ	21,41Aaβ	23,65Aaa	19,03Baβ	17,78Bbβ	30,72Bba	34,67Aaa	28,73Bba	28,34Baa	34,44Aba
TS6	22,82Aaβ	19,69Aaβ	24,25Aaβ	21,31Aaa	18,91Abβ	39,20Aaa	25,21Bba	36,42Aaa	24,35Bba	35,49Aba
CV (%) 14,44										

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivar dentro de cada tratamento de semente e cada condição hídrica, mesma letra minúscula na coluna para tratamento de sementes dentro de cada cultivar e cada condição hídrica e mesma letra grega para condição hídrica para cada cultivar e cada tratamento de sementes não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. C1: Danielle. C2: BRS Korbel. C3: BRS Brau. C4: Imperatriz. C5: BRS Quaranta. TS1: Controle. TS2: Fipronil BRT 250 FS. TS3: Baytan FS. TS4: Certeza N. TS5: Cruiser Opti. TS6: Standak Top.

Na condição de restrição hídrica os valores obtidos para o açúcar solúvel total, prolina e proteína foram maiores em comparação com a condição de suprimento adequado de água (Tabela 11). Neste sentido, Mezer et al. (2014) afirmam que o teor de açúcar solúvel aumenta quando o vegetal fica exposto a restrição hídrica. Isso porque este desempenha um importante papel na manutenção da pressão de turgor na ocorrência da restrição hídrica (MEDYOUNI et al., 2021).

Além disso, o aumento de prolina é um indicativo de que o vegetal passou por algum estresse abiótico, como a restrição hídrica (HOSSAIN et al., 2014). Isso porque quando há a ocorrência do déficit hídrico, a prolina é acumulada nas células vegetais, onde atua no ajuste osmótico (SEMIDA et al., 2020).

Segundo Arroyo et al. (2018) em condições de restrição hídrica as proteínas são acumuladas no metabolismo do vegetal como uma forma de mecanismo contra este estresse. Além disso, em alguns casos, a ocorrência de estresses ativa a biossíntese de proteínas como resposta de tentativa das plântulas tolerarem o estresse a qual elas estão sendo expostas (ZHANASSOVA et al., 2021).

Na literatura há relatos do aumento dos metabólitos em função da ocorrência da restrição hídrica, como Zhang et al. (2015) em cevada e Fàbregas & Fernie (2019) em arroz que constataram aumento do açúcar solúvel total em condições de restrição hídrica. Já Mjeri et al. (2015) e Skowron & Trojak (2020) em cevada e Dien et al. (2019) em arroz evidenciaram o aumento da prolina em função da ocorrência do déficit hídrico. E Fayez & Bazaid (2014) em cevada, encontraram um aumento na proteína quando os vegetais foram submetidos à seca.

A cultivar C5 (BRS Quaranta) apresentou os maiores valores de açúcar solúvel total, prolina e proteína solúvel (Tabela 11). Estes dados evidenciam a maior tolerância desta cultivar quando submetidas à restrição hídrica. Neste sentido, quando as plantas são expostas à restrição hídrica, os açúcares solúveis auxiliam na manutenção do teor de água foliar e no ajuste osmótico (DIEN et al., 2019). E a capacidade do vegetal em acumular mais açúcar solúvel desempenha um papel fundamental para a sua sobrevivência em uma ampla variedade de condições ambientais (WANG et al., 2016).

Além disso, a prolina é um dos principais aminoácidos relacionadas à tolerância de uma cultivar a restrição hídrica, isso porque ela desempenha importante papel no sistema de defesa antioxidante (TEIXEIRA et al. 2020). Assim,

o acúmulo de prolina está positivamente correlacionado a tolerância ao estresse por restrição hídrica (ZHANG et al., 2015).

Na situação de restrição hídrica o TS2 (Fipronil BRT 250 FS) foi o produto que mais proporcionou o aumento do teor de açúcar solúvel total, enquanto que o TS5 (Cruiser Opti) aumentou o teor de prolina e o TS1 (Controle) e o TS3 (Baytan FS) aumentaram o teor de proteína (Tabela 11).

O açúcar solúvel total e a prolina são osmorreguladores envolvidos no mecanismo adaptativo de regulação osmótica do vegetal, quando este é submetido a algum estresse abiótico (ZHANG et al., 2015). Com isso, o acúmulo destes metabólitos está diretamente relacionado à eficiência de uma cultura em tolerar um estresse (ZIVANOVIC et al., 2020).

Com isso, os produtos mencionados anteriormente que favoreceram o aumento dos teores dos metabólitos (açúcar solúvel total, prolina e proteína) auxiliam no sistema de tolerância da cultura ao estresse por déficit hídrico (condição de restrição hídrica).

Tabela 12: Resumo da análise de variância com os quadrados médios do crescimento da parte aérea (CPA), crescimento da raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), açúcar solúvel total (AST), prolina (PRO) e proteína (PRT), para a temperatura de 30°C.

F.V.	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS						
		CPA	CR	MSPA	MSR	AST	PRO	PRT
C	4	93,08*	62,99*	8,45*	25,07*	5329,54*	310,71*	1126,19*
CH	1	800,45*	20,19*	43,26*	79,82*	22202,18*	2631,13*	3179,52*
TS	5	116,23*	12,28*	19,32*	8,85ns	506,21*	28,82*	192,99*
C x CH	4	8,84*	12,28*	0,86*	27,29*	775,27*	199,94*	827,11*
C x TS	20	3,64*	4,76*	1,84*	46,17*	285,72*	19,14*	37,37*
CH x TS	5	19,13*	2,47*	2,84*	4,59ns	553,12*	11,27*	176,05*
C x CH x TS	20	2,69*	2,94*	1,63*	46,09*	525,98*	10,68*	62,04*
Resíduo	180	0,62	0,87	0,87	169,22	14,51	1,77	16,31
CV (%)		8,85	15,11	13,43	15,3	10,11	11,22	14,94

* = significativo a 5% de probabilidade

ns = não significativo a 5% de probabilidade

C: cultivar; CH: condição hídrica; TS: tratamento de sementes

Não foi constatada diferença significativa para o fator isolado tratamento de sementes para a variável massa seca da raiz, assim como não foi constatada interação significativa entre os fatores condição hídrica e tratamento de sementes

para a variável massa seca da raiz, enquanto que para as demais variáveis todas as interações foram significativas (Tabela 12).

Para a variável comprimento da parte aérea, as cultivares C3 (BRS Brau), C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta), na situação de suprimento adequado de água, ou seja, quando a cultura foi exposta somente ao estresse térmico, diferiram estatisticamente das demais cultivares estudadas, apresentando valores reduzidos. Enquanto que a C2 (BRS Korbel) foi a cultivar que obteve os maiores valores para variável comprimento da parte aérea na situação de suprimento adequado de água (Tabela 13).

Na condição de restrição hídrica, ou seja, quando as cultivares foram submetidas tanto ao déficit hídrico quanto ao estresse térmico, as cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) apresentaram os menores valores para a variável comprimento da parte aérea (Tabela 13).

A C1 (Danielle) e C2 (BRS Korbel) foram as cultivares que apresentaram os maiores valores para o comprimento da parte aérea, tanto que, independente do produto utilizado no tratamento de sementes, com exceção do TS2 (Fipronil BRT 250 TS) para a C2 (BRS Korbel), estas diferiram estatisticamente das demais cultivares. Estes dados evidenciam que estas cultivares apresentam maior tolerância quando submetida ao estresse térmico e hídrico simultaneamente, em relação ao crescimento inicial da sua parte aérea, o que no campo se torna uma grande vantagem para superar a ocorrência dos estresses indicados anteriormente.

Em relação aos produtos utilizados para a realização do tratamento de sementes, é possível destacar, através dos dados obtidos para a variável comprimento da parte aérea, os efeitos benéficos causados pelo TS4 (Certeza N), e os efeitos deletérios causados pelo TS3 (Baytan FS), uma vez que, tanto para a condição de suprimento adequado de água quanto para a condição de restrição hídrica, ambos os tratamentos diferiram estatisticamente, o TS4 (Certeza N) proporcionando os maiores comprimentos da parte aérea e o TS3 (Baytan FS) os menores (Tabela 13).

