

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



Tese

**Respostas ecofisiológicas, enzimáticas e bioquímicas de cultivares de cevada
expostas à restrição hídrica em diferentes estádios de desenvolvimento.**

Jessica Mengue Rolim

Pelotas, 2023

Jessica Mengue Rolim

Respostas ecofisiológicas, enzimáticas e bioquímicas de cultivares de cevada expostas à restrição hídrica em diferentes estádios de desenvolvimento.

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciências.

Orientador:

Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde (FAEM/UFPEL)

Coorientadores:

Prof. Dr. Tiago Pedó (FAEM/UFPEL)

Profa. Dra. Emanuela Garbin Martinazzo (FURG)

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

R748r Rolim, Jessica Mengue

Respostas ecofisiológicas, enzimáticas e bioquímicas decultivares de cevada expostas à restrição hídrica em diferentes estádios de desenvolvimento / Jessica Mengue Rolim ; Tiago Zanatta Aumonde, orientador ; Tiago Pedó, Emanuela Garbin Martinazzo, coorientadores. — Pelotas, 2023.

168 f.

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

1. Análise de crescimento. 2. Composição bioquímica. 3. Déficit hídrico. 4. Enzimas antioxidantes. 5. *Hordeum vulgare* L.. I. Aumonde, Tiago Zanatta, orient. II. Pedó, Tiago, coorient. III. Martinazzo, Emanuela Garbin, coorient.
IV. Título.

CDD : 633.16912

Jessica Mengue Rolim

Respostas ecofisiológicas, enzimáticas e bioquímicas de cultivares de cevada expostas à restrição hídrica em diferentes estádios de desenvolvimento.

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

Data da Defesa: 29/06/2023.

Banca examinadora:

.....
Prof. Dr. Tiago Pedó (Coorientador)
Doutor em Ciência pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof. Dr. Cláudio Becker
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof. Dra. Marília Shibata
Doutora em Ciências pela Universidade Federal de Santa Catarina

.....
Dra. Danielle Almeida
Doutora em Fitotecnia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

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

Dedico...

Aos meus pais Adriana e Jorge Eduardo, a minha irmã Eduarda e ao meu namorado Danilo, com todo meu amor e gratidão pelo incentivo e apoio incondicional ao longo dessa trajetória.

Agradecimentos

Agradeço aos meus guias espirituais que rogam e intercedem por mim a cada passo da minha vida.

Aos meus pais Adriana e Jorge Eduardo e à minha irmã Eduarda, por serem meus exemplos de dedicação, respeito e honestidade e por todo o apoio, incentivo e amor dedicados a mim.

Ao meu namorado e companheiro de vida Danilo, meu maior incentivador e minha inspiração pessoal e profissional, por todo seu amor, apoio incondicional e por ser uma das forças potentes que esteve ao meu lado ao longo de toda essa trajetória.

À minha prima e irmã de vida Valéria, por partilhar comigo todos os momentos desta e de todas as outras jornadas, ser um exemplo de garra e determinação, e por toda sua amizade e amor.

Ao Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde, pela confiança, paciência, disponibilidade, conhecimentos ofertados a mim, e por ter possibilitado que eu realizasse este estudo sob sua orientação.

Aos demais professores do comitê de orientação, pelo apoio e dedicação despendidos durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos e colegas de laboratório por todo o incentivo e auxílio na execução deste trabalho.

À todos os estagiários que sempre dedicaram o seu tempo para ajudar e aprender com a execução desse estudo.

À Universidade Federal de Pelotas e aos professores do PPG Ciência e Tecnologia de Sementes, pelas contribuições ao longo do curso.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Por fim, à todas as demais pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, o meu mais sincero reconhecimento e gratidão.

Muito obrigada!

Resumo

ROLIM, Jessica Mengue. **Respostas ecofisiológicas, enzimáticas e bioquímicas de cultivares de cevada expostas à restrição hídrica em diferentes estádios de desenvolvimento**. Orientador: Tiago Zanatta Aumonde. 2023. 168f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho fisiológico, enzimático e bioquímico de cultivares de cevada, submetidas à restrição hídrica em diferentes estádios de desenvolvimento. Para tanto, foram utilizadas sementes de diferentes cultivares e a restrição hídrica foi imposta em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. Em laboratório, foram realizados experimentos estudando a relação entre cultivares x restrição hídrica x temperatura, sob o crescimento inicial, desempenho enzimático e bioquímico das cultivares. Já em casa de vegetação, avaliou-se a relação entre cultivares x restrição hídrica e períodos de exposição ao estresse, sob o crescimento, desenvolvimento e qualidade das sementes produzidas das cultivares de cevada. Como resultados, observou-se que a limitação hídrica, associada ou não a alta temperatura, afetou negativamente os atributos de germinação, vigor e crescimento inicial das cultivares. Além disso, quando submetidas ao estresse hídrico e alta temperatura, as plântulas de cevada expressaram valores superiores na atividade enzimática e composição bioquímica. Em casa de vegetação, a suspensão hídrica promoveu a redução de atributos como comprimento de parte aérea, comprimento total, área foliar, clorofila a, b e total, razão de área foliar e razão de massa foliar das plantas, contudo, houve resposta diferencial das características dependendo da cultivar e tempo de permanência do estresse. Quando submetidas a limitação hídrica, as cultivares apresentaram valores mais elevados para a atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, além da peroxidação lipídica e açúcares solúveis totais. Também em casa de vegetação, constatou-se o menor aporte de massa seca total, taxa de produção de massa seca, taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida e eficiência de conversão da energia solar quando as plantas foram submetidas ao estresse. Além disso, o estresse afetou a qualidade das sementes produzidas, com redução de cerca de 17% no percentual de sementes com dimensões de primeira classe, aumento de até aproximadamente 291% de sementes de terceira classe, além de redução de cerca de 23% na germinação e 18% no comprimento de parte aérea, com distinção de resposta entre as cultivares. Portanto, a realização deste estudo permitiu constatar que o estresse por restrição hídrica é capaz de afetar o desempenho das cultivares de cevada nos diferentes estádios de desenvolvimento.

Palavras-chave: Análise de crescimento. Composição bioquímica. Déficit hídrico. Enzimas antioxidantes. *Hordeum vulgare* L.

Abstract

ROLIM, Jessica Mengue. **Ecophysiological, enzymatic and biochemical responses of barley cultivars exposed to water restriction at different developmental stages**. Advisor: Tiago Zanatta Aumonde. 2023. 168f. Thesis (Doctor of Science) – Program in Science and Technology of Seeds, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

This work aimed to evaluate the physiological, enzymatic and biochemical performance of barley cultivars submitted to water restriction at different stages of development. For this purpose, seeds of different cultivars were used and water restriction was imposed at different stages of crop development. In the laboratory, experiments were carried out studying the relationship between cultivars x water restriction x temperature, under the initial growth, enzymatic and biochemical performance of the cultivars. In a greenhouse, the relationship between cultivars x water restriction and periods of exposure to stress, under the growth, development and quality of seeds produced from barley cultivars, was evaluated. As a result, it was observed that water limitation, associated or not with high temperature, negatively affected the attributes of germination, vigor and initial growth of cultivars. Furthermore, when subjected to water stress and high temperature, barley seedlings expressed higher values in enzymatic activity and biochemical composition. In a greenhouse, water suspension promoted the reduction of attributes such as shoot length, total length, leaf area, chlorophyll a, b and total, leaf area ratio and leaf mass ratio of the plants, however, there was a differential response of the characteristics depending on the cultivar and length of stay of the stress. When subjected to water limitation, the cultivars showed higher values for the activity of the enzymes superoxide dismutase, catalase and ascorbate peroxidase, in addition to lipid peroxidation and total soluble sugars. Also in the greenhouse, the lowest contribution of total dry mass, dry mass production rate, relative growth rate, net assimilation rate and solar energy conversion efficiency was observed when the plants were subjected to stress. In addition, stress affected the quality of the seeds produced, with a reduction of about 17% in the percentage of seeds with first-class dimensions, an increase of up to approximately 291% of third-class seeds, in addition to a reduction of about 23% in the germination and 18% in shoot length, with difference in response between cultivars. Therefore, carrying out this study showed that stress due to water restriction can affect the performance of barley cultivars at different stages of development.

Keywords: Growth analysis. Biochemical composition. Water deficit. Antioxidant enzymes. *Hordeum vulgare* L.

Sumário

1 Introdução Geral	11
2 Capítulo I – Estresse por restrição hídrica e alta temperatura no desempenho fisiológico e bioquímico de cultivares de cevada.....	23
2.1 Introdução	23
2.2 Material e métodos.....	25
2.3 Resultados e discussão	31
2.4 Conclusões.....	57
3 Capítulo II - Crescimento inicial de cultivares de cevada em resposta à restrição hídrica	58
3.1 Introdução	58
3.2 Material e Métodos.....	60
3.3 Resultados e discussão.....	62
3.4 Conclusões.....	82
4 Capítulo III – Metabolismo e desempenho inicial de cultivares de cevada sob restrição hídrica.....	83
4.1 Introdução	83
4.2 Material e métodos.....	85
4.3 Resultados e discussão.....	90
4.4 Conclusões.....	108
5 Capítulo IV – Ecofisiologia de cultivares de cevada em resposta à restrição hídrica.....	109
5.1 Introdução	109
5.2 Material e métodos.....	111
5.3 Resultados e discussão.....	116
5.4 Conclusões.....	136

6 Considerações finais.....	137
Referências bibliográficas	139

1 Introdução Geral

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) pertencente ao gênero *Hordeum* e família Poaceae é considerada como um dos alimentos mais ancestrais do planeta, com registros fósseis que indicam sua presença desde o período neolítico (SALES, 2010). A espécie era empregada como matéria-prima na fabricação de pães e cervejas que alimentavam os Faraós, e também adotada pelos gregos como um dos cereais primários empregados na produção de alimentos, por fornecer alta energia. Na Mesopotâmia, o cereal era o predileto em muitos locais, por ser mais tolerante a solos salinos que outros como o trigo, uma vez que as antigas práticas de irrigação nos rios Tigre e Eufrates elevavam a salinidade do solo (AL-KHAYRI, JAIN, JOHNSON, 2019).

Devido a sua ampla utilização pelas mais diversas civilizações e estabelecimento em diferentes regiões do planeta, a cultura é apontada como a primeira a ser domesticada no mundo. Os primeiros indícios do cultivo do cereal foram encontrados por volta de 8260 a 7800 a.C. no Delta do Rio Nilo, o qual foi determinado como seu centro de origem (BOTHMER et al., 2003; CAIERÃO, 2008).

A partir da sua domesticação, o cultivo da cevada evoluiu junto com as práticas agrícolas, sendo seu alcance geográfico, atualmente, mais amplo do que praticamente qualquer outra cultura. A espécie é cultivada nas regiões mais altas dos Andes e Himalaia, próximo aos desertos da África, Oriente Médio e China, e também acerca do Círculo Polar Ártico no norte da Ásia, Europa e América do Norte (BLATTNER et al., 2010). A Europa lidera os continentes no cultivo do cereal, seguida da Ásia. Entretanto, com relação aos países, a Rússia destaca-se como maior produtor mundial, alcançando 17 milhões de toneladas. seguida da China, Canadá, EUA, Espanha, França, Austrália, Reino Unido e Índia (FAO, 2019; USDA, 2021).

Na América do Sul, a Argentina lidera como o país com maior expressão produtiva. Em um ranking realizado pelo U. S. Department of Agriculture (USDA) em 2021, o país atingiu o sétimo lugar em relação a produção de cevada, enquanto o Brasil ocupou a 27ª posição, sendo o cultivo nacional concentrado na região Sul, destacando-se o Paraná e Rio Grande do Sul como o maior e o segundo maior Estado

produtor, respectivamente (CONAB, 2021).

Na última safra foram cultivados 120,9 mil hectares de cevada no país, com produção total de 437,6 mil toneladas, e produtividade média de 3.620 kg/há⁻¹ (CONAB, 2022). Nesse sentido, o Rio Grande do Sul é responsável por cerca de 30 % da área nacional semeada com cevada, com 37 mil hectares cultivados em 2022, alcançando uma produção de 108,2 mil toneladas e produtividade de 2.924 kg/há⁻¹. (CONAB, 2022).

A cevada pode ser empregada como matéria-prima para a fabricação dos mais diversos produtos, a depender do contexto o qual está inserida. Em nível global, mais de 90% da produção é utilizada para alimentação animal, apenas 5% é destinada à produção de malte (matéria-prima para fabricação de cerveja) e outros 5% são utilizados como semente (CAIERÃO, 2008). No consumo animal, o cereal pode ser empregado como forragem verde, feno, silagem, em grãos e na produção de rações, as quais também podem ser fabricadas a partir de subprodutos da maltagem (DE MORI; MINELLA, 2012; GRAMENE, 2019).

Na alimentação humana, a cevada como grão não é considerada tão palatável quanto outros cereais, porém é utilizada na forma de malte para produção de cervejas e bebidas destiladas, na fabricação de farinhas empregadas na composição de pães, produtos dietéticos e sucedâneos do café, e também na produção de medicamentos (DE MORI; MINELLA, 2012; GRAMENE, 2019). Apesar do uso da cevada para fins cervejeiros ser em pequena proporção a níveis mundiais, essa finalidade é a mais popular, especialmente pela sua aptidão qualitativa, consequência de um equilíbrio sensorial e aromático. O malte usado na produção da cerveja, quando torrado, pode ser aproveitado para produção de café, sendo muito bem adotado por não possuir cafeína (CAIERÃO, 2008).

No Brasil o cenário é distinto, uma vez que praticamente toda a cevada produzida é destinada às indústrias de malte cervejeiro, porém, quando a qualidade do produto fica aquém do exigido para fabricação da cerveja, o cereal é então destinado a outros fins (CAIERÃO, 2008). Nesse contexto, cerca de 75% da produção nacional de cevada é designada à produção de malte, enquanto 5% é utilizada como sementes e o restante empregado como forragem (ANTUNES, 2021; EMBRAPA, 2012). Nesse contexto, apesar da significativa produção de cevada, o país supre aproximadamente 43% da necessidade do mercado interno com o cereal, sendo o

restante importado de outros países (CARPENTIERI-PIPOLO; MINELLA, 2021), o que reflete na demanda de expansão da produção nacional, a fim de preencher a deficiência existente no mercado brasileiro.

A partir de 1930, quando a cevada se tornou importante no país, a produção da cultura foi fundamentada pela demanda advinda das fábricas cervejeiras, sendo pautada por contratos entre os produtores e as indústrias, as quais se comprometeram com o fornecimento das sementes, insumos para a produção e orientações técnicas, estabelecendo assim um comprometimento entre as partes envolvidas (PAIVA et al., 2006). A expansão do cereal no Brasil se deu por meio de incentivos advindos das indústrias cervejeiras, graças ao aumento dos preços do produto externo na década de 70 (DE MORI; MINELLA, 2012), o que levou até o estabelecimento do mercado atual.

Contudo, para a produção de malte é preciso que a cevada esteja em conformidade com algumas características específicas, principalmente relacionadas ao poder germinativo e ao teor de proteínas, sendo estas características indispensáveis para obtenção de um produto final de alta qualidade (GOUVÊA, 2014). O processo de malteação da cevada requer a ocorrência da germinação das sementes em condições controladas, para ativação de enzimas como amilases, proteases e glucanases, as quais são responsáveis pela conversão de carboidratos e proteínas em aminoácidos e açúcares de menor peso molecular, que são utilizados pelas leveduras no processo fermentativo (MORAIS, 2019; PORTO, 2011; ROSA; AFONSO, 2015).

Em síntese, o sistema enzimático é responsável pela transformação do amido em açúcares fermentáveis (KUNZE, 2006). Dessa forma, o objetivo primário da malteação é a redução de algumas proteínas insolúveis e das β -glucanas presentes nas paredes celulares, as quais impedem o acesso das enzimas aos grânulos de amido (HUGHES; BAXTER, 2001). Posteriormente, ocorre então a ativação de determinadas enzimas, responsáveis pela quebra das cadeias de amido e proteínas, o que resulta em substrato solúvel e aminoácidos, os quais são fundamentais durante a produção da bebida alcoólica (TANCREDO, 2015).

Devido às especificidades envolvidas na produção do malte, para os grãos de cevada são exigidos padrões de qualidade similares àqueles necessários para as

sementes. Assim, para que seja destinada à indústria cervejeira, a cevada deve cumprir critérios como germinação mínima de 95%, mínimo de 90% de grãos que apresentem padrão de classe 1 (maiores que 2,5 mm), teor de proteína de 9,5 a 11,5%, pureza varietal de no mínimo 95%, sementes de outras espécies de cereais menor que 3%, além de limites para o conteúdo de pesticidas, microrganismos e toxinas (BRASIL, 1996).

Nesse sentido, fatores como condições edafoclimáticas, técnicas de manejo e adaptação do genótipo à região de cultivo, podem influenciar em características como poder germinativo, tamanho, teor de proteína e a sanidade dos grãos, determinando assim o potencial de uso do material (MINELLA, 2015). Dentre os fatores ambientais, a ocorrência de estresses bióticos e abióticos é, muitas vezes, determinante no processo de produção da espécie e pode promover alterações drásticas nas características desejáveis das plantas.

Quanto aos estresses abióticos, a restrição hídrica é considerada o mais comum e que mais restringe o rendimento e a qualidade das espécies vegetais no mundo, tornando-se cada dia mais grave devido à ocorrência das mudanças climáticas globais. Segundo Hoogenboom (2000), cerca de 80% da variabilidade ocorrida na produção agrícola decorre das condições edafoclimáticas existentes, sendo a restrição hídrica responsável por 56% das perdas na produção relacionadas às intempéries climáticas.

O estresse é capaz de inibir o crescimento e desenvolvimento das plantas, influenciando a produção e a produtividade das culturas. Este é capaz de comprometer as relações planta-água, a capacidade de troca de gases envolvidos no processo fotossintético, o turgor celular, as relações fonte dreno, além de alterar diversos eventos metabólicos nos vegetais (ANJUM et al., 2011; ANJUM et al., 2017), o que resulta em modificações morfológicas, fisiológicas e metabólicas.

O estresse hídrico pode ocorrer em qualquer estágio de desenvolvimento das plantas, variando conforme as características dos locais de produção. Nesse contexto, os genótipos podem responder de maneira distinta conforme o estágio de desenvolvimento que se encontram quando são submetidos às condições adversas, além de dependerem da duração e intensidade do estresse. Nesse contexto, a tolerância ao estresse por restrição hídrica, por exemplo, pode variar de acordo com

o estágio de desenvolvimento das plantas. Nesse caso, algumas cultivares podem tolerar mais o estresse durante a germinação ou no estágio de plântulas e, por outro lado, serem mais sensíveis ao estresse na fase de floração, ou vice-versa (SALLAM et al., 2019). Portanto, a determinação de cultivares tolerantes ao estresse requer estudos que considerem, além das demais características, o estágio de desenvolvimento das plantas, uma vez que as respostas podem ser distintas a partir desse fator.

A ocorrência de restrição hídrica durante a germinação e estabelecimento das plântulas, por exemplo, é considerada um dos principais fatores relacionados ao menor crescimento e produtividade das culturas (SAUSEN; ROSA, 2010). O processo germinativo, é composto por três fases, sendo a primeira (fase I) diretamente relacionada a embebição por absorção física da água, devido ao gradiente de potencial matricial ocasionado pelas células e tecidos desidratados da semente, resultando em rápida absorção e aumento no teor de água. Na segunda fase (fase II), a semente absorve menos água e de forma mais lenta, atingindo um platô de hidratação no qual ocorre a plena reativação do metabolismo pré-germinativo. Já a terceira fase (fase III) é caracterizada pela retomada de maior absorção de água pela semente, aumentando assim a curva de embebição, a qual está associada ao crescimento do embrião (DE CASTRO, 2004, NONOGAKI et al, 2007).

Dessa forma, a água é considerada essencial para germinação, pois influencia diretamente na porcentagem, velocidade e uniformidade do processo, uma vez que está relacionada à mobilização de reservas e a liberação de energia pela respiração, atuando também na atividade enzimática e de reguladores de crescimento. A água atua na liberação do protoplasma, favorecendo o metabolismo ligado a retomada do crescimento do embrião (MARCOS FILHO, 2015). Nesse contexto, a deficiência hídrica severa pode levar a alterações no desenvolvimento e fisiologia das plântulas, ou ainda resultar na completa inibição da germinação (BRITO et al., 2016; RADHAMANI et al., 2012). O estresse pode prejudicar drasticamente a reativação do metabolismo juntamente com o alongamento e expansão celular durante o processo de embebição das sementes e desenvolvimento inicial das plântulas (BEWLEY et al., 2013; KUSAKA et al., 2005).

Além disso, a exposição ao déficit hídrico pode levar a geração de espécies reativas de oxigênio, as quais podem acarretar na peroxidação lipídica, degradação de proteínas, danos ao DNA e, em último caso, levar à morte celular (ZHANG et al., 2015).

Durante os demais estádios de desenvolvimento, o estresse por restrição hídrica pode desencadear outras alterações nas plantas, as quais produzem respostas a fim de superar os efeitos ocasionados pelo estresse. Nesse contexto, a deficiência hídrica pode induzir o fechamento estomático, inibir a expansão foliar, promover a abscisão foliar e até resultar em modificações na arquitetura do sistema radicular (SINMONTACCHI et al., 2015).

Quando expostas à restrição hídrica, as plantas tendem a modificar a estrutura radicular, alterando o crescimento das raízes na busca pela absorção de água, mesmo que esta esteja disponível de maneira escassa no solo. Nesse caso, a razão de biomassa das raízes para parte aérea parece ser liderada por um balanço entre a absorção de água pelas raízes e fotossíntese pela parte aérea. De maneira geral, a parte aérea se mantém em crescimento até que a absorção de água pelas raízes seja limitada; por outro lado, as raízes permanecem em crescimento até que sua demanda por fotossintatos da parte aérea iguale-se ao suprimento. Contudo, este balanço funcional é alterado quando o suprimento hídrico é reduzido (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A inibição da expansão foliar é afetada de forma precoce quando a disponibilidade hídrica é diminuída. Esta reduz o consumo de carbono e energia e uma proporção maior de assimilados pode ser dirigida ao sistema subterrâneo, o que permite sustentar o crescimento posterior das raízes. No entanto, uma perda de turgor ocorre no ápice das raízes, em decorrência do solo seco. Tais fatores, proporcionam um crescimento preferencial das raízes para regiões mais úmidas do solo. Dessa forma, quando a água é esgotada nas camadas superiores do solo, ocorre a perda de raízes superficiais e proliferação de raízes profundas, sendo esta resposta considerada uma linha de defesa das plantas contra o estresse (TAIZ; ZEIGER, 2013). Portanto, a capacidade de penetração das raízes no solo, assim como o comprimento, volume, peso e densidade do sistema radicular estão associados a respostas voltadas à disponibilidade hídrica do solo e a tolerância da espécie ou cultivar a seca (HU; XIONG, 2014).

Além de modificações no sistema radicular, a deficiência hídrica também afeta a parte aérea das plantas. Nesse sentido, a limitação hídrica afeta o tamanho foliar e também o número de folhas, uma vez que reduz o crescimento das ramificações (SALAMONI, 2008; TAIZ; ZEIGER, 2013). Esta diminuição do crescimento está relacionada com a redução das divisões e da expansão das células que ocorrem em função da menor disponibilidade hídrica (DANTAS, 2014). Além disso, a escassez de água no solo induz o fechamento estomático, a fim de reduzir a perda de água pelas plantas (TEIXEIRA et al., 2015), podendo ocorrer assim alterações relacionadas a condutância estomática e redução da transpiração, o que conseqüentemente leva ao aumento da temperatura foliar e redução das trocas gasosas (FURLAN et al., 2012; SILVA et al., 2008). A diminuição da condutância estomática ocasiona um menor aporte de CO₂ para o interior dos cloroplastos, o que acarreta na redução da taxa fotossintética e, conseqüentemente contribui para um menor acúmulo de biomassa (GALLÉ et al., 2011; TATAGIBA et al., 2015).

Além disso, o estresse pode comprometer o processo fotossintético por meio de limitações metabólicas e bioquímicas, as quais incluem inibição da atividade da rubisco e demais enzimas que atuam na fixação de carbono, além de danos aos fotossistemas e redução da capacidade de gerar ATP (LAWLOR 2002; LAWLOR; TEZARA, 2009; PINHEIRO; CHAVES, 2011). Ademais, podem ocorrer danificações na estrutura dos cloroplastos, degradação no sistema de membranas, foto-oxidação da clorofila, inibição da biossíntese de clorofila e aumento da atividade da clorofilase (VASSILEVA et al., 2012). Em síntese, todas as alterações no processo fotossintético comprometem, em maior ou menor nível, o desenvolvimento das plantas, podendo levar a perdas substanciais de rendimento.

Nesse contexto, Mejri et al. (2016) constataram que plantas de cevada selvagem e cultivada submetidas à restrição hídrica progressiva expressaram redução significativa da taxa fotossintética, da taxa de transpiração, condutância estomática e eficiência instantânea do uso da água, porém, após a retomada da irrigação as plantas restauraram os valores habituais dos parâmetros avaliados. No mesmo estudo, os autores ainda afirmaram que a condutância estomática reduziu em resposta ao estresse menos que a taxa fotossintética, o que sugere que o fechamento estomático

não foi a causa exclusiva da redução nas taxas de assimilação de CO₂, tanto nas plantas selvagens quanto nas cultivadas.

Contudo, a recuperação da taxa de assimilação de CO₂ após a retomada das condições ideais de irrigação indica que o estresse não foi capaz de afetar a atividade fotossintética permanentemente. Segundo Cornic (2000) o aumento rápido nas taxas de assimilação, após a retomada da irrigação aponta que os mecanismos fotossintéticos bioquímico e fotoquímico não foram comprometidos pela limitação hídrica, o que leva a inferir que a diminuição na absorção líquida de CO₂ resultou do fechamento dos estômatos. Em contrapartida, foram observadas alterações negativas nos mecanismos bioquímico e fotoquímico da fotossíntese quando a deficiência hídrica foi imposta por mais de 21 dias. Com isso, pode-se observar que o período de duração do estresse está diretamente relacionado às respostas das plantas.

Ghotbi-Ravandi et al. (2014), analisando o efeito da limitação hídrica na eficiência fotossintética de cultivares tolerantes e suscetíveis de cevada, observaram que o estresse promoveu o fechamento estomático precoce e diminuiu consideravelmente a condutividade estomática na cultivar sensível ao estresse. Por outro lado, a cultivar tolerante apresentou a condutividade estomática elevada mesmo quando as plantas estavam sob condições estressantes. Tais resultados evidenciam que além do período de permanência do estresse, as características relacionadas aos genótipos também influenciam nas respostas das plantas às condições de cultivo.

Na cevada, a deficiência hídrica pode induzir diversas alterações relacionadas ao processo fotossintético. Além daquelas já mencionadas, foram observadas alterações como inibição da atividade do cloroplasto, quebra da clorofila e mudanças na proporção entre clorofila *a* e *b* (HESSINI et al., 2008; WANG et al., 2014). Todas essas modificações, podem levar a consequências como menor eficiência no desenvolvimento das plantas, e acarretar em menor crescimento, rendimento e qualidade das sementes, o que compromete drasticamente o escoamento da produção da cevada no país.

Outras alterações relevantes que ocorrem em vista da restrição hídrica, e que inevitavelmente correlacionam-se com os demais processos, referem-se ao estresse oxidativo e ao sistema de defesa vegetal. Quando as plantas são expostas a condições estressoras, ocorre o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS), que

abrangem formas reduzidas ou parcialmente excitadas de oxigênio atmosférico (MITTLER, 2017). Tais moléculas promovem a oxidação de componentes celulares provocando estresse oxidativo, que corresponde ao estado fisiológico em que a perda de elétrons (oxidação) excede o ganho de elétrons (redução), induzindo assim a ocorrência de danos químicos (oxidativo) em componentes celulares (DEMIDCHIK, 2015).

Apesar das espécies reativas de oxigênio pertencerem a vida aeróbica e possuírem funções importantes relacionadas à resistência ao estresse e a regulação do desenvolvimento vegetal desde a germinação até a senescência, essas ainda são consideradas moléculas potencialmente perigosas devido a sua alta reatividade (MORALES; MUNNÉ-BOSCH, 2019). Nesse contexto, a produção de ROS ativa mecanismos específicos nos vegetais, os quais envolvem, dentre outros, a síntese de enzimas antioxidantes encarregadas de eliminar essas moléculas (CAVERZAN, 2016), podendo ocorrer em diferentes compartimentos celulares, como cloroplastos, mitocôndrias, peroxissomos e apoplastos (CHOUDHURY et al., 2017; MITTLER, 2017).

As formas mais comuns de ROS encontradas nas células são: radicais superóxido (O_2^-), hidroxila (OH^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e oxigênio singleto (1O_2). Tais moléculas estão diretamente ligadas a regulação do desenvolvimento, diferenciação, sinalização de estresse, interações com outros organismos, respostas sistêmicas e morte celular em plantas superiores (CHOUDHURY et al., 2017; MITTLER, 2017). Nesse sentido, sugere-se que essas moléculas possuem um papel duplo *in vivo*, dependendo dos seus níveis. Nesse caso, quando em baixos níveis, as ROS estão relacionadas ao crescimento normal das plantas, à sinalização vegetal e resposta ao estresse. Por outro lado, níveis elevados podem culminar na oxidação de componentes celulares e no comprometimento das funções originais (HUANG et al., 2019).

Nesse contexto, a fim de minimizar os danos provocados pelas espécies reativas de oxigênio, as plantas desenvolveram uma série de mecanismos de proteção enzimáticos e não enzimáticos, os quais envolvem a produção de enzimas como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX),

além de compostos como ácido ascórbico (AsA), tocoferol, glutationa e compostos fenólicos (SEWELAM, 2016).

A enzima superóxido dismutase pertence a um grupo de metaloenzimas que está presente em todos os organismos. Assim, quando em condições de estresse, a SOD atua na linha de frente de defesa contra os danos ocasionados pelas ROS, catalisando a dismutação do O_2^- em O_2 e H_2O_2 , evitando assim a formação de radicais hidroxila. A catalase é encarregada de catalisar a dismutação de H_2O_2 em H_2O e O_2 . Apesar de possuir alta afinidade por H_2O_2 , a enzima possui menor especificidade com peróxidos orgânicos, podendo ser encontrada nos cloroplastos, citosol e mitocôndrias (MHAMDI et al., 2010). Já a ascorbato peroxidase é uma heme-proteína da superfamília das peroxidases, com diferentes formas isoenzimáticas. A enzima possui alta afinidade com H_2O_2 , possibilitando a eliminação deste mesmo em baixas concentrações, e pode ser encontrada no citosol, mitocôndrias, peroxissomos, cloroplastos e parede celular (SHARMA; DUBEY, 2004).

Nesse contexto, plantas de cevada quando submetidas a restrição hídrica apresentaram níveis mais elevados de espécies reativas de oxigênio como superóxido e peróxido de hidrogênio, o que resultou na peroxidação lipídica e redução da integridade de membranas, além do aumento nos níveis de enzimas antioxidantes como catalase, peroxidase e polifenol oxidase. Em razão das modificações metabólicas provocadas em decorrência do estresse, as plantas apresentaram menor aporte em componentes relativos ao crescimento vegetal, além de menor rendimento e qualidade (ABDELAAL et al., 2018).

Semelhantemente, Kaciené et al. (2015) constataram que a deficiência hídrica em plantas de cevada induziu o estresse oxidativo, aumentando os níveis de peroxidação lipídica em até 120%. Ademais, condições mais severas de estresse induziram o acúmulo de superóxido em até 80% em relação ao tratamento controle, em que manteve-se as condições ideais de irrigação. A intensidade do estresse também afetou a atividade de enzimas antioxidantes, ocorrendo maior atividade enzimática de acordo com a redução da umidade nos substratos.

Outro mecanismo de tolerância à limitação hídrica desenvolvido pelas plantas, é o acúmulo de osmólitos, os quais incluem açúcares, aminoácidos, compostos terciários de sulfato (3-dimetilsulfoniopropionato DMSP) e compostos quaternários de

amônio (glicina betaína, prolina-betaína, b-alanina betaína e colina-O-sulfato) (FLOWERS et al, 2000). Tais compostos são considerados pequenas moléculas eletricamente neutras e que não são tóxicas mesmo em altas concentrações.

Durante o estresse osmótico, as células vegetais acumulam esses solutos a fim de prevenir a perda de água e restabelecer o turgor. Dessa forma, os osmólitos agem no ajuste osmótico e na proteção das células contra espécies reativas de oxigênio (PINHERO et al., 1997). Os carboidratos, por exemplo, desempenham papel relacionado ao ajuste osmótico, armazenamento de carbono, desintoxicação de ROS, estabilização de enzimas/proteínas, além da proteção das membranas e de estruturas de DNA. Quando em situações severas de desidratação, os açúcares substituem essencialmente a água, promovendo a hidratação em volta das proteínas (BOWNE et al., 2012).