Quanto as diferentes condições impostadas à cultura, suprimento adequado da água e restrição hídrica, é notório observar que quando submetida ao déficit hídrico, as plântulas tendem a reduzir o comprimento de sua parte aérea (Tabela 13).

Tabela 13: Comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 30°C.

Comprimento Parte Aérea (cm)										
Suprimento Adequado da Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	10,61Bca	12,34Aca	9,83Bba	9,79Baa	9,92Baa	8,11Aaβ	9,05Aaβ	6,78Bbβ	5,62Bbβ	6,32Bbβ
TS2	13,60Aba	12,60Aca	10,30Bba	10,30Baa	9,47Baa	8,22Aaβ	6,20Bbβ	5,70Bbβ	5,55Bbβ	6,20Bbβ
TS3	6,40Bda	7,65Aca	6,09Bca	4,47Cba	6,44Bba	5,31Aba	6,44Aba	6,32Aba	3,46Bcβ	4,39Bdβ
TS4	15,54Aaa	15,45Aaa	11,93Baa	9,56Caa	9,66Caa	8,77Aaβ	9,74Aaβ	8,54Aaβ	7,22Baβ	7,21Baβ
TS5	13,03Aba	13,68Aba	10,78Bba	10,09Baa	10,04Baa	8,66Aaβ	8,30Aaβ	6,60Bbβ	6,25Bbβ	5,69Bcβ
TS6	15,29Aaa	15,29Aaa	10,42Bba	10,94Baa	9,67Baa	9,19Aaβ	8,91Aaβ	8,55Aaβ	7,26Baβ	7,30Baβ
CV (%) 8,85										
Comprimento Raiz (cm)										
Suprimento Adequado da Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	4,53Cda	9,37Aaa	5,77Bba	6,48Baa	4,35Caβ	5,85Aba	7,34Aaβ	5,60Aba	6,26Aaa	6,48Aaa
TS2	5,95Bcβ	8,74Aaa	5,41Bba	5,07Bbβ	2,87Caβ	7,58Aaa	7,38Aaβ	5,36Bba	7,59Aaa	6,83Aaa
TS3	5,96Aca	5,12Aba	4,91Aba	4,16Bba	3,83Baβ	6,45Aba	6,04Aba	4,85Bba	4,92Bba	5,33Bba
TS4	8,89Aaa	8,38Aaa	7,09Baa	5,33Cbβ	3,50Daβ	7,91Aaa	8,22Aaa	7,17Aaa	6,93Aaa	5,10Bba
TS5	8,46Aaa	8,42Aaa	6,05Bbβ	5,00Bbβ	3,92Caa	5,85Bbβ	7,38Aaa	7,53Aaa	7,10Aaa	3,72Cca
TS6	7,25Aba	7,37Aaa	5,01Bba	6,20Aaβ	3,12Caβ	6,40Bba	7,68Aaa	6,27Bba	7,61Aaa	5,19Bba
CV (%) 15,11										
Massa Seca da Parte Aérea (mg planta ⁻¹)										
Suprimento Adequado da Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	7,21Aba	6,99Aaa	7,13Aba	6,77Aaa	7,24Aba	6,96Aaa	6,96Aaa	6,78Aaa	5,87Aaa	5,64Abβ
TS2	7,40Aba	7,57Aaa	7,07Aba	7,72Aaa	5,62Bbβ	7,16Aaβ	7,10Aaa	5,44Bbβ	5,78Baβ	7,22Aaa
TS3	6,29Aba	7,57Aaa	6,52Aba	4,79Bba	6,82Aba	5,84Aaa	5,82Aaβ	6,06Aba	3,98Bba	4,26Bcβ
TS4	6,25Bba	8,22Aaa	7,97Aaa	7,34Baa	6,92Bba	7,38Aaβ	7,38Aaa	7,49Aaa	6,61Aaa	6,97Aaa
TS5	9,61Aaa	8,37Aaa	8,53Aaa	7,06Baa	7,42Bba	7,10Aaβ	6,65Aaa	7,10Aaβ	6,21Aaa	5,69Abβ
TS6	8,32Aaa	8,69Aaa	7,60Aaa	8,03Aaa	8,69Aaa	8,05Aaβ	7,36Aaa	7,13Aaa	6,43Aaβ	7,97Aaa
CV (%) 13,43										
Massa Seca da Raiz (mg planta ⁻¹)										
Suprimento Adequado da Água						Restrição Hídrica				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	5,52Bbβ	7,41Aaa	4,60Baβ	5,52Baa	4,80Bbβ	7,63Aaa	7,72Aaa	6,60Aaa	6,84Aaa	6,31Aba
TS2	6,65Aba	7,56Aaa	5,43Baa	6,00Aaβ	4,18Bbβ	8,47Aaa	7,49Aaa	5,74Baa	7,79Aaa	7,85Aaa
TS3	6,09Aba	6,64Aba	5,34Bba	4,52Baβ	6,64Aaa	7,11Aaa	6,49Aaa	6,15Aaa	6,00Aaa	5,97Aba
TS4	7,30Aaa	7,87Aaa	5,40Baβ	5,28Baβ	3,87Cbβ	6,97Aaa	7,55Aaa	7,37Aaa	7,23Aaa	5,39Bba
TS5	6,45Aba	6,52Aba	4,99Baβ	4,73Baβ	4,99Bba	7,35Aaa	7,12Aaa	7,12Aaa	6,96Aaa	5,48Bba
TS6	7,80Aaa	7,80Aaa	4,12Baβ	6,33Aaβ	3,38Bbβ	6,98Aaa	7,12Aaa	7,05Aaa	7,93Aaa	6,78Aaa
CV (%) 15,30										

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivar dentro de cada tratamento de semente e cada condição hídrica, mesma letra minúscula na coluna para tratamento de sementes dentro de cada cultivar e cada condição hídrica e mesma letra grega para condição hídrica para cada cultivar e cada tratamento de sementes não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. C1: Danielle. C2: BRS Korbelt. C3: BRS Brau. C4: Imperatriz. C5: BRS Quaranta. TS1: controle. TS2: Fipronil BRT 250 FS. TS3: Baytan FS. TS4: Certeza N. TS5: Cruiser Opti. TS6: Standak Top.

Para a variável comprimento de raiz, na situação de suprimento adequado de água, as cultivares C3 (BRS Brau), C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta) apresentaram os menores resultados quanto ao comprimento de suas raízes. Enquanto que as cultivares C1 (Danielle) e C2 (BRS Korbel) apresentaram os maiores valores de comprimento de raiz, neste cenário, é importante salientar o comportamento da C2 (BRS Korbel), que independente do produto utilizado no tratamento de sementes, adquiriu valores maiores para a variável comprimento de raiz (Tabela 13).

Em relação aos diferentes produtos utilizados para a realização do tratamento de sementes, através dos dados descritos na Tabela 13 é possível evidenciar que o TS3 (Baytan FS) foi o produto que causou maiores reduções nos comprimentos das raízes, o TS4 (Certeza N) promoveu o maior crescimento destas.

Sendo que o TS3 (Baytan FS) só não causou a redução do comprimento das raízes, em comparação aos demais produtos, na condição de suprimento adequado de água para a cultivar C5 (BRS Quaranta), na condição de restrição hídrica este produto reduziu o crescimento das raízes de todas as cultivares. Enquanto que o TS4 (Certeza N) promoveu o crescimento das raízes em todos os tratamentos em que estava envolvido, tanto na condição de suprimento adequado de água quanto na condição de restrição hídrica, com exceção para duas cultivares, a C4 (Imperatriz) na situação de suprimento adequado de água e C5 (BRS Quaranta) na situação de restrição hídrica, (Tabela 13).

Neste presente estudo, a promoção do crescimento da parte aérea em virtude da aplicação do TS4 (Certeza N) também foi constatada na variável crescimento da parte aérea, evidenciando o potencial benéfico deste produto para auxiliar o crescimento inicial da cultura.

Diferentemente do que foi contrastado até aqui quanto à redução nos valores das variáveis na restrição hídrica em comparação com o suprimento adequado de água, para o comprimento de raízes este comportamento não foi observado, pelo contrário, houve diferença estatística significativa entre as condições hídricas, onde na condição de suprimento adequado de água, o comprimento das raízes foi menor.