Contudo, a síntese e acumulação destas moléculas osmoprotetoras varia entre espécies de plantas, assim como entre cultivares da mesma espécie (PINHERO et al., 1997), sendo esta uma resposta associada à tolerância de genótipos ao estresse. Por tal razão, o acúmulo de osmólitos tem sido amplamente empregado como um parâmetro útil para seleção nos programas tradicionais de melhoramento de plantas visando o aumento da produtividade em ambientes caracterizados pela restrição hídrica (BELLHASSEM et al., 1995; CLAUSSEN, 2005; ZHANG et al., 1999;). Nesse contexto, Cheour (2014) analisando respostas de cultivares de cevada à restrição hídrica, observou que em decorrência do estresse, a maioria das plantas reduziu seu potencial osmótico pelo acúmulo de osmólitos como prolina, açúcares solúveis e ácidos orgânicos.

Em síntese o estresse promovido pela limitação hídrica em cevada é capaz de ocasionar alterações de ordens morfológicas, fisiológicas e metabólicas, resultando em danos, muitas vezes irreparáveis. Tais modificações tendem a refletir diretamente no crescimento e desenvolvimento vegetal, podendo ainda comprometer o rendimento e qualidade das sementes. Nesse contexto, a restrição hídrica em cevada reduziu componentes de crescimento como o peso das raízes, além de diminuir em até 47% o rendimento de grãos (CARVALHO; ALI; FOULKES, 2014).

Cabe ainda salientar, que fatores como a duração do estresse, estágio de desenvolvimento das plantas e características atribuídas aos genótipos influenciam

diretamente nas respostas das plantas às condições adversas. Rajala et al. (2011) avaliando o efeito da restrição hídrica em plantas de cevada, constataram que a ocorrência da limitação hídrica antes da polinização ocasionou redução no número de grãos, enquanto a falta de água no estágio de enchimento de grãos, provocou não só a redução no número, como a diminuição do peso dos grãos, o que evidencia a relação do estágio de desenvolvimento das plantas no momento de ocorrência do estresse com as respostas das plantas.

Além do estágio de desenvolvimento, características relacionadas aos genótipos são de suma importância e geralmente estão associadas às respostas ao estresse. Nesse contexto, Thameur, Lachiheb e Ferchichi (2012) observaram que o déficit hídrico restringiu o crescimento de cultivares de cevada, contudo, houve uma resposta diferencial entre cultivares, sendo uma delas mais tolerante a limitação hídrica. Nesse caso, uma das cultivares apresentou uma redução menor do teor relativo de água na folha quando comparada às demais, sendo este um indicativo de maior tolerância ao estresse.

As cultivares BRS Korbel, ABI Rubi e Imperatriz, as quais foram as principais utilizadas neste estudo, caracterizam-se, por exemplo, por apresentarem ciclo médio de 130 dias e diferirem quanto a resistência ou suscetibilidade a doenças. Nesse caso, BRS Korbel apresenta resistência a oídio, moderada resistência a mancha reticular e suscetibilidade a mancha marrom e giberela (CACIL, 2023). ABI Rubi, é considerada resistente a oídio, moderadamente resistente a mancha reticular e mancha marrom e suscetível a giberela. Já Imperatriz, é classificada como moderadamente resistente a oídio, mancha reticular e mancha marrom, sendo suscetível a giberela (VILARINHO, 2022). Apesar da caracterização das cultivares quanto a fatores de estresse biótico, o comportamento das mesmas com relação a ocorrência de estresses abióticos, como o por restrição hídrica, por exemplo, ainda não está completamente elucidado, o que evidencia a importância de estudos relacionados a essa área.

Em suma, a ocorrência da restrição hídrica é um dos fatores com mais alto potencial de limitação ao crescimento e desenvolvimento das plantas, inclusive para a cultura da cevada, em que o estresse pode resultar na maior dificuldade de escoamento da produção, em virtude dos padrões de qualidade pré-estabelecidos pela indústria que mais absorve a produção do cereal no país. Nesse sentido, tornam-

se necessários estudos que visam estabelecer as respostas de cultivares de cevada a limitação hídrica em diferentes estádios de desenvolvimento das plantas, uma vez que podem servir de subsídio para determinação de genótipos tolerantes ao estresse, os quais podem contribuir para a produção da cultura mesmo quando em condições de baixa disponibilidade hídrica.

2 Capítulo I – Estresse por restrição hídrica e alta temperatura no desempenho fisiológico e bioquímico de cultivares de cevada

2.1 Introdução

A cevada (*Hordeum vulgare* L) está entre as espécies agrícolas mais antigas do mundo, sendo cultivada em diferentes regiões, devido principalmente a sua alta adaptabilidade (DAWSON et al., 2015; ZHOU, 2010). Seu uso está direcionado, principalmente, à alimentação animal e humana, na composição de rações e produção de bebidas alcoólicas. No Brasil, cerca de 75% da produção total do cereal é destinada às indústrias cervejeiras para produção do malte utilizado na fabricação de cervejas (ANTUNES, 2021; DEMORI; MINELLA, 2012; ENCYCLOPEDIA BRITANNICA, 2020).

A produção nacional da cultura está concentrada na região sul do país, contudo outros Estados brasileiros como Goiás, Minas Gerais e São Paulo também estão produzindo cevada na entressafra, podendo seu cultivo ser expandido para outras regiões do centro-oeste do país, em maiores altitudes e sob sistema de irrigação, onde já se pratica o cultivo de cereais como o trigo (AMABILE; FALEIRO, 2014; FERRARI; POSSAMAI, 2015; THOMÉ, 2020; TOLFO et al., 2020;).

Para o agricultor, o cultivo da espécie surge como uma importante alternativa na produção, em razão de fatores favoráveis como a liquidez e a janela de cultivo da cultura. Nesse sentido, a cevada apresenta um ciclo de desenvolvimento relativamente curto, o que favorece a semeadura da soja na época adequada do ciclo subsequente. Além disso, características como o sistema radicular volumoso, proporcionam condições melhores de solo para a manutenção da produção agrícola (CAIERAO; ACOSTA, 2007).

Apesar de ser considerada uma alternativa interessante, devido aos benefícios que a cultura pode proporcionar, cabe ressaltar que o Brasil abastece apenas 43% do mercado interno com cevada, sendo o restante adquirido via importação (CARPENTIERI-PIPOLO; MINELLA, 2021), o que acarreta em uma dependência mercadológica do setor. Por outro lado, a contínua expansão da população reflete na

maior necessidade de produção de alimentos, a fim de suprir a demanda de consumo, principalmente daqueles produtos que compõem a cesta básica alimentar, além daqueles com maior refinamento, alto valor agregado ou com elevada fluidez de mercado.

Dessa forma, há a urgente necessidade do uso de alternativas que contribuam para a obtenção da autossuficiência da produção, como o aumento na produtividade através do posicionamento estratégico de cultivares em microclimas favoráveis ao desenvolvimento da espécie, o uso de áreas que possuam potencial produtivo, assim como a melhor utilização de áreas subutilizadas ou menos propícias (AUMONDE et al., 2017; PINHEIRO; BRASIL; GHESTI, 2017). Nesse contexto, o ambiente de cultivo, muitas vezes, pode proporcionar condições adversas para o desenvolvimento das plantas, havendo assim a ocorrência de estresses abióticos, os quais podem decorrer devido ao desbalanço de temperatura, radiação solar, salinidade, excesso ou falta de água (AUMONDE et al., 2017).

A restrição hídrica e a temperatura são consideradas as variáveis ambientais mais importantes para a agricultura, podendo interferir no crescimento e produtividade das plantas (ASGHER et al., 2017; HUSSAIN et al., 2018; MENG et al., 2016) que ocorre em resposta ao fechamento estomático, redução da taxa de assimilação de carbono, modificação das taxas transpiratórias, diminuição da área e da expansão foliar, abscisão precoce de folhas, modificação da arquitetura de folhas e da planta, assim como, do sistema radicular e da alteração dos drenos metabólicos preferenciais da planta (ABOBATTA, 2019; ANJUM et al. 2011; BASU et al., 2016; EARL; DAVIS, 2003; GREGOROVÁ et al. 2015; HU; XIONG, 2014; KAPOOR et al. 2020; LAMAOU et al. 2018; LEITE, 2019; SINMONTACCHI et al., 2015; TEIXEIRA et al., 2015).

Em cevada, assim como na maioria das culturas, as fases de germinação e desenvolvimento inicial das plântulas são consideradas algumas das mais sensíveis a estresses abióticos, principalmente à restrição hídrica, uma vez que a disponibilidade de água é essencial no processo de retomada de crescimento do embrião nas sementes (PESKE et al., 2019; SAMARAH; ALQUDAH, 2011; YIGIT; SEVIK; CETIN, 2016). Dessa forma, a deficiência hídrica pode culminar em atraso no processo germinativo, redução da taxa de germinação e acarretar no menor desenvolvimento das plântulas (OMID; FARZAD, 2012; SAMARAH; ALQUDAH,

2011).

Tais condições estressoras, podem ainda alterar negativamente a atividade de enzimas antioxidantes e a composição química da espécie. A exposição ao déficit hídrico e a alta temperatura induzem a superprodução de espécies reativas de oxigênio (SUZUKI et al., 2012), as quais podem ocasionar danos oxidativos em proteínas, lipídios e ácidos nucleicos (LIU et al., 2015; OBA, 2018; SARKER; MITTLER et al., 2011) quando excessivamente acumuladas. A fim de eliminar moléculas de espécies reativas de oxigênio e prevenir a ocorrência de dano oxidativo, as plantas desenvolveram um sistema de defesa antioxidante, o qual é formado, dentre outros compostos, por enzimas antioxidantes como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) (CHOUDHURY et al., 2017). Outra resposta em decorrência dos estresses, é o acúmulo de moléculas osmoprotetoras como aminoácido, alguns açúcares e compostos detentores de oxigênio, os quais auxiliam na tolerância das plantas às condições adversas (AKITHA; GIRIDHAR, 2015; HOSSAIN et al., 2014).

Em síntese, a restrição hídrica e alta temperatura podem promover diversas alterações nas plantas, alterando inúmeros processos fisiológicos e bioquímicos, os quais variam de acordo com intensidade e duração do estresse, dos genótipos e fase de desenvolvimento da cultura (CONDÉ, 2010). Com isso, faz-se necessário estudos que avaliem o desempenho de sementes de cevada submetidas a condições de estresse.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da restrição hídrica e de diferentes temperaturas no desempenho fisiológico e bioquímico de plântulas de cevada.

2.2 Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos nos Laboratórios Didáticos de Análise de Sementes e de Biosementes, do Departamento de Fitotecnia – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas. O trabalho foi dividido em dois estudos, sendo:

Estudo I

Foram testados potenciais osmóticos a fim de simular a ocorrência da restrição hídrica em sementes de cevada, submetidas a diferentes temperaturas. O experimento foi conduzido em condições controladas, em câmaras de incubação do tipo B.O.D. nas temperaturas estabelecidas.

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 11 x 5, sendo 11 cultivares x 5 potenciais osmóticos, com 4 repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de onze cultivares de cevada (ABPR 31, BRS Cauê, BRS Korbel, BRS Quaranta, IRINA, ANA 01, ABPR 01431, ABI Rubi, Imperatriz, Daniele e BRS Brau) e cinco potenciais osmóticos (0, -0,15, -0,30, -0,45 e -0,60 Mpa) em soluções compostas por água destilada e diferentes concentrações de polietilenoglicol (PEG-6000) (adaptado de KOCH, 2019). Conjuntamente, foram submetidas a duas temperaturas, consideradas adequada e estressora, as quais foram mantidas até o final das avaliações, sendo de 20 °C (adequada) e 35 °C (estressora).

Para a avaliação do efeito do estresse restrição hídrica e temperatura sobre o desempenho de sementes de cultivares de cevada foram efetuadas as seguintes análises:

Primeira contagem de germinação: foi realizada conjuntamente com o teste de germinação, com avaliação aos 4 dias após a semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme indicado pela RAS (BRASIL, 2009).

Germinação: avaliada por meio de quatro amostras com quatro subamostras de 50 sementes para cada tratamento. As sementes foram dispostas para germinar entre três folhas de papel germitest, umedecidas com as soluções de diferentes potenciais osmóticos em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos foram transferidos para câmara de germinação do tipo B.O.D. com a temperatura correspondente a cada tratamento, ou seja, 20 °C ou 35 °C, com fotoperíodo de 12 horas. A contagem foi realizada aos sete dias após semeadura e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, conforme indicado pelas Regras de Análise de Sementes - RAS (BRASIL, 2009).

Massa seca de plântulas: avaliada aos sete dias após a semeadura. Para determinação da massa seca, foram coletadas quatro subamostras de 10 plântulas por tratamento, sendo as plântulas, separadas em parte aérea e raiz. Cada fração foi alocada separadamente em envelopes de papel pardo e submetida à secagem em estufa de circulação de ar forçado, à temperatura de 70 ± 2 °C, até a massa constante. A massa seca foi determinada em balança de precisão e os resultados foram expressos em mg plântula⁻¹.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, se significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, submetidos a análise de médias pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro, utilizando o software Sisvar®.

Estudo II

A partir da análise de dados do estudo I, realizou-se a seleção de duas cultivares com melhor desempenho (tolerantes ao estresse) e de uma cultivar com pior desempenho (sensível ao estresse). Utilizou-se como parâmetro de seleção, a massa seca total de plântulas das cultivares de cevada submetidas ao potencial de -0,15 Mpa, o qual foi estabelecido como estressor aceitável no desempenho fisiológico das sementes, conjuntamente à temperatura de 35 °C.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, sendo significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, foram submetidos à análise de médias pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro. A partir desta análise, selecionou-se as cultivares ABI Rubi e Imperatriz como àquelas que apresentaram desempenho superior, enquanto, BRS Korbel foi selecionada como sendo de desempenho inferior.

Após a seleção das cultivares iniciou-se os experimentos do segundo estudo. Para tanto, as sementes das cultivares escolhidas foram dispostas para germinar entre três folhas de papel germitest umedecidas com as soluções de diferentes potenciais osmóticos em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos foram incubados em câmara de germinação do tipo B.O.D. nas temperaturas de 20 °C e 35 °C, com fotoperíodo de 12 horas. Aos sete dias após a semeadura, realizou-se a coleta de plântulas que foram utilizadas para determinação da atividade enzimática, do conteúdo de peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica, aminoácidos e açúcares solúveis totais.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 5, sendo três cultivares (ABI Rubi, Imperatriz e BRS Korbel) e cinco potenciais osmóticos (0; -0,15; -0,30; -0,45; - 0,60 MPa) com quatro repetições.

Para a avaliação do efeito do estresse por restrição hídrica sobre o desempenho enzimático e relativo ao conteúdo de peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica, aminoácidos e açúcares solúveis totais das plântulas das cultivares de cevada submetidas as diferentes temperaturas, foram efetuadas as seguintes análises:

Atividade enzimática antioxidante: o sistema enzimático antioxidante foi avaliado quantitativamente através da atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX). Para tanto, amostras de aproximadamente 250 mg de plântulas foram maceradas com nitrogênio líquido e polivinilpolipirrolidona 10%, sendo homogeneizadas em 1,5 mL do 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 x g, por 20 minutos, a 4 °C e o sobrenadante, coletado para determinação da atividade das enzimas.

A SOD (EC 1.15.1.1) foi avaliada através da capacidade que a enzima possui de 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 contendo o meio de reação e a amostra foi iluminada por 10 minutos, utilizando 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. As leituras foram executadas a 560 nm e o cálculo da enzima foi realizado com base na equação: % de inibição = $(A_{560} \text{ amostra com extrato enzimático} - A_{560} \text{ controle sem enzima}) / (A_{560} \text{ controle sem enzima})$, considerando que uma unidade da SOD corresponde à quantidade de enzima capaz de inibir em 50 % a fotorredução do NBT nas condições de ensaio. Os resultados foram expressos em Umg^{-1} de proteína.

A APX (EC 1.11.1.11) foi determinada de acordo com Nakano e Asada (1981), através do monitoramento da 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, foi incubado a 28 °C. O decréscimo na absorvância foi monitorado por dois minutos a partir do início da reação. A atividade da enzima foi calculada empregando o coeficiente de extinção molar de 2,8 mol⁻¹L cm⁻¹. Os resultados foram expressos em μmol ASA min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

A CAT foi determinada conforme Azevedo et al. (1998), baseando-se no consumo de H₂O₂ (coeficiente de extinção 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 através do decréscimo na absorvância a 240 nm durante dois minutos com incubação a 28 °C. Os resultados foram expressos em μmol H₂O₂ min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

Conteúdo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e peroxidação lipídica: a peroxidação lipídica e o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) foram determinados utilizando 250 mg de matéria fresca, a qual foi macerada em solução de ácido tricloroacético (TCA) a 0,1 %. O macerado foi centrifugado a 12.000 x g por 20 min, em seguida o sobrenadante foi transferido para tubos do tipo *ependorf*. O H₂O₂ foi determinado de acordo com Velikova et al. (2000). Para isso, 0,5 mL do sobrenadante foram adicionados a 0,5 mL de tampão fosfato de potássio 10 mM (pH 7,0) e 1 mL de iodeto de potássio 1 M. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro a 390 nm e o teor de H₂O₂ foi calculado por meio da comparação das leituras com curva padrão obtida a partir de concentrações conhecidas de H₂O₂. Os resultados foram expressos em μmol de uM.g⁻¹ MF.