Esse comportamento pode estar associado ao mecanismo de defesa das plantas para superar o estresse hídrico. Um dos mecanismos de defesa das

plantas para tolerar a seca é aumentar a sua capacidade de absorção de água através da formação de sistemas radiculares robustos (ELAKHDAR et al., 2022). Assim, o comprimento das raízes aumenta quando a planta está sob estresse hídrico (ALGHABARI & IHSAN, 2018). O aumento do comprimento das raízes é um mecanismo de adaptação da planta a situação de déficit hídrico (SHAO et al., 2008). Desta forma, as raízes apresentam uma importante função na resistência da planta contra o déficit hídrico (SILVA et al., 2011).

Para a variável massa seca da parte aérea, é notório observar que as cultivares C4 (Imperatriz) e C5 (BRS Quaranta), na situação de suprimento adequado de água, ou seja, quando o estresse imposto foi somente o térmico, apresentaram os menores valores (Tabela 13).

Por outro lado, na condição de restrição hídrica não houve diferença entre as cultivares estudadas quanto à massa da parte aérea, somente em alguns casos específicos, como para a C3 (BRS Brau) no TS2 (Fipronil BRT 250 FS), para a C4 (Imperatriz) no TS2 (Fipronil BRT 250 FS) e TS3 (Baytan FS) e para a C5 (BRS Quaranta) no TS3 (Baytan FS) (Tabela 9).

Em relação aos diferentes produtos utilizados no tratamento de sementes, o TS3 (Baytan FS) foi o que mais causou redução na massa seca da parte aérea, esse mesmo comportamento foi observado para a variável comprimento da parte aérea, evidenciando que este produto causa a redução da massa das plantas, bem como do seu comprimento. Enquanto que o TS6 (Standak Top) foi o produto que mais favoreceu a massa seca da parte aérea para todas as cultivares, tanto na condição de suprimento adequado de água como na condição de restrição hídrica. Sendo que para a condição de restrição hídrica, o TS4 (Certeza N) também favoreceu a massa seca da parte aérea de todas as cultivares (Tabela 13).

Além disso, quando submetidas à restrição hídrica, em grande parte das amostras, as plantas apresentaram redução da massa seca da parte aérea, quando comparado com a situação de suprimento adequado de água (Tabela 13).

A C1 (Danielle) e C2 (BRS Korbel) foram as cultivares que apresentaram maiores valores de massa seca da raiz, na condição de suprimento adequado de água, independente do produto utilizado no tratamento de sementes (Tabela 13). Segundo Gupta et al. (2013) plântulas que apresentam sistema radicular mais desenvolvido quando expostas a altas temperaturas indicam ser tolerantes a este estresse.

Na situação de restrição hídrica, C3 (BRS Brau) sob TS2 (Fipronil BRT 250 FS) e C5 (BRS Quaranta) sob TS4 (Certeza N) e TS5 (Cruiser Opti) foram as cultivares que apresentaram os menores valores de massa seca de raiz, em comparação com as demais (Tabela 13).

Comparando as duas condições hídricas (suprimento adequado de água e restrição hídrica) é possível observar que na condição de restrição hídrica a massa seca de raiz foi estatisticamente maior do que na condição de suprimento adequado de água, esse fato auxilia a comprovar a teoria de que quando submetidas a restrição hídrica e a altas temperaturas simultaneamente as cultivares de cevada estudadas usam como mecanismo de defesa desenvolver mais o seu sistema radicular, assim como já foi mencionado anteriormente na variável comprimento de raiz, onde também foi constatado maiores valores na condição de restrição hídrica, diferentemente do que foi constatado para as demais variáveis (comprimento de parte aérea e massa seca da parte aérea), onde a restrição hídrica causou a redução dos valores obtidos para estas variáveis.

Diante dos dados trazidos quanto ao crescimento inicial das cultivares (comprimento da parte aérea, comprimento da raiz, massa seca da parte aérea e massa seca da raiz) é possível averiguar que as cultivares C1 (Danielle) e C2 (BRS Korbel) apresentaram os maiores valores para as variáveis em questão na situação de suprimento adequado de água, ou seja, quando o estresse imposto foi somente o térmico.

Os valores obtidos para o açúcar solúvel total e prolina foram maiores na condição de restrição hídrica, onde o estresse imposto foi o de restrição hídrica simultaneamente ao estresse por alta temperatura, em comparação com a condição de suprimento adequado de água, onde o estresse imposto foi o de alta temperatura (Tabela 14).

Os valores obtidos para a proteína foram maiores na condição de suprimento adequado da água em comparação com a condição de restrição hídrica (Tabela 14). Segundo Zhanassova et al. (2021) o aumento da proteína em condição de estresse é um mecanismo das plântulas na tentativa de tolerar o estresse a qual elas estão sendo submetidas. Com isso, através dos dados expostos na Tabela 14 é possível observar que apenas a cultivar C2 (BRS Korbel) não apresentou redução de proteína na condição de restrição hídrica,

demonstrando a sua capacidade superior em tolerar o estresse térmico simultâneo a restrição hídrica, em comparação com as demais cultivares.

Tabela 14: Açúcar solúvel total, prolina e proteína de diferentes cultivares de cevada submetidas a distintos tratamentos de sementes e condições hídricas, para a temperatura de 30°C.

Açúcar Solúvel Total (mg g ⁻¹ MF)										
Suprimento Adequado da Água					Restrição Hídrica					
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	24,36Aaβ	30,40Acβ	20,77Bcβ	29,59Aaβ	30,57Aaα	33,71Cca	88,49Aaα	80,44Baα	38,21Cba	28,59Dca
TS2	13,66Cbβ	45,39Aaβ	22,61Bcβ	17,10Ccβ	23,41Bbβ	33,67Dca	59,54Aba	48,05Bca	38,13Cba	29,70Dca
TS3	21,74Baβ	40,64Abβ	12,93Cdβ	25,39Baβ	23,56Bbβ	41,91Bba	52,41Aca	42,59Bda	47,46Aaα	50,07Aaα
TS4	16,20Dbβ	50,48Aaβ	38,25Baβ	30,55Caα	24,96Cba	45,58Bba	58,82Aba	54,07Aba	35,52Cba	28,37Dca
TS5	18,52Cbβ	45,60Aaβ	30,12Bba	29,35Baβ	30,45Baβ	41,69Bba	58,65Aba	32,80Caα	43,42Baα	24,84Dca
TS6	13,47Dbβ	48,30Aaβ	41,24Baβ	23,20Cbβ	19,37Cbβ	74,79Baα	85,09Aaα	48,84Bca	35,25Dba	38,56Dba
CV (%) 10,11										
Prolina (mmol mg ⁻¹ MF)										
Suprimento Adequado da Água					Restrição Hídrica					
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	5,66Caβ	6,08Caβ	8,15Acβ	7,43Abβ	9,15Abβ	12,50Caα	18,37Aba	11,53Cda	11,02Cca	14,93Bca
TS2	6,28Caβ	5,17Caβ	12,04Aaβ	9,04Baα	9,61Bbβ	11,60Caα	18,57Aba	19,24Aaα	9,61Dca	14,19Bca
TS3	6,77Caα	6,03Caβ	10,29Bbβ	6,74Cbβ	12,64Aaβ	7,46Dba	20,09Aba	16,07Bba	12,58Cba	18,42Aba
TS4	6,72Caβ	5,75Caβ	12,26Aaα	9,97Baβ	12,64Aaβ	10,27Daα	17,38Bba	13,53Cca	13,94Cba	19,77Aaα
TS5	5,35Caβ	5,69Caβ	9,77Bbβ	9,84Baβ	12,52Aaβ	8,77Dba	23,55Aaα	16,71Cba	16,18Caα	21,23Baα
TS6	5,31Caβ	7,01Caβ	10,32Bbβ	10,31Baα	12,41Aaβ	12,31Caα	20,60Aba	16,45Bba	9,50Dca	20,60Aaα
CV (%) 11,22										
Proteína (mg g ⁻¹ MF)										
Suprimento Adequado da Água					Restrição Hídrica					
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
TS1	29,70Aba	33,34Aaα	34,33Aaα	33,31Aaα	27,93Aba	28,51Baα	38,05Aaα	15,50Daβ	15,24Dbβ	21,42Caβ
TS2	29,18Aba	32,68Aaβ	32,61Aaα	33,11Aaα	28,64Aba	32,12Baα	42,87Aaα	19,39Caβ	12,26Dbβ	14,44Dbβ
TS3	32,28Bba	36,90Aaα	32,80Baα	38,64Aaα	30,70Bba	23,97Baβ	34,15Aba	21,65Baβ	22,14Baβ	15,22Cbβ
TS4	38,57Aaα	34,64Aaα	28,12Baα	33,49Aaα	35,75Aaα	26,62Aaβ	30,06Aba	22,25Baβ	16,07Cbβ	15,54Cbβ
TS5	23,43Bca	33,48Aaα	29,68Aaα	30,67Aaα	29,96Aba	28,68Baα	37,40Aaα	21,05Caβ	14,45Dbβ	19,77Caβ
TS6	16,56Dbβ	30,47Aaα	18,15Bba	24,31Aba	25,42Aba	29,09Baα	35,21Aba	22,47Caα	15,57Dbβ	10,30Dbβ
CV (%) 15,31										

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para cultivar dentro de cada tratamento de semente e cada condição hídrica, mesma letra minúscula na coluna para tratamento de sementes dentro de cada cultivar e cada condição hídrica e mesma letra grega para condição hídrica para cada cultivar e cada tratamento de sementes não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade. C1: Danielle. C2: BRS Korbel. C3: BRS Brau. C4: Imperatriz. C5: BRS Quaranta. TS1: Controle. TS2: Fipronil BRT 250 FS. TS3: Baytan FS. TS4: Certeza N. TS5: Cruiser Opti. TS6: Standak Top.

A cultivar C2 (BRS Korbel) apresentou os maiores valores de açúcar solúvel total, prolina e proteína, em comparação com as demais cultivares, tanto na condição de suprimento adequado da água quanto na condição de restrição hídrica, com exceção da prolina na condição de suprimento adequado de água,

estes dados demonstram que esta cultivar apresenta maior tolerância aos estresses por alta temperatura e restrição hídrica ocorrendo simultaneamente as altas temperaturas. Neste contexto, Sallam et al. (2019) afirmam que cultivares tolerantes a seca tendem a apresentar um maior acúmulo de açúcares solúveis totais e de prolina. E segundo Hossain et al. (2014) o acúmulo de prolina é um indicador de mecanismo de tolerância do vegetal contra estresses abióticos.

Neste sentido, o acúmulo de açúcares solúveis totais está ligado a tolerância a restrição hídrica porque estes desempenham funções vitais no metabolismo vegetal quando este é exposto ao estresse por déficit hídrico, atuando no ajuste osmótico, armazenamento de carboidratos, proteção da integridade das membranas, proteção das estruturas de DNA, proteção de macromoléculas e desintoxicação de espécies reativas ao oxigênio (SALLAM et al., 2019). Com isso, níveis elevados de açúcares contribuem para uma melhor proteção osmótica, auxiliando o vegetal em tolerar estresses abióticos (CHMIELEWSKA et al., 2016). Consequentemente a acumulação de açúcares é uma estratégia do vegetal para reduzir os efeitos causados por estresses abióticos (CAI et al., 2020).

Em relação aos diferentes produtos utilizados no tratamento de sementes, na situação de suprimento adequado da água, o TS4 (Certeza N) foi o produto que proporcionou o maior aumento dos metabólitos avaliados (açúcar solúvel total, prolina e proteína) (Tabela 14). Ou seja, quando a cevada é exposta ao estresse térmico, este produto pode auxiliar no mecanismo de tolerância da cultura a este estresse abiótico. Isso porque o acúmulo de açúcar solúvel total (WANG et al., 2016), prolina (ZHANG et al., 2015) e proteína (ZHANASSOAVA et al., 2021) estão relacionados com a capacidade de um vegetal em tolerar os estresses a qual pode ficar exposto durante o seu ciclo de vida.

3.4 Conclusão

A cultivar BRS Korbel demonstrou menos sensibilidade a ocorrência do estresse térmico simultâneo à restrição hídrica.

A maioria dos produtos utilizados na realização do tratamento de sementes não causaram efeitos negativos na cevada, tanto na situação em que o estresse imposto foi o térmico quanto na situação em que o estresse imposto foi o térmico simultaneamente à restrição hídrica.

A ocorrência do estresse térmico simultaneamente à restrição hídrica diminuiu o crescimento inicial das cultivares de cevada e aumentou o açúcar solúvel total e a prolina.

4. Considerações finais

As cultivares Danielle, BRS Korbel e BRS Brau apresentaram mais sensibilidade a restrição hídrica, uma vez que a germinação e crescimento inicial destas foram inferiores, em comparação com as cultivares Imperatriz e BRS Quaranta. Além de que a atividade enzimática, bem como o teor dos metabólitos, também apresentaram valores reduzidos para estas cultivares.

A cultivar BRS Quaranta apresentou maior tolerância para a imposição da restrição hídrica, obtendo maiores valores, em comparação com as demais cultivares, para as variáveis de germinação e para as variáveis de crescimento inicial. A atividade enzimática e o teor dos metabólitos também foram superiores para a cultivar BRS Quaranta, evidenciando a sua capacidade maior em tolerar o estresse por restrição hídrica.

A cultivar BRS Korbel apresentou maior tolerância quando submetida ao estresse térmico e a restrição hídrica simultaneamente ao estresse térmico, obtendo maiores valores para as variáveis de germinação e crescimento inicial, maior atividade enzimática e maiores teores de metabólitos, em comparação com as demais cultivares.

A maioria dos produtos utilizados na realização do tratamento de sementes não causaram efeitos negativos na cevada, independentemente do estresse a qual a cultura foi exposta.

A condição de restrição hídrica diminuiu as variáveis de germinação e de crescimento inicial, com exceção do comprimento de raiz e massa seca da raiz na temperatura de 30°C.

A condição de restrição hídrica aumentou a atividade enzimática da superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase e o teor dos metabólitos, exceto o teor de proteína na temperatura de 30°C.

5. Referências

ABATI, J.; ZUCARELI, C.; FOLONI, J.S.S.; HENNING, F.A.; BRZEZINSKI, C.R.; HENNING, A.A. Treatment with fungicides and insecticides on the physiological quality and health of wheat seeds. **Journal of Seed Science**, v.36, n.4, p.392-398, 2014.

ABBAS, S.R.; AHMAD, S.D.; SABIR, S.M.; SHAH, A.H. Detection of drought tolerance sugarcane genotypes (*Saccharum officinarum*) using lipid peroxidation, antioxidant activity, glycine-betaine and proline contents. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.14, n.1, p.233-243, 2014.

ADAPAR (2022). **Bula Fipronil BRT 250 FS**. Disponível em: <https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2021-06/fipronilalta250fs_0.pdf>. Acesso em: 25 de novembro de 2022.

AGOSTINETTO, L.; CASA, R.T.; BOGO, A.; FINGSTAG, M.D.; VALENTE, J.B. Viabilidade e controle de *Fusarium graminearum* em sementes de cevada. **Summa Phytopathol**, v.44, n.4, p.368-373, 2018.

AKITHA DEVI, M.K.; GIRIDHAR, P. Variations in physiological response, lipid peroxidation, antioxidant enzyme activities, proline and isoflavones content in soybean varieties subjected to drought stress. **Proceedings National Academy Science**. v.85, p.35-44, 2015.

ALGHABARI, F.; IHSAN, M.Z. Effects of drought stress on growth, grain filling duration, yield and quality attributes of barley (*Hordeum vulgare* L.). **Bangladesh Journal Botany**, v.47, n.3, p.421-428, 2018.

AHMED, I.M.; NADIRA, U.A.; QIU, C.W.; CAO, F.; CHEN, Z.H.; VINCZE, E.; WU, F. The Barley *S-Adenosylmethionine Synthetase 3* Gene *HvSAMS3* Positively Regulates the Tolerance to Combined Drought and Salinity Stress in Tibetan Wild Barley. **Cells**, v.9, n.1530, p.1-25, 2020.

AMINI, R. Drought stress tolerance of barley (*Hordeum vulgare* L.) affected by priming with PEG. **International Journal of Farming and Allied Sciences**, v.2, p.803-808, 2013.