A peroxidação lipídica foi determinada através da medição da concentração de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), conforme Cakmak e Horst (1991). Para isso, foram utilizados 250 μL do sobrenadante obtido acima, adicionado a 1 mL da solução composta de 0,5% (p/v) de ácido tiobarbitúrico (TBA) e 10% (p/v) de TCA. O TBA forma complexos de cor avermelhada, com aldeídos de baixo peso molecular, como o malondialdeído (MDA), produto secundário do processo de peroxidação. O meio de reação foi incubado a 95 °C por 30 minutos, na sequência a reação foi paralisada pelo resfriamento rápido em banho de gelo. A absorvância das TBARS formadas foi determinada em espectrofotômetro a 535 nm e 600 nm e a concentração do complexo MDA/TBA foi calculada pela seguinte equação: $[MDA] = (A_{535} - A_{600}) / (\xi \cdot b)$ onde: ξ : (coeficiente de extinção = $1,56 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$) e b: (comprimento ótico = 1). Os

resultados foram expressos em μmol de MDA/ g^{-1} MF.

Teores de açúcares solúveis totais e aminoácidos: A etapa de extração foi realizada conforme metodologia adaptada de Bieleski e Turner (1966). Para tanto, as amostras de 200 mg de material vegetal, foram maceradas em gral e homogeneizadas com 10 mL de solução extratora "MCW" (metanol: clorofórmio: água, na proporção de 12:5:3). Após o período de 24 horas, realizou-se a centrifugação dos extratos a 2500 rpm por 30 minutos, sendo recuperada a fração sobrenadante. Para cada 4 mL do sobrenadante, foi acrescentado 1,0 mL de clorofórmio e 1,5 mL de água, realizando novamente a centrifugação a fim de fracionar a amostra em fases. O sobrenadante contendo os metabólitos foi coletado e transferido para banho-maria a temperatura de 38 °C, permanecendo pelo período de 24 h com o objetivo de eliminar o resíduo de clorofórmio e promover a concentração das amostras para as quantificações dos teores de açúcares solúveis totais e aminoácidos.

A quantificação do teor de aminoácidos foi executada de acordo com Yemm e Cocking (1955). Para tanto, foram transferidos para tubos de ensaio 50 μL de cada amostra e de um branco composto por água destilada, na sequência foram acrescentados 0,5 mL de tampão citrato (0,2 M pH 5,0); 0,2 mL do reativo de ninhidrina (5% em metilcelusolve) e 1 mL de KCN (2% v/v em metilcelusolve). Os tubos foram agitados e tapados com esferas de vidro, sendo transferidos para o banho-maria a 100 °C por 20 minutos. Em seguida, os tubos foram transferidos para um ambiente escuro até atingirem temperatura ambiente, quando então foram acrescentados aos recipientes 1,3 mL de etanol (60%) sendo estes novamente agitados. A densidade óptica (D. O) dos padrões foi mensurada por meio de espectrofotômetro a 570 nm. O teor total de aminoácidos solúveis foi expresso em $\mu\text{mol g}^{-1}$ MF.

As dosagens dos teores de açúcares solúveis totais (AST) foram realizadas conforme Grahmam e Smydzuk (1965). Para tanto, alíquotas de 0,02 mL de cada amostra, devidamente diluídas, de um branco e padrões (15-200 μg de glicose/mL), foram transferidas para tubos de ensaio previamente resfriados em banho de gelo. Em seguida, adicionou-se em cada tubo 3 mL de solução de antrona resfriada (0,15% em H₂SO₄ 70%). Os frascos foram imediatamente tapados com esferas de vidro e, após 15 min de incubação, agitados e levados a banho-maria à temperatura de 90 °C por 20 min. Na sequência, os recipientes foram transferidos para um ambiente escuro

até atingirem a temperatura ambiente, quando então, foram agitados e procedeu-se as leituras das densidades ópticas a 620 nm. O teor de açúcares solúveis totais foi expresso em mg. g⁻¹ MF.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, se significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, submetidos a análise de médias pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro, utilizando o software Sisvar®.

2.3 Resultados e discussão

Estudo I

Contatou-se a ocorrência de interação significativa entre os fatores cultivares e potenciais osmóticos para todas as variáveis analisadas quando utilizadas tanto a temperatura de 20 °C quanto de 35 °C (Tabela 1).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância com os quadrados médios da primeira contagem de germinação (PCG), germinação (GER), massa seca de parte aérea (Wpa), massa seca de raiz (Wr) e massa seca total (Wt), nas temperaturas de 20 °C e 35 °C. Capão do Leão, 2022.

20 °C						
Quadrados Médio						
F.V.	G. L.	PCG	GER	Wpa	Wr	Wt
Cultivares (C)	10	2124.3600*	2041.9709*	14.0267*	14.7528*	44.1330*
Potenciais Osmóticos (P)	4	41142.3363*	19057.2909*	58.7143*	39.4828*	187.9502*
C X P	40	549.596364*	261.6709*	1.6347*	2.0640*	5.4377*
Resíduo	165	66.230303	80.4363	0.9893	0.8253	2.4906
CV (%)		15,77	13,14	13,87	13,52	11,36
35 °C						
Quadrados Médio						
F.V.	G. L.	PCG	GER	Wpa	Wr	Wt
Cultivares (C)	10	3093.6327*	5221.3927*	39.6237*	57.2169*	188.0551*

Potenciais Osmóticos (P)	4	11792.2000*	14688.1181*	42.1255*	28.7151*	135.1061*
C X P	40	876.8100*	797.1881*	4.4323*	6.3959*	19.7825*
Resíduo	165	86.3272	98.3636	0.581504	0.6934	1.9545
CV (%)		32,93	24,20	23,40	25,89	21,59

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. F.V. – fatores de variação; G.L. – graus de liberdade; PCG – primeira contagem de germinação em porcentagem; GER – germinação em porcentagem; Wpa – massa seca da parte aérea em miligramas por plântula; Wr – massa seca da raiz em miligramas por plântula; Wt - massa seca total em miligramas por plântula; CV – coeficiente de variação.

Quando utilizada a temperatura de 20 °C, observou-se diferença entre as cultivares e entre os potenciais osmóticos avaliados, de acordo com a variável analisada. Assim, avaliando a primeira contagem de germinação, foi possível constatar que as cultivares diferiram entre si, exceto no tratamento controle. Quando empregado o potencial de -0,15 Mpa as cultivares ABPR 31, Irina, Ana 01, ABI Rubi Imperatriz e Daniele apresentaram desempenho superior frente às demais, enquanto BRS Korbel e BRS Brau expressaram resultados inferiores. No potencial de -0,30 Mpa Ana 01 e ABI Rubi apresentam valores superiores, ao passo que BRS Cauê, BRS Korbel, Imperatriz e BRS Brau expressaram menores percentuais de plântulas normais, frente às demais cultivares. A -0,45 Mpa apenas Ana 01 apresentou resultado superior, enquanto BRS Korbel, Imperatriz e BRS Brau permaneceram expressando resultados inferiores. Já quando empregado -0,60 Mpa ABI Rubi apresentou resultados mais elevados, em contrapartida, ABPR 31, BRS Korbel, Irina, Imperatriz, Daniele e BRS Brau demonstraram desempenho inferior (Tabela 2).

Quanto aos potenciais osmóticos utilizados, foi possível constatar que as cultivares apresentaram resultados superiores no tratamento controle, enquanto o menor desempenho foi observado quando utilizado o potencial de -0,60 Mpa. De maneira geral, também foi possível observar uma queda sequencial do desempenho das cultivares de acordo com o potencial osmótico, assim, a medida que o potencial osmótico utilizado foi reduzido, o percentual de plântulas normais das diferentes cultivares na primeira contagem também foi reduzido (Tabela 2).

Tabela 2 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a primeira contagem de germinação, na temperatura de 20 °C. Capão do Leão, 2022.

Cultivares	PCG (%)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	91 Aa	85 Aa	54 Bb	29 Ce	7 Dc
BRS Cauê	84 Aa	70 Bb	35 Cd	20 De	14 Db
BRS Korbél	83 Aa	62 Bc	32 Cd	10 Df	8 Dc
BRS Quaranta	81 Aa	72 Ab	47 Bc	55 Bc	17 Cb
Irina	87 Aa	82 Aa	59 Bb	20 Ce	4 Dc
Ana 01	95 Aa	82 Ba	78 Ba	74 Ba	19 Cb
ABPR 01431	75 Aa	73 Ab	64 Bb	62 Bb	18 Cb
ABI Rubi	90 Aa	79 Ba	77 Ba	41 Cd	36 Ca
Imperatriz	87 Aa	88 Aa	36 Bd	6 Cf	2 Cc
Daniele	92 Aa	79 Ba	56 Cb	24 De	3 Ec
BRS Brau	88 Aa	53 Bc	27 Cd	12 Df	0 Ec

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

Ao analisar o percentual de germinação, constatou-se que as cultivares apresentaram diferenças entre si, variando de acordo com o potencial a qual foram submetidas. Nesse sentido, observou-se que no tratamento controle ABRPR 31, Ana 01, ABI Rubi, Imperatriz, Daniele e BRS Brau apresentaram desempenho superior. Já no potencial de -0,15 Mpa as cultivares BRS Cauê, BRS Korbél e BRS Quaranta destacaram-se por apresentarem os menores resultados frente às demais.

A -0,30 Mpa Ana 01 e ABI Rubi apresentam resultados superiores, enquanto BRS Cauê e BRS Korbél obtiveram menor desempenho. Similarmente, quando empregado -0,45 Mpa Ana 01 se destacou pelo maior percentual de plântulas normais, enquanto BRS Cauê e BRS Korbél expressaram resultados inferiores, frente às demais cultivares. Já a -0,60 Mpa, Ana 01 permaneceu expressando resultado superior, ao passo que ABPR 31, BRS Korbél, Irina e BRS Brau apresentaram menor desempenho (Tabela 3).

Quanto aos potenciais osmóticos utilizados, observou-se que os melhores desempenhos foram obtidos no tratamento controle e a -0,15 Mpa, os quais não diferiram entre si, exceto para a cultivar BRS Korbél, que apresentou resultados superiores no tratamento controle frente a -0,15 Mpa. Além disso, os percentuais de germinação significativamente menores foram obtidos quando utilizado o potencial de -0,60 Mpa, exceto para a cultivar ABI Rubi, que apresentou desempenho inferior nos potenciais de -0,45 e -0,60 Mpa, os quais não diferiram entre si (Tabela 3).

Tabela 3 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a germinação, na temperatura de 20 °C. Capão do Leão, 2022.

Cultivares	GER (%)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	92 Aa	86 Aa	69 Bb	54 Cc	21 Dd
BRS Cauê	83 Ab	71 Ab	46 Bc	46 Bd	32 Cc
BRS Korbél	83 Ab	62 Bb	53 Bc	39 Cd	22 Dd
BRS Quaranta	81 Ab	72 Ab	60 Bc	66 Bb	34 Cc
Irina	88 Ab	82 Aa	70 Bb	60 Bc	22 Cd
Ana 01	97 Aa	91 Aa	92 Aa	86 Aa	73 Ba
ABPR 01431	84 Ab	86 Aa	77 Bb	69 Bb	51 Cb
ABI Rubi	94 Aa	89 Aa	90 Aa	65 Bb	60 Bb
Imperatriz	95 Aa	92 Aa	72 Bb	61 Cc	32 Dc
Daniele	98 Aa	89 Aa	68 Bb	59 Bc	34 Cc
BRS Brau	97 Aa	89 Aa	73 Bb	54 Cc	26 Dd

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

O processo físico-químico de absorção de água pela semente é fundamental para a retomada da atividade metabólica. Nesse sentido, a água atua na dissolução de diversos compostos, desempenhando funções essenciais no processo de germinação, pois permite a reidratação dos tecidos, a intensificação da atividade respiratória e demais processos metabólicos que destinam-se à síntese de novos compostos, a hidrólise e a translocação de assimilados para o embrião (PESKE; VILLELA; MENEGHELLO, 2019).

Potenciais hídricos extremamente baixos podem inviabilizar eventos ligados ao processo de germinação, os quais influenciam diretamente a capacidade de absorção de água pela semente, uma vez que cada espécie apresenta um valor limite de potencial hídrico, abaixo do qual a germinação torna-se impossibilitada (LOPES; MACEDO, 2008; PESKE; VILLELA. MENEGHELLO, 2019).

A redução de plântulas normais na primeira contagem de germinação e no percentual final de plântulas germinadas são constatadas em condições de menor disponibilidade hídrica e expressam queda de vigor e viabilidade das sementes. Tais resultados são atribuídos a ocorrência de alterações na atividade e no padrão de expressão enzimática que se processada de forma inadequada refletem no comprometimento de eventos que promovem a protrusão radicular (PESKE; VILLELA; MENEGHELLO, 2019).

Nesse contexto, condições de restrição hídrica durante a germinação podem acarretar no aumento da produção de radicais livres, comprometimento do padrão de

expressão de isoenzimas e alterações negativas na seletividade de membranas (HENNING et al., 2010; MALONE et al., 2007), fatores que estão vinculados a expressão do vigor das sementes e refletem também na viabilidade das mesmas. De acordo com Pereira et al. (2014), a disponibilidade de água abaixo do limite tolerado pelas células pode acarretar na maior concentração de solutos, alteração do pH da solução intracelular, aceleração de reações degenerativas, desnaturação de proteínas, perda de integridade de membranas e com isso elevação no número de plântulas anormais.

Analisando a massa seca de parte aérea, observou-se que no tratamento controle as cultivares ABPR 31, BRS Korbél, Irina e BRS Brau apresentaram os menores resultados em relação às demais. A -0,15 Mpa, BRS Quaranta, Irina, Ana 01, APBR 01431, ABI Rubi e Daniele obtiveram resultados superiores em comparação às outras cultivares avaliadas. Já no potencial -0,30 Mpa apenas Ana 01, ABPR 01431, ABI Rubi e Daniele apresentaram os maiores resultados. Quando empregado -0,45 Mpa, BRS Quaranta, Ana 01 e Daniele apresentaram os maiores resultados quando comparadas às demais. Similarmente, no potencial de -0,60 Mpa destacaram-se, além das mesmas cultivares do potencial -0,45 Mpa, as cultivares ABI Rubi e Imperatriz, as quais apresentaram valores superiores de massa seca de parte aérea comparativamente às demais cultivares (Tabela 4).

Tabela 4 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a massa seca de parte aérea, na temperatura de 20 °C. Capão do Leão, 2022.

Cultivares	WPA (mg/plântula)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	8,30 Ab	5,68 Bb	7,11 Ab	5,74 Bb	5,07 Bb
BRS Cauê	8,88 Aa	6,22 Bb	6,29 Bb	6,13 Bb	5,65 Bb
BRS Korbél	7,47 Ab	5,23 Bb	6,17 Bb	5,73 Bb	4,92 Bb
BRS Quaranta	9,90 Aa	8,87 Aa	6,98 Bb	7,77 Ba	6,35 Ba
Irina	7,19 Ab	7,54 Aa	6,99 Ab	5,72 Bb	4,82 Bb
Ana 01	8,98 Aa	8,09 Aa	8,59 Aa	7,20 Ba	7,21 Ba
ABPR 01431	10,15 Aa	8,39 Ba	8,06 Ba	6,32 Cb	5,57 Cb
ABI Rubi	10,28 Aa	8,93 Ba	8,47 Ba	6,14 Cb	6,47 Ca
Imperatriz	9,49 Aa	6,79 Bb	6,83 Bb	5,68 Bb	6,17 Ba
Daniele	9,68 Aa	9,03 Aa	8,55 Aa	6,88 Ba	6,98 Ba
BRS Brau	7,36 Ab	6,77 Ab	6,54 Ab	6,40 Ab	5,59 Ab

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

Quanto aos potenciais osmóticos, algumas cultivares foram responsivas a partir de -0,15 Mpa, sendo -0,45 e -0,60 Mpa os potenciais que mais afetaram a massa seca de parte aérea das cultivares. Cabe destacar que apenas BRS Brau não apresentou diferença quanto aos potenciais osmóticos empregados (Tabela 4).