ANJUM, S.A.; ASHRAF, U.; ZOHAIB, A.; TANVEER, M.; NAEEM, M.; ALI, I.; TABASSUM, T.; NAZIR, U. Growth and developmental responses of crop plants under drought stress: a review. **Zemdirbyste-Agriculture**, v.104, n.3, p.267-276, 2017.

ANNAMALAI, M.; SRINIVASAN, P.V.; THANIGAIVEL, A.; MUTHIAH, C.; KARTHI, S.; JENA, M.; PANDI, G.G.P.; ADAK, T.; MURUGESAN, A.G.; NATHAN, S.S. Effect of thiamethoxam on growth, biomass of rice varieties and its specialized

herbivore, *Scirpophaga incertulas* Walker. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.101, p.146-155, 2018.

ARROYO, B.V.; MENDONZA, M.D.; SANCHEZ, A.G.; GARCIA, B.M.; SANTAMARIA M.E.; BONILLA, M.T.; HENSEL, G.; KUMLEHN, J.; MARTINEZ, M.; DIAZ, I. Silencing barley cystatins HvCPI-2 and HvCPI-4 specifically modify leaf responses to drought stress. **Plant, Cell and Environment**, v.41, p.1776-1790, 2018.

AZEVEDO, R.A.; ALAS, R.M.; SMITH, R.J.; LEA, P.J. 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**, v.104, p.280-292, 1998.

BAHRAMI, F.; RAHIMMALEK, M. Photosynthetic and yield performance of wild barley (*Hordeum vulgare*) under terminal heat stress. **Photosynthetica**, v.57, n.1, p.9-17, 2019.

BANIANI, E.; ARABSALMANI, M.; FARAHANI, E. Effect of seeds treatment with fungicides and insecticides on germination and vigourity, abnormal root producing and protection of cotton seedling. **International Journal of Life-Sciences Scientific Research**, v.2, n.5, p.519-530, 2016.

BARBOSA, B.S.; MEDEIROS, L.B.; SILVA, F.L.; FONSECA, L.L.; MARTINAZZO, E.G.; CARLOS, F.S.; AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T. Doses de nitrogênio em cevada: rendimento e qualidade de sementes. **Revista Thema**, v.21, n.2, p.402-414, 2022.

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

BASF (2022). **Bula Standak Top**. Disponível em: <https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2021-01/standaktopubs.pdf> Acesso em: 27 de setembro de 2022.

BAYER (2022). **Bula Baytan FS**. Disponível em: <<https://www.agro.bayer.com.br/>> Acesso em: 19 de setembro de 2022.

BEZPAL'KO, V.V.; STANKEVYCH, S.V.; ZHUKOVA, L.V.; ZABRODINA, I.V.; TURENKO, V.P.; HORYAINOVA, V.V.; POEDINCEVA, A.A.; BATOVA, O.M.; ZAYARNA, O.Y.; BONDARENKO, S.V.; DOLYA, M.M.; MAMCHUR, R.M.; DROZD, P.Y.; SAKHNENKO, V.V.; MATSYURA, A.V. Pre-sowing seed treatment in winter wheat and spring barley cultivation. **Ukrainian Journal of Ecology**, v.10, n.6, p.255-268, 2020.

BERNARDES, P.M.; ANDRADE-VIEIRA, L.F.; ARAGÃO, F.B.; FERREIRA, A.; FERREIRA, M.F.S. Toxicological effects of comercial formulations of fungicides based on procymidone and iprodione in seedlings and root tip cells of *Alium cepa*. **Enviromental Science and Pollution Research**, v.26, p.21013-21021, 2019.

BOARETTO, L.F.; CARVALHO, G.; BORGIO, L.; CRESTE, S.; LANDELL, M.G.A.; MAZZAFERA, P.; AZEVEDO, R.A. Water stress reveals differential antioxidant responses of tolerant and non-tolerant sugarcane genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.74, p.165-175, 2014.

BORNARE, S.S.; PRASAD, L.C.; PRASAD, R.; LAL, J.P. Perspective of barley drought tolerance; methods and mechanisms comparable to other cereals. **Journal of Progressive Agriculture**, v.3, n.2, p.68-70, 2012.

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

BRASIL – Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009, 399p.

BRESSAN, P.T. Qualidade das sementes de cevada em função da maturidade fisiológica: parâmetro fisiológico e expressão gênica diferencial de enzimas associadas à germinação. **Dissertação (Mestrado em Agronomia)**, Universidade Estadual de Ponta Grossa, p.72, 2018.

BUENO, J.C.M.; JADOSKI, S.O.; POTT, C.A.; MACIEL, C.D.G. Riscos de déficit hídrico durante o ciclo de desenvolvimento da cevada em Guarapuava-PR, em diferentes condições climáticas. **Revista Brasileira de Climatologia**, n.16, v.22, p.818-832, 2020.

CAKMAK, I.; HORST, W.J. Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). **Physiologia plantarum**, v.83, n.3, p.463-468, 1991.

CAI, K.; CHEN, X.; HAN, Z.; WU, X.; ZHANG, S.; LI, Q.; NAZIR, M.M.; ZHANG, G.; ZENG, F. Screening of Worldwild Barley Collection for Drought Tolerance: The Assessment of Various Physiological Measures as the Selection Criteria. **Frontiers in Plant Science**, v.11, n.1159, p.1-16, 2020.

CAMPUZANO, G.E.; SLAFER, G.A.; MIRALLES, D.J. Differences in yield, biomass and their components between triticale and wheat grown under contrasting water and nitrogen environments. **Field Crops Research**, v.128, p.167-179, 2012.

CARVALHO, P.; ALI, S.A.; FOULKES, M.J. Quantifying relationships between rooting traits and water uptake under drought in Mediterranean barley and durum wheat. **Journal of Integrative Plant Biology**, v.56, n.5, p.455-469, 2014.

CHAICHI, M.; NEMATI, A.; DADRASI, A.; HEYDARI, M.; HASSANISAADI, M.; YOUSEFI, A.R.; BALDWIN, T.C.; MASTINU, A. Germination of *Triticum aestivum* L.: Effects of Soil-Seed Interaction on the Growth of Seedlings. **Soil Systems**, v.6, n.37, p.1-15, 2022.

CHMIELEWSKA, K.; RODZIEWICZ, P.; SWARCEWICZ, B.; SAWIKOWSKA, A.; KRAJEWSKI, P.; MARCZAK, L.; CIESIOŁKA, D.; KUCZYŃSKA, A.; MIKOŁAJCZAK, K.; OGRODOWICZ, P.; KRYSKOWIAK, K.; SURMA, M.; ADAMSKI, T.; BEDNAREK, P.; STOBIECK, M.A. Analysis of Drought-Induced Proteomic and Metabolomic Changes in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Leaves and Roots Unravels Some Aspects of Biochemical Mechanisms Involved in Drought Tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v.7, n.1108, p.1-14, 2016.

CHO, L.H.; YOON, J.; AN, G. The control of flowering time by environmental factors. **The Plant Journal**, v.90, p.708-719, 2017.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Boletim da safra de grãos. **Documento online**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 04 de janeiro de 2023.

DAN, L.G.M.; BRACCINI, A.L.; BARROSO, A.L.L.; DAN, H.A.; PICCININ, G.G.; VORONIAK, J.M. Physiological potencial of soybean seeds treated with thiamethoxam and submitted to storage. **Agricultural Sciences**, v.4, n.11, p.19-25, 2013.

DAWOOD, M.F.A.; MOURSI, Y.S.; AMRO, A.; BAENZIGER, P.S.; SALLAM, A. Investigation of heat-induced changes in the grain yield and grains metabolites, with molecular insights on the candidate genes in barley. **Agronomy**, v.10, p.1-21, 2020.

De MORI, C.; MINELLA, E. Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 28 p. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 139, 2012). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do139.htm> Acesso em: 25 de maio de 2021.

DIEN, D.C.; MOCHIZUKI, T.; YAMAKAWA, T. Effect of various drought stresses and subsequent recovery on proline, total soluble sugar and starch metabolisms in Rice (*Oryza sativa* L.) varieties. **Plant Production Science**, v.22, n.4, p.530-545, 2019.