Em relação a massa seca de raiz, observou-se que no tratamento controle as cultivares Ana 01, ABI Rubi, Imperatriz e Daniele apresentaram resultados superiores, enquanto ABPR 31, BRS Cauê, BRS Korbelt e Irina obtiveram menor desempenho. No potencial de -0,15 Mpa ABPR 01431, ABI Rubi e Daniele apresentaram valores mais elevados, enquanto ABPR 31 e BRS Cauê expressaram os menores resultados. A -0,30 Mpa, BRS Korbelt, Irina, ABPR 01431, ABI Rubi, Imperatriz e Daniele foram superiores, enquanto BRS Cauê e BRS Quaranta obtiveram os menores resultados, quando comparadas às demais cultivares. Em contrapartida, quando empregados os potenciais osmóticos de -0,45 e -0,60 Mpa as cultivares não apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 5).

Quando comparados os potenciais osmóticos, pode-se observar que -0,45 e -0,60 Mpa foram os que mais influenciaram negativamente o aporte de massa seca de raiz. Entretanto, vale destacar que as cultivares BRS Cauê e BRS Korbelt não apresentaram diferenças entre os potenciais testados para a variável analisada (Tabela 5).

Tabela 5 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a massa seca de raiz, na temperatura de 20 °C. Capão do Leão, 2022.

Cultivares	WR (mg/ plântula)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	6,69 Ac	5,25 Bd	6,10 Ab	5,59 Ba	4,80 Ba
BRS Cauê	5,51 Ac	5,36 Ad	5,02 Ac	5,62 Aa	4,86 Aa
BRS Korbelt	6,54 Ac	6,43 Ac	6,99 Aa	6,79 Aa	5,44 Aa
BRS Quaranta	7,77 Ab	6,76 Ac	5,42 Bc	5,04 Ba	4,51 Ba
Irina	6,12 Bc	7,74 Ab	7,40 Aa	6,14 Ba	4,94 Ba
Ana 01	8,95 Aa	7,53 Bb	6,30 Cb	6,21 Ca	5,94 Ca
ABPR 01431	7,62 Bb	9,27 Aa	7,84 Ba	6,60 Ca	5,43 Ca
ABI Rubi	9,34 Aa	9,29 Aa	8,07 Aa	6,74 Ba	6,07 Ba
Imperatriz	9,30 Aa	8,01 Ab	8,76 Aa	6,29 Ba	5,75 Ba
Daniele	9,24 Aa	8,57 Aa	7,67 Aa	6,65 Ba	5,73 Ba
BRS Brau	7,93 Ab	6,74 Ac	6,72 Ab	6,63 Aa	5,44 Ba

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

A redução da massa seca de plântulas em razão do déficit hídrico se dá em razão da demanda dos processos fisiológicos e biológicos ou pela dificuldade de hidrólise e mobilização de reservas armazenadas nas sementes (BEWLEY et al., 2013). Ademais, cabe salientar que além da influência do ambiente, a massa seca de parte aérea e raiz depende de fatores fisiológicos inerentes à própria espécie e das características intrínsecas a cada cultivar (LOPES; LIMA, 2015).

Para a massa seca total, constatou-se que no tratamento controle as cultivares BRS Quaranta, Ana 01, ABPR 01431, ABI Rubi, Imperatriz e Daniele apresentaram valores superiores frente às demais. No potencial de -0,15 Mpa, ABPR 01431, ABI Rubi e Daniele apresentaram os maiores resultados, enquanto ABPR 31, BRS Cauê, BRS Korbel e BRS Brau apresentaram os menores resultados. A -0,30 Mpa, Irina, Ana 01, ABPR 01431, ABI Rubi, Imperatriz e Daniele foram superiores comparadas às demais cultivares testadas. No potencial de -0,45 Mpa todas as cultivares não diferiram entre si. Já quando empregado -0,60 Mpa Ana 01, ABI Rubi, Imperatriz e Daniele foram superiores frente às demais cultivares (Tabela 6).

Quando comparados os potenciais osmóticos, observou-se que -0,45 e -0,60 Mpa foram os que mais contribuíram para o menor aporte de massa seca total das cultivares, entretanto houve algumas diferenças entre a comparação dos potenciais osmóticos para cada cultivar. Nesse caso, ABPR 31 apresentou resultados superiores quando empregados o tratamento controle e em -0,30 Mpa, ao passo que valores inferiores foram constatados nos potenciais de -0,15, -0,45 e -0,60 Mpa, os quais não apresentaram diferença entre si. Já BRS Cauê e Ana 01, apresentaram desempenho superior no tratamento controle, o qual diferiu dos demais. BRS Korbel por sua vez, expressou resultados mais elevados quando submetida a 0, -0,30 e -0,45 Mpa, enquanto nos potenciais de -0,15 e -0,60 Mpa a cultivar demonstrou menor desempenho. Já BRS Quaranta expressou maior massa seca total nos potenciais de 0 e -0,15 Mpa, quando comparados aos demais (Tabela 6).

As cultivares Irina, ABPR 01431 e Daniele, expressaram resultados superiores no tratamento controle, a -0,15 e -0,30 Mpa, sendo os potenciais de -0,45 e -0,60 Mpa os mais prejudiciais ao desempenho das cultivares. Similarmente, ABI Rubi expressou resultado superior quando submetida a 0 e -0,15 Mpa, enquanto os potenciais de -0,45 e -0,60 foram os quais a cultivar expressou menor desempenho. Já a cultivar

Imperatriz apresentou resultado significativamente superior apenas no tratamento controle, enquanto o menor aporte de massa seca total ocorreu nos potenciais de -0,45 e -0,60 Mpa. Já a cultivar BRS Brau apresentou menor desempenho apenas a -0,60 Mpa, o qual diferiu dos demais potenciais empregados (Tabela 6).

Tabela 6 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a massa seca total, na temperatura de 20 °C. Capão do Leão, 2022.

Cultivares	WT (mg/plântula)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	14,99 Ab	10,94 Bc	13,22 Ab	11,34 Ba	9,87 Bb
BRS Cauê	14,39 Ab	11,58 Bc	11,31 Bb	11,75 Ba	10,51 Bb
BRS Korbelt	14,01 Ab	11,66 Bc	13,16 Ab	12,52 Aa	10,36 Bb
BRS Quaranta	17,67 Aa	15,63 Ab	12,40 Bb	12,81 Ba	10,87 Bb
Irina	13,31 Ab	15,28 Ab	14,39 Aa	11,87 Ba	9,76 Bb
Ana 01	17,93 Aa	15,62 Bb	14,90 Ba	13,41 Ba	13,16 Ba
ABPR 01431	17,78 Aa	17,66 Aa	15,91 Aa	12,92 Ba	11,00 Bb
ABI Rubi	19,62 Aa	18,23 Aa	16,54 Ba	12,88 Ca	12,55 Ca
Imperatriz	18,79 Aa	14,80 Bb	15,59 Ba	11,97 Ca	11,92 Ca
Daniele	18,92 Aa	17,60 Aa	16,22 Aa	13,54 Ba	12,71 Ba
BRS Brau	15,29 Ab	13,52 Ac	13,26 Ab	13,03 Aa	11,03 Bb

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

Na temperatura de 35 °C observou-se diferença entre as cultivares e entre os potenciais osmóticos avaliados, de acordo com a variável analisada. Nesse sentido, ao analisar a primeira contagem de germinação foi possível constatar que no tratamento controle a cultivar BRS Brau apresentou desempenho superior, enquanto BRS Korbelt demonstrou resultado inferior, comparadas às demais cultivares. A -0,15 Mpa, BRS Cauê, ABI Rubi e Imperatriz apresentaram resultados superiores, ao passo que BRS Korbelt manteve-se com menor desempenho frente às outras cultivares testadas (Tabela 7).

Similarmente, a -0,30 Mpa ABI Rubi, Imperatriz e Daniele expressaram maior percentual de plântulas normais na primeira contagem, enquanto BRS Korbelt manteve-se com resultado inferior. Quando empregado -0,45 Mpa, BRS Cauê e Daniele apresentaram valores superiores, enquanto as cultivares ABPR 31, BRS Korbelt, Irina, Ana 01, ABPR 01431, ABI Rubi e BRS Brau destacaram-se com os menores resultados comparativamente às demais. Já a -0,60 Mpa, BRS Cauê demonstrou maior desempenho, diferindo das demais cultivares (Tabela 7).

Tabela 7 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a primeira contagem de germinação, na temperatura de 35 °C. Capão do Leão, 2022.

Cultivares	PCG (%)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	43 Ab	52 Ab	26 Bc	11 Cc	11 Cb
BRS Cauê	51 Ab	63 Aa	44 Bb	44 Ba	32 Ba
BRS Korbelt	4 Ad	0 Ad	0 Ad	0 Ac	0 Ab
BRS Quaranta	51 Ab	51 Ab	34 Bb	30 Bb	0 Cb
Irina	35 Ab	40 Ab	35 Ab	12 Bc	0 Bb
Ana 01	51 Ab	31 Bc	12 Cc	4 Cc	2 Cb
ABPR 01431	27 Ac	20 Ac	20 Ac	7 Bc	12 Bb
ABI Rubi	50 Ab	62 Aa	53 Aa	4 Bc	0 Bb
Imperatriz	49 Bb	66 Aa	56 Ba	32 Cb	0 Db
Daniele	45 Ab	22 Bc	52 Aa	45 Aa	3 Cb
BRS Brau	94 Aa	27 Bc	17 Bc	6 Cc	0 Cb

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

Quanto aos potenciais osmóticos constatou-se que, de maneira geral, as cultivares apresentaram menor percentual de plântulas normais na primeira contagem quando submetidas a -0,45 e -0,60 Mpa, exceto BRS Korbelt, que não apresentou diferença significativa entre os potenciais osmóticos empregados (Tabela 7).

Quanto a germinação, no potencial controle as cultivares Imperatriz e BRS Brau apresentaram superioridade, enquanto BRS Korbelt apresentou o menor resultado. No potencial de -0,15 Mpa, ABPR 31, ABI Rubi e Imperatriz apresentaram valores superiores, enquanto BRS Korbelt apresentou novamente o menor resultado. A -0,30 Mpa as cultivares BRS Cauê, ABI Rubi e Imperatriz apresentaram valores superiores, enquanto BRS Korbelt permaneceu demonstrando resultado inferior. Quando empregado -0,45 Mpa as cultivares BRS Cauê, BRS Quaranta, Imperatriz e Daniele apresentaram os maiores resultados, em contrapartida, as cultivares BRS Korbelt, Ana 01 e ABPR 01431 apresentaram os menores valores comparadas às demais. No potencial de -0,60 Mpa, BRS Cauê apresentou superioridade frente às demais, enquanto BRS Korbelt, BRS Quaranta, Irina, Ana 01, ABPR 01431, ABI Rubi, Imperatriz e BRS Brau demonstraram menor desempenho (Tabela 8).

Tabela 8 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a germinação, na temperatura de 35 °C. Capão do Leão, 2022.

Cultivares	GER (%)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	46 Cc	70 Aa	55 Bb	33 Db	29 Db
BRS Cauê	60 Ab	64 Ab	69 Aa	54 Ba	49 Ba
BRS Korbél	10 Ad	11 Ad	0 Ad	0 Ad	0 Ac
BRS Quaranta	56 Ab	51 Ab	42 Ac	44 Aa	0 Bc
Irina	44 Bc	59 Ab	63 Ab	34 Bb	0 Cc
Ana 01	60 Ab	50 Ab	32 Bc	7 Cd	6 Cc
ABPR 01431	44 Ac	30 Bc	29 Bc	10 Cd	15 Cc
ABI Rubi	63 Ab	77 Aa	71 Aa	31 Bb	10 Cc
Imperatriz	82 Aa	78 Aa	81 Aa	49 Ba	9 Cc
Daniele	64 Ab	37 Bc	59 Ab	59 Aa	28 Bb
BRS Brau	95 Aa	57 Bb	43 Cc	22 Dc	0 Ec

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

Quanto aos potenciais osmóticos testados, observou-se que as cultivares demonstraram maior sensibilidade quando submetidas a -0,45 e -0,60 Mpa, sendo -0,60 Mpa o potencial que mais influenciou negativamente na germinação das sementes. Entretanto houve exceções, para a cultivar BRS Korbél, a qual não apresentou diferença entre os potenciais testados, para BRS Quaranta, a qual apresentou resultado inferior apenas quando submetida a -0,60 Mpa e para cultivar Daniele, que apresentou resultados inferiores quando impostos os potenciais de -0,15 e -0,60 Mpa, os quais diferiram dos demais potenciais empregados (Tabela 8).

Temperaturas acima do ótimo considerado para a cultura podem comprometer o processo de retomada de crescimento do embrião, resultando em efeitos drásticos no desenvolvimento inicial das plântulas, quando associada ao déficit hídrico (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013). A alta temperatura influencia na absorção de água, na velocidade das reações bioquímicas e nos processos fisiológicos das sementes, comprometendo o processo germinativo (MEDEIROS et al., 2015). Nesse contexto, a germinação das sementes envolve atividades metabólicas que desencadeiam uma série de reações químicas com exigência de temperatura, que determinam sua correta ocorrência. A máxima germinação ocorre quando as condições de temperatura são ótimas para a espécie, a qual é estabelecida a 20 °C, de acordo com as Regras para Análise de Sementes (2009). Portanto, a

temperatura desempenha uma função essencial no decorrer da germinação, atuando no controle de velocidade, intensidade, regulação de taxa de embebição, liberação de eletrólitos e mobilização de reservas, o que afeta diretamente o vigor e crescimento das plântulas (MARCOS FILHO, 2015).

Em relação a massa seca de parte aérea, pode-se observar que no tratamento controle as cultivares Imperatriz, Daniele e BRS Brau foram superiores às demais, enquanto ABPR 31, BRS Cauê, BRS Korbel, BRS Quaranta e Irina apresentaram resultados significativamente inferiores. Já quando testado -0,15 Mpa, ABI Rubi e BRS Brau apresentaram superioridade, ao passo que BRS Korbel e Irina expressaram menor desempenho frente às demais cultivares. A -0,30 Mpa ABI Rubi, Imperatriz e Daniele apresentaram valores mais elevados quando comparadas às demais cultivares. Quando utilizado -0,45 Mpa, Imperatriz e Daniele apresentaram valores superiores frente às demais cultivares. Já quando testado -0,60 Mpa, ABPR 31, BRS Cauê, ABPR 01431 e Daniele demonstraram valores superiores. Em contrapartida, nos potenciais -0,30, -0,45 e -0,60 Mpa, a cultivar BRS Korbel apresentou maior sensibilidade ao estresse, obtendo resultados inferiores comparativamente às demais (Tabela 9).

Tabela 9 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a massa seca de parte aérea, na temperatura de 35 °C. Capão do Leão, 2022.

Cultivares	WPA (mg/ plântula)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	2,66 Ac	3,10 Ac	2,89 Ac	2,66 Ac	2,99 Aa
BRS Cauê	2,90 Ac	3,15 Ac	3,34 Ac	3,09 Ac	2,75 Aa
BRS Korbel	1,82 Ac	1,95 Ad	0,00 Bd	0,00 Be	0,00 Bc
BRS Quaranta	2,45 Ac	2,94 Ac	2,51 Ac	2,82 Ac	0,00 Bc
Irina	2,29 Ac	2,25 Ad	2,52 Ac	2,03 Ac	0,00 Bc
Ana 01	3,54 Ab	3,54 Ac	2,81 Ac	1,29 Bd	1,28 Bb
ABPR 01431	3,79 Ab	4,42 Ab	3,59 Ac	4,03 Ab	2,99 Aa
ABI Rubi	4,06 Bb	6,49 Aa	6,67 Aa	3,77 Bb	1,80 Cb
Imperatriz	6,60 Aa	4,82 Bb	6,48 Aa	5,51 Ba	1,50 Cb
Daniele	5,79 Aa	3,81 Bc	5,94 Aa	5,93 Aa	4,01 Ba
BRS Brau	6,64 Aa	5,81 Aa	4,83 Bb	4,32 Bb	0,00 Cc

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

Quando analisados os potenciais osmóticos, observou-se que, de maneira geral, os potenciais de -0,45 e -0,60 Mpa foram os que mais influenciaram negativamente o aporte de massa seca de parte aérea, exceto para as cultivares ABPR 031, BRS Cauê e ABPR 01431 que não apresentaram diferença significativa entre os potenciais osmóticos avaliados (Tabela 9).