DORIGAN, A.F.; CARVALHO, G.; POLONI, N.M.; NEGRISOLI, M.M.; MACIEL, J.L.N.; CERESINI, P.C. Resistance to triazole fungicides in *Pyricularia* species is associated with invasive plants from wheat fields in Brazil. **Acta Scientiarum**, v.41, p.1-10, 2019.

ELAKHDAR, A.; SOLANKI, S.; KUBO, T.; ABED, A.; ELAKHDAR, I.; KHEDR, R.; HAMWIEH, A.; CAPO-CHICHI, L.J.A.; ABDELSATTAR, M.; FRANCKOWIAK, J.D.; QUALSET, C.O.; Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives. **Environmental and Experimental Botany**, v.201, p.1-31, 2022.

EMBRAPA. **Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil**. Embrapa Clima Temperado, Pelotas-RS. 2005. (Sistemas de Produção, 3).

EMPRABA. Cenário favorável para a cevada. Empraba Trigo. **Documento online**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/>>

/noticia/62654017/cenario-favoravel-para-a-cevada> Acesso em: 17 de junho de 2021.

FAGHANI, E.; GHARECHAHI, J.; KOMATSU, S.; MIRZAEI, M.; KHAVARINEJAD, R.A.; NAJAFI, F.; FARSAFAD, L.K.; SALEKDEH, G.H. Comparative physiology and proteomic analysis of two wheat genotypes contrasting in drought tolerance. **Journal. Proteomics**. v.114, p.1-15, 2015.

FANG, Y.; DU, Y.; WANG, J.; WU, A.; QIAO, S.; XU, B.; ZHANG, S.; SIDDIQUE, K. H.M.; CHEN, Y. Moderate drought stress affected root growth and grain yield old, modern and newly released cultivars of winter wheat. **Frontiers in Plant Science**, v.8, p.1-14, 2017.

FAYEZ, K.A.; BAZAID, S.A. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.13, p.45-55, 2014.

FERREIRA, C. Cultivares de cevada semeadas em espaçamentos simples e pareado combinados com doses de adubo e densidade de semeadura. **Tese**. Ponta grossa. Universidade Estadual de Ponta Grossa. p.73, 2015.

FREY, F.P.; URBANY, C.; HÜTTEL, B.; REINHARDT, R.; STICH, B. Genome-wide expression profiling and phenotypic evaluation of European maize inbreds at seedling stage in response to heat stress. **BMC Genomics**, v.16, n.123, p.1-15, 2015.

GANILHO, C.; SILA, M.B.; PAIVA, C.; MENEZES, T.I.; SANTOS, M.R.; PEREIRA, C.M.; PEREIRA, R.; ANDREANI, T. Environmental safety assessments of lipid nanoparticles loaded with Lambda-Cyhalothrin. **Nanomaterials**, v.12, p.1-20, 2022.

GIANNOPOLITIS, C.N.; RIES, S.K. Superoxide dismutase: I occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v.59, p.309-314, 1977.

GRAHAM, D.; SMYDZUK, J. Use of anthrone in the quantitative determination of hexose phosphates. **Analytical Biochemistry**, v.11, n.2, p.246-255, 1965.

GUPTA, N.K.; AGARWAL, S.; AGARWAL, V.P.; NATHAWAT, N.S.; GUPTA, S.; SINGH, G. Effect of short-term heat stress on growth, physiology and antioxidative defence system in wheat seedlings. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.35, p.1837-1842, 2013.

GÜREL, F.; ÖZTÜRK, Z.N.; UÇARLI, C.; ROSELLINI, D. Barley Genes as Tools to Confer Abiotic Stress Tolerance in Crops. **Frontiers in Plant Science**, v.7, n.1137, p.1-6, 2016.

HEHENBERGER, E.; KRADOLFER, D.; KÖHLER, C. Endosperm cellularization defines an important developmental transition for embryo development. **Development**, v.139, n.11, p.2031-2039, 2012.

HOSSAIN, M.M.; LIU, X.; QI, Z.; LAN, H. M.; ZHANG, J. Differences between soybean genotypes in physiological response to sequential soil drying and rewetting. **The Crop Journal**, v.2, p.366-380, 2014.

HOUSTON, K.; MCKIM, M.S.; COMADRAM, J.; BONAR, N.; DRUKA, I.; UZREK, N.; CIRILLO, E.; WROBELESKA, G.J.; COLLINS, C.N.; HALPIN, C.; HANSSON, M.; DOCKTER, C.; DRUKA, A.; WAUGH, R. Variation in the interaction between alleles of Hvapetala2 and micro RNA172 determines the density of grains on the barley inflorescence. **Plant biology**, v.110, n.41, p.16675-16680, 2013.

HUSEYNOVA, I.M.; NASRULLAYEVA, M.Y.; RUSTAMOVA, S.M.; ALIYEVA, D.R.; ALIYEV, J.A. Differential Responses of Antioxidative System to Soil Water Shortage in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Genotypes. **Advances in Biological Chemistry**, v.4, p.351-359, 2014.

HUSSAIN, H.A.; MEN, S.; HUSSAIN, S.; CHEN, Y.; ALI, S.; ZHANG, S.; ZHANG, K.; LI, Y.; XU, Q.; LIAO, C.; WANG, L. Interactive effects of drought and heat stress on morphophysiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. **Scientific Reports**, v.9, n.3890, p.1-12, 2019.

IHSAN, M.Z.; DAUR, I.; ALGHABARI, F.; ALZAMANAN, S.; RIZWAN, S.; AHMAD, M.; WAQAS, M.; SHAFQAT, W. Heat stress and plant development: role of sulphur metabolites and management strategies. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science**, v.69, n.4, p.332-342, 2019.

IQBAL, M.; RAJA, N.I.; MASHWANI, Z.U.R.; HUSSAIN, M.; EJAZ, M.; YASMEEN, F. Effect of Silver Nanoparticles on Growth of Wheat Under Heat Stress. **Iranian Journal Science Thecnology, Transction A: Science**, v.43, p.387-395, 2017.

JALILIAN, J.; KHALILZADEH, R.; KHANPAYE, E. Improving of Barley Seedling Growth by Seed Priming Under Water Deficit Stress. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v.10, n.2, p.125-134, 2014.

JAKUES, B.A.J.; CARVALHO, I.R.; SZARESKI, V.J.; RODRIGUES, H.E.; DUBAL, I.T.P.; TROYJACK, C.; PIMENTEL, J.R.; MENODNÇA, M.T.; CONTE, G.G.; PARAGINSKI, R.T.; VILLELA, F.A.; AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T. Physiological Quality and Biochemical Characters of Barley Seeds Produced Under Nitrogen Doses and Growing Enviroments. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.12, p.65-78, 2019.

JARWAR, A.H.; WANG, X.; IQBAL, M.S.; SARFRAZ, Z.; WANG, L.; MA. Q.; SHULI, A.F. Genetic divergence on the basis of principal component, correlation and cluster analysis of yeald and quality traits in cotton cultivars. **Pakistan Journal of Botany**, v.51, n.3, p.1-6, 2019.

KACZMAREK, M.; FEDOROWICZ-STROŃSKA, O.; GŁOWACKA, K.; WÁSKIEWICZ, A.; SADOWSKI, J. CaCl₂ treatment improves drought stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, v.39, n.41, p.1-11, 2017.

KHAFAGY, M.A.M.; MOHAMED, Z.A.A.A.H.; FAROUK, S.; AMRAJAA, H.K. Effect of pre-treatment of barley grain on germination and seedling growth under drought stress. **Advances in Applied Sciences**, v.2, n.3, p.33-42, 2017.

KOCH, F. Respostas ecofisiológicas, enzimáticas e de produtividade de plantas de trigo provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor e xpostas a restrições hídricas. **Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes)** – Universidade Federal de Pelotas, p.118, 2019.

KOEVOETS, I.T.; VENEMA, J.H.; ELZENGA, J.T.M.; TESTRINK, C. Roots Withstanding their Environmental: Exploiting Root System Architecture Responses to Abiotic Stress to Improve Crop Tolerance. **Frontiers in Plant Science**, v.7, p.1-19, 2016.

KOSOVÁ, K.; VÍTÁMVÁS, P.; URBAN, M.O.; PRÁSIL, I.T.; RENAUT, J. Plant abiotic stress proteomics: The major factors determining alterations in cellular proteome. **Frontiers in Plant Science**, v.9, n.122, p.1-22, 2018.

KRUKLIS, K. L. Cevada: importância da utilização na alimentação humana e a aplicabilidade na gastronomia. **Dissertação (Mestrado em Gastronomia Aplicada à Nutrição)** – Universidade Regional do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. p.29, 2019.

KRUSZKA, K.; PACAK, A.; BARTECZKA, A.S.; NUC, P.; ALABA, S.; WROBLEWSKA, Z.; KARLOWSKI, W.; JARMOLOWSKI, A.; KULINSKA, Z.S.; Transcriptionally and post-transcriptionally regulated microRNAs in heat stress response in barley. **Journal of Experimental Botany**, v.65, n.20, p.6123-6135, 2014.

LACERDA, M.P.; UMBURANAS, R.C.; MARTINS, K.V.; RODRIGUES, M.A.T.; REICHARDT, K.; DOURADO-NETO, D. Vigor and oxidation reactions in soybean seedlings submitted to different seed chemical treatments. **Journal of Seed Science**, v.43, p.1-9, 2021.

LAXA, M.; LIEBTHAL, M.; TELMAN, W.; CHIBANI, K.; DIETZ, K.J. The Role of the Plant Antioxidant System in Drought Tolerance. **Antioxidants**, v.8, n.94, p.1-31, 2019.

LI, W.T.; LIU, C.; LIU, Y.X.; PU, Z.E.; DAI, S.F.; WANG, J.R.; LAN, X.J.; ZHENG, Y.L.; WEI, Y.M. Meta-analysis of QTL associated with tolerance to abiotic stresses in barley. **Euphytica**, v.189, p.31-49, 2013.

LIU, R.; ZHANG, H.; DENG, Y.; ZHOU, Z.; LIU, X.; DIAO, J. Enantioselective Fungicidal Activity and Toxicity to Early Wheat Growth of the Chiral Pesticide Triticonazole. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.69, p.11154-11162, 2021.

LOPES, N.F.; LIMA, M.G.S. **Fisiologia da produção vegetal**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2015, 492p.

MAIA, V.R.O.; OLIVEIRA, J.A.S.; GOLIAS, H.C.; PAMPHILE, J.A. Fungos endofíticos como promotores de resistência a estresse hídrico e salino: o caso do *Piriformospora indica*. **Brazilian Applied Science Review**, v.4, n.2, p.621-633, 2020.

MAROK, M.A.; TARRAGO, L.; KSAS, B.; HENRI, P.; BELBACHIR, O.A.; HAVAUX, M.R.; REY, P. A drought-sensitive barley variety displays oxidative stress and strongly increased contents in low-molecular weight antioxidant compounds during water deficit compared to a tolerant variety. **Journal of Plant Physiology**, v.170, p.633-645, 2013.

MASETTO, T.E.; VARGAS, E.L.; SCALON, S.P.Q. Potenciais hídricos e teores de água na germinação de sementes e crescimento inicial de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.15, n.3, p.619-630, 2016.

MEDYOUNI, I.; ZOUAOU, R.; RUBIO, E.; SERINO, S.; AHMED, H.B.; BERTIN, N. Effects of water deficit on leaves and fruit quality during the development period in tomato plant. **Food Science and Nutrition**, v.9, p.1949-1960, 2021.

MEZER, M.; TARASKA, A.T.; KACZMAREK, Z.; GLOWACKA, K.; SWARCEWICZ, B.; RORAT, T. Differential physiological and molecular response of barley genotypes to water deficit. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.80, p.234-248, 2014.

MURPHY, B.R.; DOOHAN, F.M.; HODKINSON, T.R. A seed dressing combining fungal endophyte spores and fungicides improves seedlings survival and early growth in barley and oat. **Symbiosis**, v.71, p.69-76, 2017.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação de plântulas. In: VIEIRA R.D.; CARVALHO M. (Eds.). **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal, FUNEP, p.49-85, 1994.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology** v.22, p.867-880, 1981.

OLADAPO, B.O.; EKUNDAYO, E.A.; EKUNDAYO, F.O.; GBAYE, O.A. Effect of Lambda-Cyhalothrin and dimethoate on the growth response of cowpea plants and the surrounding soil. **Annals of Science and Technology**, v.6, n.2, p.1-13, 2021.

PANDA, D.; RAO, D.N.; SHARMA, S.G.; STRASSER, R.J.; SARKAR, R.K. Submergence effects on rice genotypes during seedling stage: probing of submergence driven changes of photosystem 2 by chlorophyll a fluorescence induction O-J-I-P transients. **Photosynthetica**, v.44, p.69-75, 2006.

PANDEY, S.; FARTYAL, D.; AGARWAL, A.; SHUKLA, T.; JAMES, D.; KAUL, T.; NEGI, Y.K.; ARORA, S.; REDDY, M.K. Abiotic Stress Tolerance in Plants: Myriad Roles of Ascorbate Peroxidase. **Frontiers in Plant Science**, v.8, n.581, p.1-13, 2017.

PEREIRA, F.S.; STEMPKOWSKI, L.A.; VALENTE, J.B.; KUHNEM, P.R.; LAU, D.; CASA, R.T.; SILVA, F.N. Tratamento de sementes sobre a germinação, o vigor e o desenvolvimento do trigo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.18, n.3, p.395-399, 2019.

PESKE, S.T.; VILLELA, F.A.; MENEGUELLO, G.E. **Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos**, 3 ed, p.573, 2012.

POORTER, H.; NIKLAS, K.J.; REICH, P.B.; OLEKSYN, J.; POOT, P.; MOMMER, L. Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. **New Phytologist**, v.193, p.30-50, 2012.

PRAZERES, C.S.; COELHO, C.M.M.; SOUZA, C.A. Biochemical compounds and enzymatic systems related to tolerance to water deficit of maize seedlings. **Plant Physiology**, v.26, p.402-411, 2021.

QUEIROZ, M.S.; OLIVEIRA, C.E.S.; STEINER, F.; ZUFFO, A.M.; ZOZ, T.; VENDRUSCOLO, E.P.; SILVA, M.V.; MELLO, B.F.F.R.; CABRAL, R.C.; MENIS, F.T. Drought Stresses on Seed Germination and Early Growth of Maize and Sorghum. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.2, p.310-318, 2019.

QUEIROZ, R.J.B.; SANTOS, D.M.M. dos.; FERRAUDO, A.S.; CARLIN, S.D.; SILVA, M.A. Biochemical and physiological responses of sugarcane cultivars to soil water deficiencies. **Scientia Agricola**, v.68, n.4, p.469-476, 2011.

RADZIKOWSKA, D.; GRZANKA, M.; KOWALCZEWSKI, P.L.; WOLOSZYN, R.G.; BLECHARCZYK, A.; NOWICKI, M.; SAWINSKA, Z. Influence of SDHI seed treatment on the physiological conditions of spring barley seedlings under drought stress. **Agronomy**, v.10, p.1-18, 2020.

RENA, A.B.; MASCIOTTI, G.Z. Effect of water deficiency on nitrogen metabolism and on the growth of four bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. **Revista Ceres**, v.23, n.128, p.288-301, 1976.

ROCHA, D.K.; CARVALHO, E.R.; PIRES, R.M.O.; SANTOS, H.O.; PENIDO, A.C.; ANDRADE, D.B. Does the substrate affect the germination of soybean seeds treated with phytosanitary products? **Ciência e Agrotecnologia**, v.44, p.1-8, 2020.

ROMAN, D.L.; VOICULESCU, D.I.; FILIP, M.; OSTAFE, V.; ISVORAN, A. Effects of triazole fungicides on soil microbiota and on the activities of enzymes found in soil: a review. **Agriculture**, v.11, p.1-18, 2021.

SALLAM, A.; ALQUDAH, A.M.; DAWOOD, M.F.A.; BAENZIGER, P.F.; BÖRNER, A. Drought Stress Tolerance in Wheat and Barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research. **International Journal of Molecular Sciences**, v.20, n.3137, p.1-36, 2019.