Quanto à massa seca de raiz, observou-se que no tratamento controle a cultivar Daniele apresentou resultados superiores frente às demais. Já no potencial de -0,15 Mpa, ABI Rubi demonstrou superioridade frente às outras cultivares testadas. Além de ABI Rubi, a -0,30 Mpa as cultivares Imperatriz e Daniele apresentaram valores superiores, destacando-se também a -0,45 Mpa. Já a -0,60 Mpa, a cultivar Daniele apresentou desempenho superior comparada às demais cultivares. Em contrapartida, BRS Korbelt demonstrou sensibilidade, apresentando os menores resultados nos potenciais testados. Além desta cultivar, no potencial controle ABPR 31, BRS Cauê, BRS Quaranta, Irina, Ana 01 ABPR 01431 e ABI Rubi expressaram menor desempenho, não diferindo entre si, enquanto no potencial de -0,60 Mpa, além de BRS Korbelt, BRS Quaranta, Irina e BRS Brau também expressaram resultados significativamente inferiores, não diferindo entre si (Tabela 10).

Tabela 10 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a massa seca de raiz, na temperatura de 35 °C. Capão do Leão, 2022.

Cultivares	WR (mg/plântula)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	2,52 Ac	2,84 Ac	1,80 Ac	1,75 Ad	2,68 Ac
BRS Cauê	2,31 Ac	2,62 Ac	2,61 Ac	2,72 Ac	1,59 Ac
BRS Korbelt	1,50 Ac	1,44 Ad	0,00 Bd	0,00 Be	0,00 Bd
BRS Quaranta	2,25 Ac	3,23 Ac	2,03 Ac	2,48 Ac	0,00 Bd
Irina	2,47 Ac	3,09 Ac	2,85 Ac	2,89 Ac	0,00 Bd
Ana 01	2,73 Ac	3,08 Ac	2,44 Ac	1,43 Bd	1,19 Bc
ABPR 01431	2,99 Ac	3,35 Ac	3,06 Ac	3,38 Ac	3,48 Ab
ABI Rubi	3,11 Bc	6,80 Aa	7,08 Aa	3,78 Bc	2,03 Cc
Imperatriz	4,42 Cb	5,51 Bb	7,47 Aa	7,28 Aa	2,48 Dc
Daniele	6,10 Ba	3,25 Cc	7,29 Aa	7,88 Aa	6,57 Ba
BRS Brau	5,20 Ab	5,03 Ab	5,23 Ab	5,52 Ab	0,00 Bd

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

Quanto aos potenciais osmóticos observou-se que -0,45 e -0,60 foram os que mais influenciaram negativamente a massa seca de radícula das cultivares, sendo -0,60 Mpa o potencial que mais afetou o desempenho das sementes, exceto para as cultivares ABPR 31, BRS Cauê, e ABPR 01431 (Tabela 10).

A massa seca é uma das variáveis capazes de expressar o crescimento das plântulas. A parte aérea e a radícula aumentam em massa seca devido a importação das reservas estocadas na semente. O crescimento do eixo embrionário das sementes provém da divisão e alongamento celular, sendo esta uma fase em que as paredes celulares são preparadas para síntese de novos compostos, com posterior acréscimo em matéria verde e seca acompanhados pela mobilização das reservas das sementes, as quais são diretamente influenciadas pela temperatura e disponibilidade hídrica (MARCOS FILHO, 2015; SILVA et al., 2016). Tais considerações vão ao encontro dos resultados obtidos, em que evidenciou-se o efeito negativo da alta temperatura e restrição hídrica no acúmulo de massa seca das plântulas.

Analisando a massa seca total, observou-se que no tratamento controle as cultivares Imperatriz, Daniele e BRS Brau apresentaram superioridade. Já no potencial de -0,15 Mpa, ABI Rubi apresentou valor superior comparada às outras cultivares testadas. Quando empregado -0,30 Mpa, ABI Rubi, Imperatriz e Daniele apresentaram resultados significativamente superiores comparado às demais cultivares. Similarmente, quando utilizado -0,45 Mpa Imperatriz e Daniele apresentaram superioridade. Já a -0,60 Mpa, apenas Daniele demonstrou valores superiores frente às demais cultivares testadas (Tabela 11).

Em contrapartida, a cultivar BRS Korbel apresentou os menores resultados em todos os potenciais osmóticos empregados. Contudo, no potencial controle, junto de BRS Korbel, as cultivares ABPR 31, BRS Cauê, BRS Quaranta e Irina apresentaram resultados significativamente inferiores, não diferindo entre si. Além disso, no potencial de -0,60 Mpa junto com BRS Korbel, as cultivares BRS Quaranta, Irina, e BRS Brau também expressaram menor aporte de massa seca total, não diferindo entre si (Tabela 11).

Tabela 11 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para a massa seca total, na temperatura de 35 °C. Capão do Leão, 2022.

Cultivares	WT (mg/plântula)				
	Potenciais Osmóticos Mpa				
	0	-0,15	-0,30	-0,45	-0,60
ABPR 31	5,18 Ac	5,94 Ac	4,70 Ac	4,42 Ad	5,67 Ab
BRS Cauê	5,21 Ac	5,77 Ac	5,95 Ac	5,81 Ad	4,34 Ac
BRS Korbél	3,32 Ac	3,40 Ad	0,00 Bd	0,00 Bf	0,00 Be
BRS Quaranta	4,69 Ac	6,17 Ac	4,54 Ac	5,30 Ad	0,00 Be
Irina	4,76 Ac	5,34 Ac	5,37 Ac	4,92 Ad	0,00 Be
Ana 01	6,27 Ab	6,62 Ac	5,25 Ac	2,72 Be	2,46 Bd
ABPR 01431	6,79 Ab	7,77 Ac	6,65 Ac	7,41 Ac	6,47 Ab
ABI Rubi	7,17 Bb	13,29 Aa	13,75 Aa	7,56 Bc	3,83 Cc
Imperatriz	11,02 Ba	10,33 Bb	13,96 Aa	12,79 Aa	3,98 Cc
Daniele	11,89 Ba	7,06 Cc	13,23 Aa	13,81 Aa	10,58 Ba
BRS Brau	11,85 Aa	10,84 Ab	10,06 Ab	9,84 Ab	0,00 Be

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

Em relação aos potenciais osmóticos, as cultivares ABPR 31, BRS Cauê e ABPR 01431 que não apresentaram diferenças entre os potenciais empregados. Além dessas, BRS Korbél destacou-se por apresentar resultados significativamente inferiores nos potenciais -0,30, -0,45 e -0,60 Mpa, não suportando biologicamente a combinação de restrição hídrica e alta temperatura. Já a cultivar Daniele, apresentou menor desempenho quando submetida a -0,15 Mpa, e resultados superiores a -0,30 e -0,45 Mpa (Tabela 11).

As condições de ambiente são primordiais para o desenvolvimento vegetal. Nesse caso, a alta temperatura e baixa disponibilidade hídrica comprometeram o desempenho inicial das plântulas de cevada, as quais expressaram menores resultados nas condições mais extremas. Entretanto, as características relacionadas a cada cultivar também se pronunciaram nas respostas avaliadas, em que cada cultivar demonstrou especificidades frente às condições a que foram submetidas. Essa diferença entre cultivares quando impostas a condições adversas pode auxiliar na distinção de materiais mais tolerantes ou suscetíveis a determinado estresse.

Estudo II

A partir da análise dos dados, foi constatada interação significativa entre os fatores cultivares e potenciais osmóticos para as variáveis ascorbato peroxidase, açúcares solúveis totais e aminoácidos, quando empregada a temperatura de 20 °C. Já a 35 °C., houve interação significativa entre os fatores para as variáveis superóxido dismutase, catalase, ascorbato peroxidase e aminoácidos.

Entretanto, para as variáveis superóxido dismutase, catalase, peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica a 20 °C não foi verificada interação entre os fatores cultivares e potenciais osmóticos. Enquanto a 35 °C, não foi observada interação entre os fatores para as variáveis peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica e açúcares solúveis totais (Tabela 12).

De acordo com as variáveis analisadas, foi possível constatar que houve diferença entre as cultivares e entre os potenciais osmóticos empregados quando utilizada a temperatura de 20 °C. Nesse sentido, observando os resultados da enzima antioxidante superóxido dismutase (SOD), constatou-se que as cultivares diferiram entre si, nesse caso, Imperatriz apresentou valores significativamente mais elevados que ABI Rubi e BRS Korbel. Os tratamentos também apresentaram diferença, sendo os valores de SOD mais elevados quando empregado o potencial de -0,60 Mpa. (Tabela 13).

Quando analisado os resultados para a enzima catalase (CAT), pode-se observar que as cultivares diferiram entre si, em que ABI Rubi e Imperatriz apresentaram resultados significativamente maiores comparados aos obtidos por BRS Korbel. Os potenciais osmóticos utilizados também apresentaram diferença, sendo os maiores valores obtidos quando empregados -0,45 e -0,60 Mpa (Tabela 13).

Tabela 12 - Resumo da análise de variância com os quadrados médios da catalase (CAT), superóxido dismutase (SOD), ascorbato peroxidase (APX), peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica, açúcares solúveis totais (AST) e aminoácidos (AM) nas temperaturas de 20 °C e 35 °C. Capão do Leão, 2022.

20 °C								
Quadrados Médio								
F.V.	G.L	SOD	CAT	APX	Peróxido	Peroxidação	AST	AM
Cultivares (C)	2	0.135917*	0.000157*	0.02350*	15647.4890 ^{ns}	163.1233 ^{ns}	0.8280*	187.1647*
Potenciais Osmóticos (P)	4	0.441178*	0.000378*	0.16343*	26859.3137*	3425.2615*	9.6215*	324.5249*
C X P	8	0.01382 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	0.00511*	3662.1419 ^{ns}	676.7090 ^{ns}	0.3527*	21.3745*
Resíduo	45	0.013430	0.000034	0.00209	9759.9431	487.0747	0.1357	8.1861
CV (%)		14,36	22,52	11,58	5,11	21,27	12,26	17,40
35 °C								
Quadrados Médio								
F.V.	G.L	SOD	CAT	APX	Peróxido	Peroxidação	AST	AM
Cultivares (C)	2	0.161675*	0.000205*	0.07662*	126508.6753 ^{ns}	534.5677 ^{ns}	5.1269 ^{ns}	1761.6191*
Potenciais Osmóticos (P)	3	0.773829*	0.000843*	0.24000*	418664.4628*	5942.3692*	55.5086*	2420.3874*
C X P	6	0.042218*	0.000074*	0.03118*	79267.8277 ^{ns}	219.6344 ^{ns}	2.3042 ^{ns}	185.0590*
Resíduo	36	0.011581	0.000013	0.004356	77076.7624	521.6186	2.0541	57.3164
CV (%)		14,27	13,06	18,58	12,39	36,69	31,46	13,78

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. F.V. – fatores de variação; G.L. – graus de liberdade; SOD – superóxido dismutase; CAT – catalase; APX – ascorbato peroxidase; Peróxido – peróxido de hidrogênio; Peroxidação – peroxidação lipídica; AST – açúcares solúveis totais; AM – aminoácidos; CV – coeficiente de variação.

Tabela 13 - Superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), de cultivares de cevada sob diferentes potenciais osmóticos, na temperatura de 20 °C. Capão do Leão, 2022.

	SOD (min/mg proteína)	CAT ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ proteína)
Cultivares		
BRS Korbel	0,7368 B	0,0227 B
ABI Rubi	0,7859 B	0,0279 A
Imperatriz	0,8976 A	0,0272 A
Potenciais Osmóticos (Mpa)		
0	0,5983 d	0,0208 b
-0,15	0,6632 d	0,0220 b
-0,30	0,8039 c	0,0232 b
-0,45	0,8842 b	0,0299 a
-0,60	1,0843 a	0,0337 a

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas entre cultivares e letras minúsculas não diferem nas colunas entre potenciais osmóticos pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro.

Para a ascorbato peroxidase (APX), verificou-se que as cultivares diferiram entre si quando submetidas a -0,45 e -0,60 Mpa. No potencial de -0,45 Mpa, a cultivar Imperatriz apresentou resultado superior frente a BRS Korbel e ABI Rubi. Já quando utilizado -0,60 Mpa, além de Imperatriz, a cultivar ABI Rubi também demonstrou superioridade diferindo de BRS Korbel (Tabela 14).

Com relação aos potenciais osmóticos, observou-se que BRS Korbel obteve maiores resultados quando submetida a -0,45 e -0,60 Mpa, os quais não diferiram entre si. Similarmente, ABI Rubi e Imperatriz expressaram maiores resultados quando submetidas a -0,60 Mpa, o qual diferiu dos demais (Tabela 14).

Tabela 14 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para ascorbato peroxidase (APX), na temperatura de 20 °C. Capão do Leão, 2022.

Potenciais Osmóticos (Mpa)	APX ($\mu\text{mol Ascorb/mg/proteína/min}$)		
	Cultivares		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	0,2972 Ab	0,2544 Ac	0,3162 Ac
-0,15	0,3058 Ab	0,2848 Ac	0,3310 Ac
-0,30	0,3363 Ab	0,3217 Ac	0,3820 Ac
-0,45	0,4155 Ba	0,4623 Bb	0,5254 Ab
-0,60	0,4773 Ba	0,5999 Aa	0,6093 Aa

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

A restrição hídrica pode acarretar em estresse oxidativo e aumentar a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), como o radical hidroxila, oxigênio singleto, radical superóxido e radical e peróxido de hidrogênio (JALEEL et al., 2007; MOURADI et al., 2016; NGUYEN et al., 2019). A fim de eliminar esses radicais livres e proteger a planta de danos oxidativos, são desencadeados sistemas de defesa, os quais incluem a ação de enzimas antioxidantes (KAPOOR et al., 2015). Dentre as principais enzimas destacam-se a superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, capazes de neutralizar o excesso de EROs no nível celular (BAILLY, 2004; DEL RÍO et al., 2018; GROß et al., 2013; KIBINZA et al., 2011) desde que as condições de estresse não sejam demasiadamente drásticas para a espécie.

De modo geral, foi constatado maior incremento na atividade das enzimas antioxidantes avaliadas quando as sementes foram submetidas aos potenciais hídricos mais baixos, simulando restrições hídricas mais drásticas. Nesse sentido, a maior atividade enzimática pode estar relacionada à tentativa de eliminação de moléculas nocivas às plântulas, em resposta às condições de estresse mais severas a que as cultivares de cevada foram submetidas e a genótipos mais tolerantes ao estresse.

De acordo com Nasirzadeh et al. (2021), genótipos mais tolerantes possuem um sistema de defesa antioxidante bastante eficiente em nível celular, a fim de protegê-los contra o estresse oxidativo. Nesse contexto, maiores níveis de atividade das enzimas SOD, CAT e APX foram observados em cevada em condições de restrição hídrica e atribuídos a maior tolerância às condições adversas (MAROK et al., 2013).

Avaliando o peróxido de hidrogênio, observou-se que as cultivares não diferiram entre si. No entanto, em relação aos tratamentos observou-se que nos potenciais 0, -0,15 e -0,60 Mpa os resultados foram mais elevados quando comparados aos demais potenciais. Similarmente, as cultivares não diferiram entre si também para a peroxidação lipídica. Já os tratamentos apresentaram diferença, sendo os maiores resultados obtidos nos potenciais -0,15, -0,30, -0,45 e -0,60 os quais não diferiram entre si e distinguiram do tratamento controle (Tabela 15).

Tabela 15 – Peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica de cultivares de cevada sob diferentes potenciais osmóticos, na temperatura de 20 °C. Capão do Leão, 2022.

	Peróxido (uM.g ⁻¹ MF)	Peroxidação (MDA/g ⁻¹ MF)
Cultivares		
BRS Korbel	1962,9384 A	101,6715 A
ABI Rubi	1921,9890 A	102,6082 A
Imperatriz	1909,4564 A	107,0195 A
Potenciais Osmóticos (Mpa)		
0	1965,1350 a	76,2083 b
-0,15	1917,8386 a	107,1597 a
-0,30	1905,6530 b	102,7374 a
-0,45	1875,3866 b	111,2462 a
-0,60	1993,2931 a	121,4804 a

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas entre cultivares e letras minúsculas não diferem nas colunas entre potenciais osmóticos pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro.

O peróxido de hidrogênio é um composto estável capaz de ocasionar a inativação de enzimas, porém, considerado pouco reativo quando comparado a outras espécies reativas de oxigênio (GILL; TUTEJA, 2010; GRATÃO et al., 2005). Em baixas concentrações o H₂O₂ possui função de sinalizador, atuando na aclimação e tolerância a determinadas situações de estresse. No entanto, quando em altas concentrações o acúmulo de H₂O₂ pode levar a morte celular programada (GILL; TUTEJA, 2010).

Quando um elevado conteúdo de peróxido de hidrogênio é produzido sob condições de estresse por restrição hídrica, é preciso que ocorra uma resposta rápida do sistema antioxidante para que o H₂O₂ atue como um mensageiro secundário (CARVALHO, 2008; SILVA et al., 2015). Nesse sentido, maiores concentrações de H₂O₂, rotineiramente, têm sido associadas à intensidade do déficit hídrico, como em trigo, por exemplo, em que o agravamento do estresse promoveu maior acúmulo de H₂O₂, de forma ainda mais pronunciada em cultivares consideradas mais suscetíveis às condições adversas, evidenciando o potencial do peróxido de hidrogênio na capacidade de ocasionar danos ao metabolismo celular (CHAKRABORTY; PRADHAN, 2012; MAIA JUNIOR, 2017).

A oxidação lipídica é capaz de produzir produtos secundários que corroboram para o maior dano oxidativo, entre eles está o malondialdeído (MDA), considerado o

principal produto da peroxidação lipídica e que tem sido empregado como marcador molecular para confirmar a peroxidação lipídica em células de plantas submetidas a condições estressoras (CARVALHO, 2008; GILL; TUTEJA, 2010; SHARMA et al., 2012).

Os produtos da peroxidação lipídica são fortemente reativos, capazes de se ligar a biomoléculas como DNA e proteínas, danificando-as de maneira irreversível, promovendo assim prejuízos à funcionalidade das células (SHARMA et al., 2012). Nesse sentido, a redução da fluidez das membranas está dentre os principais danos promovidos pela peroxidação lipídica (GILL; TUTEJA, 2010). Nesse contexto, a peroxidação de lipídeos tem sido largamente utilizada a fim de indicar a ocorrência de danos às membranas celulares em plantas submetidas à restrição hídrica, (GRATÃO et al., 2005).

Em relação aos aminoácidos, foi possível constatar que as cultivares diferiram entre si quando submetidas aos potenciais osmóticos 0 e -0,60, sendo ABI Rubi a cultivar que apresentou resultados mais elevados, enquanto BRS Korbel destacou-se por apresentar menor resultado frente às demais.

Quanto aos potenciais osmóticos, observou-se que as cultivares BRS Korbel expressou valores superiores quando empregados os potenciais -0,30, -0,45 e -0,60 Mpa. Já ABI Rubi e Imperatriz obtiveram valores mais elevados quando submetidas a -0,60 Mpa, comparado aos demais potenciais empregados. O contrário ocorreu quando impostos o tratamento controle e -0,15 Mpa, os quais não diferiram entre si e promoveram resultados inferiores em ambas cultivares (Tabela 16).

Analisando os açúcares solúveis totais, observou-se que as cultivares apresentaram diferença entre si quando submetidas aos potenciais -0,45 e -0,60 Mpa. Quando empregado -0,45 Mpa, BRS Korbel e Imperatriz apresentaram valores superiores comparados aos da ABI Rubi. Já quando submetidas a -0,60 Mpa, apenas BRS Korbel apresentou resultados significativamente mais elevados, diferindo das demais cultivares (Tabela 16).

Quanto aos potenciais osmóticos, foi possível observar que a cultivar BRS Korbel apresentou maior resultado quando submetida a -0,60 Mpa, diferindo significativamente dos demais tratamentos. Além disso, quando submetida a 0 e -0,15 Mpa, a cultivar apresentou os menores resultados para a variável analisada. A cultivar

ABI Rubi expressou maiores valores a -0,60 Mpa, sendo o tratamento controle o que obteve menores resultados para a variável analisada. Já a cultivar Imperatriz apresentou resultados mais elevados quando impostos os potenciais de -0,30, -0,45 e -0,60 Mpa, os quais diferiram dos demais (Tabela 16).

Tabela 16 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para aminoácidos e açúcares solúveis totais, na temperatura de 20 °C. Capão do Leão, 2022.

Aminoácidos ($\mu\text{mol/g}^{-1}$ MF)			
Potenciais Osmóticos (Mpa)	Cultivares		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	4,6959 Cc	17,0270 Ac	9,4359 Bc
-0,15	12,0917 Ab	13,6954 Ac	10,8870 Ac
-0,30	16,2846 Aa	20,4366 Ab	19,6537 Ab
-0,45	15,9557 Aa	19,5147 Ab	17,0141 Ab
-0,60	18,8740 Ca	27,6552 Aa	23,38630 Ba

Açúcares Solúveis Totais (mg/g^{-1} MF)			
Potenciais Osmóticos (Mpa)	Cultivar		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	1,8276 Ac	1,7863 Ad	2,2101 Ab
-0,15	2,0548 Ac	2,3640 Ac	2,1501 Ab
-0,30	3,5989 Ab	3,0216 Ab	3,4674 Aa
-0,45	3,9515 Ab	3,0667 Bb	3,5396 Aa
-0,60	4,5147 Aa	3,6960 Ba	3,8320 Ba

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

Outro mecanismo de tolerância dos vegetais ao estresse por restrição hídrica é o acúmulo de osmólitos, o qual permite que as células gerenciem de maneira mais eficiente a desidratação e a integridade estrutural das membranas (LOUTFY et al., 2012). Nesse sentido, o ajuste osmótico em plantas submetidas ao estresse hídrico relaciona-se ao armazenamento de solutos orgânicos de baixo peso molecular como aminoácidos e açúcares, que auxiliam em processos de absorção e retenção de água (HUSSAIN et al., 2018; LOUTFY et al., 2012). Manter a hidratação da célula, nesse caso, garante a contínua ocorrência das atividades metabólicas do tecido e manutenção da integridade das estruturas celulares, possibilitando assim o crescimento das plantas (CHAVES et al., 2003).

Os carboidratos, desenvolvem diversas funções relacionadas ao ajuste osmótico, armazenamento de carbono, desintoxicação de EROs, proteção da integridade de membranas, além de proteção de estruturas de DNA e estabilização de enzimas/proteínas. Em estado crítico de desidratação, os açúcares solúveis substituem essencialmente a água, propiciando a hidratação em torno das proteínas (BOWNE et al., 2012). Além disso, o aumento do armazenamento de açúcares solúveis é considerado como resposta fisiológica das plantas a restrição hídrica em diversos estudos (PASSIOURA, 2012; DBIRA et al., 2018), permitindo que as plantas limitem a evapotranspiração e intensifiquem a absorção de água (GLÚTEN; ÉRIS, 2004).

Quando submetidas a temperatura de 35 °C, tanto as cultivares quanto os potenciais osmóticos foram responsivos, dependendo da variável analisada. Contudo, as cultivares foram submetidas apenas até o potencial de -0,45 Mpa, sendo o potencial de -0,60 limitante para o desenvolvimento das plântulas, não havendo assim massa de plântulas suficiente para as análises enzimáticas e bioquímicas.

Quando avaliada a enzima antioxidante superóxido dismutase, observou-se que a cultivar Imperatriz apresentou resultados significativamente superiores frente a BRS Korbel e ABI Rubi, exceto no potencial 0 em que não houve diferença significativa entre elas. Quanto aos potenciais osmóticos, observou-se que a cultivar BRS Korbel apresentou valores significativamente superiores nos potenciais de -0,30 e -0,45 Mpa diferindo significativamente dos valores nos potenciais 0 e -0,15 Mpa os quais não diferiram entre si. A cultivar ABI Rubi apresentou valores superiores quando submetidas a -0,30 e -0,45 Mpa, diferindo significativamente do tratamento controle em que os resultados foram significativamente menores. De maneira semelhante, a cultivar Imperatriz também apresentou valor superior no potencial de -0,45 Mpa, seguido dos potenciais -0,30, -0,15 e 0, sendo no potencial 0 a expressão dos menores valores (Tabela 17).

Para a enzima catalase observou-se que as cultivares diferiram entre si nos potenciais -0,30 e -0,45 Mpa, em que Imperatriz apresentou maiores resultados frente as cultivares ABI Rubi e BRS Korbel, que por sua vez, não diferiram entre si. Quando comparados os potenciais osmóticos, pode-se perceber que para a cultivar BRS Korbel os valores foram superiores para a catalase quando as sementes foram

submetidas a -0,30 e -0,45 Mpa os quais diferiram dos demais potenciais osmóticos empregados. A cultivar ABI Rubi apresentou valores superiores no potencial -0,45 Mpa, diferindo dos potenciais -0,30 e -0,15 os quais não diferiram entre si, além do potencial 0, o qual obteve os menores valores, diferindo dos demais. Já a cultivar Imperatriz obteve resultados superiores quando utilizado -0,45 Mpa, seguido de -0,30 e dos potenciais -0,15 e 0 Mpa que obtiveram os menores resultados (Tabela 17).

Tabela 17 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para superóxido dismutase (SOD) catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX), na temperatura de 35 °C. Capão do Leão, 2022.

SOD (min/mg proteína)			
Potenciais Osmóticos (Mpa)	Cultivares		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	0,5408 Ab	0,4051 Ac	0,4592 Ad
-0,15	0,5741 Bb	0,6011 Bb	0,7539 Ac
-0,30	0,7546 Ba	0,8348 Ba	0,9676 Ab
-0,45	0,9052 Ba	0,9552 Ba	1,3010 Aa
CAT ($\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ proteína}$)			
Potenciais Osmóticos (Mpa)	Cultivares		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	0,0196 Ab	0,0178 Ac	0,0209 Ac
-0,15	0,0237 Ab	0,0254 Ab	0,0250 Ac
-0,30	0,0273 Ba	0,0254 Bb	0,0321 Ab
-0,45	0,0319 Ba	0,0358 Ba	0,0501 Aa
APX ($\mu\text{mol Ascorb/mg/proteína/min}$)			
Potenciais Osmóticos (Mpa)	Cultivares		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	0,2173 Ac	0,2199 Ab	0,2230 Ac
-0,15	0,3218 Ab	0,2550 Ab	0,2847 Ac
-0,30	0,3462 Bb	0,3043 Ba	0,4474 Ab
-0,45	0,5247 Ba	0,3703 Ca	0,7477 Aa

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

Analisando a enzima ascorbato peroxidase, pode-se constatar que as cultivares diferiram entre si nos potenciais -0,30 e -0,45 Mpa. Quando utilizado -0,30 Mpa a cultivar Imperatriz apresentou valores superiores frente às demais cultivares. Similarmente, quando submetidas a -0,45 Mpa, Imperatriz também apresentou valores superiores, seguida da cultivar BRS Korbel e por último ABI Rubi. Em relação aos

potenciais osmóticos, observou-se que a cultivar BRS Korbel apresentou valores superiores de APX quando submetida a -0,45 Mpa, seguida dos potenciais -0,15 e -0,30 Mpa que não diferiram entre si, e do potencial 0 que apresentou os menores valores, diferindo dos demais. A cultivar ABI Rubi apresentou resultados significativamente maiores quando empregado -0,30 e -0,45 Mpa, os quais diferiram do tratamento controle e -0,15 Mpa, os quais não apresentaram diferença entre si. Semelhantemente, Imperatriz apresentou valores superiores a -0,45 Mpa, seguida do potencial -0,30 Mpa e dos potenciais 0 e -0,15 Mpa que expressaram os menores resultados (Tabela 17).

Zhanassova et al. (2021) avaliando a resposta de cevada na combinação de estresses por temperatura e restrição hídrica, constataram maior atividade das enzimas antioxidantes SOD e CAT nas raízes das plantas quando expostas concomitantemente a esses estresses. Para os autores, tais resultados indicam a capacidade das plantas de cevada em eliminar de maneira eficaz espécies reativas de oxigênio, evitando o acúmulo excessivo das mesmas.

Quando avaliados o peróxido de hidrogênio, observou-se que as cultivares não apresentaram diferença entre si. No entanto, quanto aos tratamentos foi possível observar que os resultados do potencial controle foram significativamente menores que os obtidos nos demais potenciais empregados. De modo semelhante, as cultivares também não apresentaram diferenças entre si quando analisada a peroxidação lipídica. Já em relação aos tratamentos, observou-se que os resultados mais elevados foram obtidos nos potenciais -0,30 e -0,45 frente aos demais tratamentos empregados, enquanto o menor resultado foi expresso no tratamento controle (Tabela 18).

Além de indicar a ocorrência de estresse oxidativo, a elevação no peróxido de hidrogênio e na peroxidação lipídica sugerem que o estresse oxidativo e lesões celulares decorreram em resposta à alta temperatura e à restrição hídrica quando combinadas, como nesse caso, ou apenas à restrição hídrica, quando empregada a temperatura ideal de 20 °C. Similarmente, o estresse combinado de alta temperatura e restrição hídrica promoveu um acúmulo elevado de H₂O₂ em raízes de plantas de cevada, bem como, o aumento na peroxidação lipídica das plantas submetidas às condições adversas, frente as controle (ZHANASSOVA et al., 2021).

Tabela 18 – Peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica de cultivares de cevada sob diferentes potenciais osmóticos, na temperatura de 35 °C. Capão do Leão, 2022.

	Peróxido (uM.g ⁻¹ MF)	Peroxidação (MDA/g ⁻¹ MF)
Cultivares		
BRS Korbel	2324,9531 A	68,8614 A
ABI Rubi	2251,1056 A	58,1738 A
Imperatriz	2147,9212 A	59,7015 A
Potenciais Osmóticos (Mpa)		
0	1974,5608 b	32,0991 c
-0,15	2277,9200 a	59,0206 b
-0,30	2303,1525 a	76,7451 a
-0,45	2409,6733 a	81,1174 a

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas entre cultivares e letras minúsculas não diferem nas colunas entre potenciais osmóticos pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro.

Quanto aos aminoácidos, constatou-se que as cultivares diferiram entre si, exceto no controle. Nos potenciais de -0,15 e -0,30 Mpa ABI Rubi e Imperatriz apresentaram valores superiores à BRS Korbel. Já quando empregado -0,45 Mpa, apenas ABI Rubi apresentou resultados superiores frente às outras duas cultivares. Em relação aos potenciais osmóticos utilizados, observou-se que BRS Korbel e ABI Rubi apresentaram valores significativamente mais elevados quando empregado o potencial de -0,45 Mpa, ao contrário do tratamento controle, em que foram expressos os menores resultados. Já Imperatriz apresentou valores superiores a -0,15, -0,30 e -0,45 Mpa, os quais diferiram do controle que expressou os menores resultados para a variável analisada (Tabela 19).

Tabela 19 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa entre cultivares de cevada e potenciais osmóticos para aminoácidos, na temperatura de 35 °C. Capão do Leão, 2022.

Potenciais Osmóticos (Mpa)	Aminoácidos (μmol/g ⁻¹ MF)		
	Cultivar		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	29,0726 Ac	39,3811 Ac	35,3397 Ab
-0,15	47,7775 Bb	62,9218 Ab	66,9008 Aa
-0,30	39,1839 Bb	70,5449 Ab	68,5352 Aa
-0,45	59,2947 Ba	79,0563 Aa	64,4854 Ba

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

Para os açúcares solúveis totais, observou-se que as cultivares não apresentaram diferença significativa entre si. Já em relação aos potenciais osmóticos utilizados foi observada diferença, sendo o maior resultado obtido a -0,45 Mpa e o menor valor expresso no tratamento controle, indicando que a restrição hídrica aumenta os açúcares solúveis totais (Tabela 20).

Tabela 20 - Açúcares solúveis totais de cultivares de cevada sob diferentes potenciais osmóticos, na temperatura de 35 °C. Capão do Leão, 2022.

Açúcares Solúveis Totais (mg/g⁻¹ MF)	
Cultivares	
BRS Korbel	4,8851 A
ABI Rubi	3,9021 A
Imperatriz	4,8801 A
Potenciais Osmóticos (Mpa)	
0	2,3970 c
-0,15	3,6792 b
-0,30	4,6874 b
-0,45	7,4594 a

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas entre cultivares e letras minúsculas não diferem nas colunas entre potenciais osmóticos pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro.

Quando submetidas a condições de estresse, as células vegetais tendem a sintetizar e acumular concentrações mais elevadas de metabólitos, como determinados aminoácidos e açúcares solúveis. Além disso, esses altos níveis de osmólitos em células vegetais foram correlacionados com maior tolerância das espécies ou cultivares às condições adversas, agindo na eliminação de espécies reativas de oxigênio e proteção enzimática (AHANGER et al., 2017; HASSANI et al., 2008; ZIVICAK; BRESTIC; SYTAR, 2016; ZHANG et al., 2010). Nesse sentido, em cereais, como o arroz, níveis de aminoácidos e açúcares foram significativamente mais elevados em plantas submetidas ao estresse combinado por restrição hídrica e alta temperatura, havendo distinção de respostas entre genótipos tolerantes e sensíveis (LI et al., 2015).