SANTOS, P.C.S.; BENEDITO, C.P.; ALVES, T.R.C.; PAIVA, E.P.; SOUSA, E.C.; FREIRES, A.L.A. Water stress and temperature on germination and vigor of

Handroanthus impetiginosus (Mart. ex DC). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.22, n.5, p.349-354, 2018.

SCHONS, A.; SILVA, C.M.; PAVAN, B.E.; SILVA, A.V.; MIELEZRSKI, F. Resposta dos genótipos, tratamentos de sementes e condições de armazenamento no potencial fisiológico de sementes de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, n.1, p.109-121, 2018.

SEMIDA, W.M.; ABDELKHALIK, A.; RADY, M.O.A.; MAREY, R.A.; EL-MAGEED, T.A.A. Exogenously applied proline enhances growth and productivity of drought stressed onion by improving photosynthetic efficiency, water use efficiency and up-regulating osmoprotectants. **Scientia Horticulturae**, v.272, p.109580, 2020.

SHAKIR, S.K.; KANWAL, M.; MURAD, W.; REHMAN, Z.; REHMAN, S.; DAUD, M.K.; AZIZULLAH, A. Effect of some commonly used pesticides on seed germination, biomass production and photosynthetic pigments in tomato (*Lycopersicon esculentum*). **Ecotoxicology**, v.25, p.329-341, 2016.

SHAO, H.B.; CHU, L.Y.; JALEEL, C.A.; ZHAO, C.X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v.331, p.215-225, 2008.

SKOWRON, E.; TROJAK, M. Effect of exogenously-applied abscisic acid, putrescine and hydrogen peroxide on drought tolerance of barley. **Biologia**, v.76, p.453-468, 2021.

SILVA, E.M.F.; SILVA, T.J.A.; CABRAL, C.E.A.; KROTH, B.E.; REZENDE, D. Desenvolvimento inicial de gramíneas submetidos ao estresse hídrico. **Revista Caatinga**, v.21, n.2, p.180-186, 2011.

SINGH, M.; KUMAR, J.; SINGH, S.; SINGH, V.P.; PRASAD, S.M. Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. **Reviews in Environmental Science and Biotechnol**, v.14, p.407-426, 2015.

SMIRNOFF, N.; ARNAUD, D. Hydrogen peroxide metabolism and functions in plants. **New Phytologist**, v.221, p.1197-1214, 2018.

SOARES, V.N.; RADKE, A.K.; TILLMANN, M.A.A.; MOURA, A.B.; SCHUCH, L.O. B. Physiological performance of rice seed treated with thiamethoxam of rhizobacteria under different temperatures. **Journal of Seed Science**, v.36, n.2, p.186-193, 2014.

STEINER, F.; ZUFLO, A.M.; ZOZ, T.; ZOZ, A.; ZOZ, J. Drought tolerance of wheat and black oat crops at early stages of seedling growth. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, p.576-586, 2017.

SYNGENTA (2022). **Bula Cruiser Opti**. Disponível em: <https://www.syngenta.com.br/sites/g/files/zhg256/f/cruiser_opti_2.pdf?token=1601386900>. Acesso em: 29 de setembro de 2022.

THABET, S.G.; MOURSI, Y.S.; KARAM, M.A.; GRANER, A.; ALQUDAH, A.M. Genetic basis of drought tolerance during seed germination in barley. **Plos One**, v.13, n.11, p.1-21, 2018.

TEIXEIRA, W.F.; SOARES, L.H.; FAGAN, E.B.; MELLO, S.C.; REICHARDT, K.; DOURADO-NETO, D. Amino Acids as Stress Reducer in Soybean Plant Growth Under Different Water-Deficit Conditions. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.39, p.905-919, 2020.

TOSCANO, S.; ROMANO, D.; TRIBULATO, A.; PATANÈ, C. Effects of droughts stress on seed germination ornamental sunflowers. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.39, n.184, p.1-12, 2017.

ULLAH, A.; SADAF, S.; ULLAH, S.; ALSHYA, H.; OKLA, M.K.; ALWASEL, Y.A.; TARIQ, A. Using halothermal time model to describe barley (*Hordeum vulgare* L.) seed germination response to water potential and temperature. **Life**, v.12, n.209, p.1-15, 2022.

VALLIYODAN, B.; YE, H.; SONG, L.; MURPHY, M.; SHANNON, J.G.; NGUYEN, H.T. Genetic diversity and genomic strategies for improving drought and waterlogging tolerance in soybeans. **Journal of Experimental Botany**, v.68, n.8, p.1835-1849, 2016.

VASILAKOGLU, I.; DHIMA, K.; GIANNAKOULA, A.; DORDAS, C.; SKIADA, C.; PAPADOPOULOU, K. Carbon Assimilation, Isotope Discrimination, Proline and Lipid Peroxidation Contribution to Barley (*Hordeum vulgare*) Salinity Tolerance. **Plants**, v.10, n.299, p.1-18, 2021.

VELIKOVA, V.; YORDANOV, I.; EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants. **Plant Science**, v.151, p.59-66, 2000.

WALTER, K.R.K.; BELLINGHAM, P.J.; MILLAR, T.R.; SMISSEN, R.D.; RICHARDSON, S.J.; LAUGHLIN, D.C. Root traits are multidimensional: specific root length is independent from root tissue density and the plant economic spectrum. **Journal of Ecology**, v.104, p.1299-1310, 2016.

WANG, W.; CHEN, Q.; HUSSAIN, S.; MEI, J.; DONG, H.; PENG, S.; HUANG, J.; CUI, K.; NIE, L. Pre-sowing Seed Treatments in Direct-seeded Early Rice: Consequences for Emergence, Seedling Growth and Associated Metabolic Events under Chilling Stress. **Nature**, v.6, p.19637, 2016.

WANG, X.; LIU, T.; LI, C.; CHEN, H. Effects of soil flooding on photosynthesis and growth of *Zea mays* L. seedlings under different light intensities. **African Journal of Biotechnology**, v.11, p.7676-7685, 2012.

WARSI, M.K.; HOWLADAR, S.M.; ALSHARIF, M.A. Regulon: Uma visão geral do sistema regulador da transcrição do estresse abiótico em plantas e papel nas plantas transgênicas. **Brazilian Journal of Biology**, v.83, p.1-14, 2023.

WU, H.; LI, Z. Recent advances in nano-enabled agriculture for improving plant performance. **The Crop Journal**, v.10, p.1-12, 2022.

ZAHEDI, M.B.; RAZI, H.; MOUCHESHI, A.S. Evaluation of antioxidant enzymes, lipid peroxidation and proline content as selection criteria for grains yield under water deficit stress in barley. **Journal of Applied Biological Sciences**, v.10, n.1, p.71-78, 2016.

ZAINA, I.C.; GAI, V.F. Características morfológicas e qualidade do trigo mourisco sob estresse hídrico. **Revista Cultivando o Saber**, v.13, n.2, p. 27-36, 2020.

ZHANASSOVA, K.; KURMANBAYEVA, A.; GADILGEREYEVA, B.; YERMUKHANBETOVA, R.; IKSAT, N.; AMANBAYEVA, B.; BEKTUROVA, A.; TLEUKULOVA, Z.; OMAROV, R.; MASALIMOV, Z. ROS status and antioxidant enzymes activities in response to combined temperature and drought stresses in barley. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.43, n.114, p.1-12, 2021.

ZHANG, M.; JIN, Z.Q.; ZHAO, J.; ZHANG, G.; WU, F. Physiological and biochemical responses to drought stress in cultivated and Tibetan wild barley. **Plant Growth Regul**, v.75, p.567-574, 2015.

ZHOU, C.; ZHU, C.; FU, H.; LI, X.; CHEN, L.; LIN, Y.; LAI, Z.; GUO, Y. Genome-wide investigation of superoxide dismutase (SOD) gene family and their regulatory miRNAs reveal the involvement in abiotic stress and hormone response in tea plant (*Camellia sinensis*). **Plos one**, v.14, n.10, p.1-23, 2019.

ŽIVANOVIĆ, B.; COMIĆ, S.M.; TOSTI, T.; VIDOVIĆ, M.; PROKIĆ, J.; JOVANOVIĆ, S.V. Leaf Soluble Sugars and Free Amino Acids as Important Components of Abscisic Acid-Mediated Drought Response in Tomato. **Plants**, v.9, n.1147, p.1-17, 2020.