Tais respostas corroboram com o constatado neste estudo, em que o estresse combinado por restrição hídrica e alta temperatura promoveu níveis mais elevados de aminoácidos e açúcares solúveis, os quais foram potencializados à medida que o estresse hídrico imposto tornou-se mais drástico, a depender da cultivar. Ademais, a diferença de resultados entre genótipos também pode indicar maior tolerância de cultivares em detrimento de outras.

2.4 Conclusões

O desempenho inicial de plântulas de cevada sofre influência de condições hídricas e térmicas, conforme a cultivar e intensidade do estresse imposto.

O estresse por restrição hídrica, associado ou não a alta temperatura, afeta negativamente os atributos de germinação, vigor e crescimento inicial das cultivares, principalmente quando utilizados os potenciais osmóticos de -0,45 e -0,60 Mpa.

As cultivares ABI Rubi e Imperatriz apresentam superior alocação de massa seca total quando submetidas a restrição hídrica e alta temperatura.

Quando submetidas a restrição hídrica e temperatura de 35 °C as plântulas de cevada apresentam maior atividade enzimática de superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, além do peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica, aminoácidos e açúcares solúveis totais.

Quando submetida a restrição hídrica nas temperaturas de 20 e 35 °C a cultivar Imperatriz apresenta resultados superiores no conteúdo das enzimas antioxidantes SOD, CAT e APX, o que pode indicar maior tolerância da cultivar às condições estressoras.

3 Capítulo II - Crescimento inicial de cultivares de cevada em resposta à restrição hídrica

3.1 Introdução

A ocorrência de eventos climáticos e meteorológicos extremos tem aumentado ao longo dos anos, além de apresentarem também uma crescente relacionada à intensidade e duração, o que conseqüentemente pode acarretar em desastres naturais, principalmente aqueles relacionados a enchentes e secas severas (EM-DAT, 2019; HARTMANN et al., 2013; IPCC, 2012; UNISDR, 2012).

Eventos relacionados ao déficit hídrico têm aumentado em frequência e intensidade em várias regiões do planeta nas últimas décadas (EM-DAT, 2019; IPCC, 2012; IPCC, 2018; HARTMANN et al., 2013; NING et al., 2019; NING; RIDDLE; BRADLEY, 2015; UNISDR, 2012; ZHOU et al., 2012) acarretando em alterações drásticas em ecossistemas e afetando as mais diversas formas de vida. A seca está vinculada às mais graves perdas econômica e sociais do planeta, afetando mais pessoas do que qualquer outro desastre natural (KEYANTASH, DRACUP; 2002).

De acordo com as projeções realizadas, ainda é provável que as deficiências hídricas ocorram em maior intensidade, principalmente em regiões como sul da África, nos Estados Unidos, sul da Europa, sul da Ásia e também no Brasil, devido principalmente ao aumento das temperaturas e redução da precipitação (LIU et al., 2022). Uma das primeiras características de ocorrência da deficiência hídrica é a redução na umidade do solo, o que afeta diretamente a produção agrícola, com alterações significativas na produtividade das culturas.

No Brasil, o estresse por restrição hídrica ocorre em diversas regiões, comprometendo a produção das mais diferentes espécies. Em cereais de inverno, por exemplo, o déficit hídrico é considerado um dos fatores ambientais mais críticos e capazes de limitar o crescimento e produtividade das plantas (MILAD et al., 2011; RIZZA et al., 2004). Uma redução de até 40% foi constatada nos rendimentos

máximos potenciais destas culturas quando submetidas a restrição hídrica (SAEIDI; ABDOLI, 2015), limitando consideravelmente a produtividade. Nesse contexto, uma série de características morfológicas, fisiológicas e metabólicas podem ser modificadas em razão do estresse, o que varia de acordo com parâmetros como intensidade e duração das condições adversas a que as plantas são submetidas, além de fatores genéticos relacionados a cada cultivar e estágio de desenvolvimento das plantas quando expostas à deficiência hídrica, por exemplo.

Dentre os cereais de inverno a cevada (*Hordeum vulgare* L.), assim como o trigo (*Triticum aestivum* L.) é considerada de suma importância global, uma vez que serve como fonte de alimento para grandes porções da população humana em diversas regiões do planeta e também como ração animal (SALAM et al., 2019). No Brasil, a espécie é destinada quase que totalmente à alimentação humana, servindo como matéria-prima para a produção do malte, o qual é utilizado na fabricação de bebidas, farinhas e sucedâneos do café (BOROWSKI, 2012). No entanto, não raras vezes o desenvolvimento da cultura no país ocorre sob condições de déficit hídrico, uma vez que este tipo de estresse tem se tornado cada vez mais frequente e intenso. Com isso, a cultura pode expressar alterações relacionadas a morfologia de folhas e raízes, produção de biomassa, conteúdo relativo de água, condutância estomática, parâmetros fotossintéticos, fluorescência da clorofila, além de modificações bioquímicas, o que resulta muitas vezes no menor rendimento e qualidade.

Lalić et al. (2017) avaliando o efeito da restrição hídrica no estágio inicial de crescimento de cultivares de cevada, constataram que as plantas submetidas ao estresse expressaram uma redução no conteúdo relativo de água, massa seca de folhas, raízes e total, além do comprimento de raízes, havendo ainda uma distinção entre cultivares. Dawood et al. (2019) observaram que o estresse por restrição hídrica proporcionou redução na taxa fotossintética das plantas além de outras respostas relacionadas ao processo fotossintético. Em suma, muitas são as alterações e respostas que a cultura pode expressar frente ao estresse.

Contudo, cabe destacar que entre as plantas anuais a cevada é considerada por muitos autores como uma das espécies com tolerância elevada a estresses abióticos (MUNNS; TESTER, 2008; ULLRICH, 2010; WIEGMANN et al., 2019), possuindo assim potencial para expansão da sua produção em regiões afetadas pelas mudanças edafoclimáticas e com eventos adversos (ELAKHDAR et al., 2022). Além

disso, a genética relativamente simples da cevada e sua proximidade com outras culturas das famílias *Triticeae* e *Poaceae* facilita a transferência do conhecimento de pesquisas com cevada para outros cereais como centeio e trigo, por exemplo (SREENIVASULU et al., 2008). Por isso, diversos autores consideram a cevada como uma espécie geneticamente promissora para estudos relacionados ao estresse por restrição hídrica (AHMED et al., 2016; BORNARE et al., 2012).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o crescimento inicial de cultivares de cevada sob a influência da restrição hídrica por diferentes períodos.

3.2 Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação, localizada no campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas – RS, situada na latitude 31° 48' 15.12" S, longitude 52° 24' 55.1874" W e altitude de 13 m. As análises foram realizadas nos Laboratórios Didáticos de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas.

A semeadura foi conduzida em bandejas de polietileno preto, contendo como substrato solo do horizonte A1 de um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico, pertencente à unidade de mapeamento Pelotas (STRECK et al., 2008), o qual foi previamente corrigido conforme análise e seguindo as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2016).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2 x 5 (3 cultivares x 2 regimes hídricos x 5 períodos de exposição aos regimes hídricos), com quatro repetições, sendo cada repetição composta por uma planta. Os tratamentos consistiram na combinação de 3 cultivares (BRS Korbel, ABI Rubi e Imperatriz), 2 regimes hídricos (capacidade de campo e restrição hídrica) e 5 períodos de exposição aos regimes hídricos, realizados a cada quatro dias (0, 4, 8, 12 e 16 dias a partir do início do estabelecimento dos diferentes regimes hídricos).

Após a semeadura em solo, o fornecimento de água para as plantas foi realizado a fim de que fosse mantida a umidade do solo próxima a capacidade de campo, com a realização de irrigações diárias. Aos 14 dias após a semeadura, foi

imposta a suspensão da irrigação para os tratamentos que incluíam a restrição hídrica, enquanto os tratamentos controle foram mantidos sob capacidade de campo. A imposição dos diferentes regimes hídricos foi mantida pelo período de até 16 dias, com avaliações realizadas a cada quatro dias. O período de suspensão da irrigação foi determinado a partir da avaliação do teor relativo de água das folhas até que fossem alcançados valores próximos a 45 % (adaptado de KOCH, 2019). Para tanto, foram realizadas coletas sucessivas de folhas, com intervalos regulares de 48 horas. O teor relativo de água foi realizado de acordo com a metodologia proposta por Barrs (1962) e os resultados foram expressos em porcentagem.

Para a caracterização do estande de plantas e vigor inicial das diferentes cultivares de cevada, foi realizado o teste de emergência de plântulas, o qual foi conduzido com quatro repetições de 100 sementes em bandejas de polietileno preto, contendo como substrato solo do horizonte A1 de um Planossolo Háptico Eutrófico Solódico. Foram realizadas irrigações diárias e a avaliação ocorreu 14 dias após a semeadura, considerando o número de plântulas emergidas. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais emergidas (%).

Para avaliação da influência dos tratamentos no crescimento inicial das diferentes cultivares foram realizadas as seguintes análises:

Comprimento de parte aérea e raízes: obtido a partir de 4 repetições com dez plantas, realizada a cada coleta. O comprimento da parte aérea foi obtido pela distância entre o ápice da parte aérea e a inserção da porção basal das raízes e o comprimento das raízes foi mensurado considerando a distância entre a parte apical e basal das raízes, utilizando o auxílio de uma régua milimétrica. Os resultados foram expressos em cm por planta (cm planta^{-1}).

Massa seca de folhas, colmo e raízes: foram obtidas a partir da aferição de quatro repetições de 10 plantas, realizada a cada coleta. As folhas, colmos e as raízes foram acondicionadas, separadamente, em envelopes de papel pardo e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada sob temperatura de 70 °C (± 2), até a massa constante. Os valores de massa seca foram obtidos através da aferição em balança de precisão e os resultados expressos em gramas por órgão (g órgão^{-1}).

Clorofila *a*, *b* e total: determinadas a partir da aferição em 10 plantas por repetição, em cada período de avaliação. As medições das clorofilas foram efetuadas no terço mediano das plantas, com o auxílio de um medidor eletrônico de clorofila

Falker-CFL1030.

Área foliar: foi obtida através da aferição em dez plantas por repetição, a cada período de coleta. Para tanto, utilizou-se um medidor de área foliar modelo LI-3100, sendo os resultados expressos em centímetros quadrados por planta ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$).

Os dados foram submetidos à análise de variância, após procedeu-se a identificação da interação entre cultivares de cevada x regimes hídricos x períodos de exposição aos regimes hídricos a 5% de probabilidade pelo teste F. As interações significativas foram desmembradas aos efeitos simples para os fatores de variação qualitativos (cultivares x regimes hídricos), para o fator quantitativo (períodos de exposição aos regimes hídricos) procedeu-se a regressão linear e testou-se o maior grau significativo do polinômio, através do teste t a 5% de probabilidade, para cada nível dos fatores de variação. As interações não significativas foram desmembradas aos efeitos principais para cada fator separadamente.

3.3 Resultados e discussão

A partir da análise de variância foi constatada interação significativa entre os fatores cultivares, regimes hídricos e períodos de exposição, para as variáveis como comprimento de parte aérea, comprimento total, massa seca de raízes, clorofila *a* e área foliar. A interação entre cultivares e períodos de exposição aos regimes hídricos foi significativa para o comprimento de raízes, massa seca de folhas, massa seca de colmos, massa seca total e clorofila total. A interação entre os regimes hídricos e os períodos de exposição foi significativa para o comprimento de raízes, massa seca de folhas, massa seca de colmos, massa seca total, clorofila *b* e clorofila total. Já a interação entre cultivares e regimes hídricos foi significativa para o comprimento de raízes, massa seca de folhas, massa seca de colmos, massa seca total e clorofila *b*. Além disso, para o percentual de emergência apenas as cultivares foram significativas (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância com os quadrados médios da emergência (E), comprimento de parte aérea (CPA), de raízes (CPR), total (CPT), massa seca de folhas (Wf), colmos (Wc), raízes (Wr), total (Wt), clorofila *a* (CLA), clorofila *b* (CLB), clorofila total (CLT) e área foliar (AF). Capão do Leão, 2022.

F.V.	G.L.	Quadrados Médio											
		E	CPA	CPR	CPT	Wf	Wc	Wr	Wt	CLA	CLB	CLT	AF
Cultivar (C)	2	139.3583*	60.41783*	10.25683*	38.42089*	11.47798 ^{ns}	73.83826*	0.004153*	0.028803*	8.155525*	16.9914*	37.58468*	12.89056
Períodos de exposição aos RH (P)	4	5.5625 ^{ns}	1559.677*	8.057464*	1760.145*	7023.318*	1203.855*	0.036168*	1.875833*	13.20281*	10.39547*	44.70485*	4594.882*
Regimes hídricos (RH)	1	2.7 ^{ns}	134.938*	1.709569 ^{ns}	106.2577*	374.32136*	42.9723*	0.008528*	0.027786*	54.10947*	23.09434*	147.1646*	1589.357*
C x P	8	5.05625 ^{ns}	8.75613*	3.413854*	10.16144*	73.70221*	19.8815*	0.001590*	0.015219*	10.06961*	2.725798 ^{ns}	16.71069*	72.19538 ^{ns}
RH x P	4	2.05416 ^{ns}	140.2472*	3.599661*	115.0131*	211.1361*	41.963*	0.000975 ^{ns}	0.035226*	32.80768*	26.37284*	115.7855*	857.6959*
C x RH	2	7.525 ^{ns}	2.794866 ^{ns}	12.82108*	27.25291*	93.68596*	11.54252*	0.000639 ^{ns}	0.017969*	2.052721 ^{ns}	7.991293*	5.283666 ^{ns}	91.61068 ^{ns}
C x RH x P	8	2.72291 ^{ns}	6.693929*	0.6145038 ^{ns}	6.380096*	26.94238 ^{ns}	5.208102 ^{ns}	0.000879*	0.006209 ^{ns}	6.240753*	3.85776 ^{ns}	14.28029 ^{ns}	76.4679*
Resíduo	87	13.24713	2.424637	1.250695	3.06883	0.00302994	3.215311	0.000427	0.004532	3.11651	2.890568	7.548168	971.1581
CV (%)		3,79	5,96	11,75	4,82	16,41	12,75	18,76	11,48	7,74	22,39	9,04	21,06

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. F.V. – fatores de variação; G.L. – graus de liberdade; CV – coeficiente de variação.

Avaliando os percentuais do teor relativo de água das plantas, foi possível observar que todas as cultivares quando mantidas sob capacidade de campo apresentaram valores próximos a 90 %. Em contrapartida, quando submetidas ao déficit hídrico, as três cultivares expressaram uma queda no teor relativo de água ao longo do tempo em que foram expostas à condição estressora. Percentuais próximos a 45% foram atingidos aos dezesseis dias após a imposição da restrição hídrica, o que indica a ocorrência do estresse nestas plantas (Figura 1).

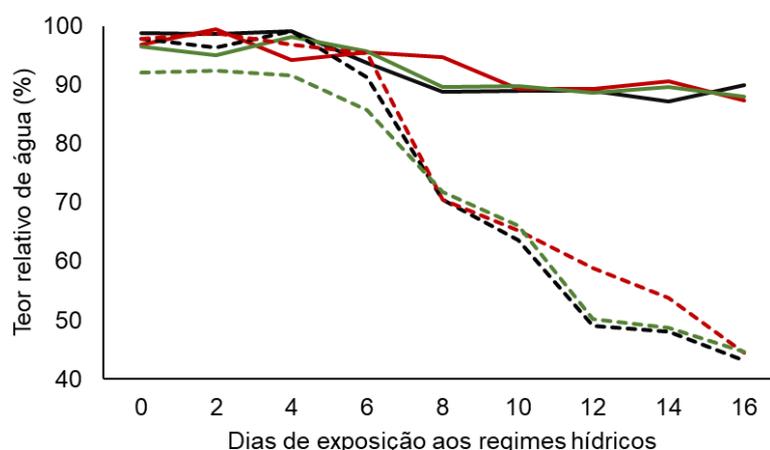


Figura 1 - Teor relativo de água de plantas provenientes de sementes de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos. Sendo: BRS Korbel sob capacidade de campo (—); BRS Korbel sob restrição hídrica (---); ABI Rubi sob capacidade de campo (—); ABI Rubi sob restrição hídrica (---); Imperatriz sob capacidade de campo (—); Imperatriz sob restrição hídrica (---).

O conteúdo relativo de água, é considerado como uma medida importante na resposta ao estado hídrico vegetal, pois expressa a quantidade de água nos tecidos em relação a quantidade total de água em tecidos completamente túrgidos, e por isso é utilizado como um índice expressivo de tolerância ou sensibilidade à desidratação (CORNIC; MASSACCI, 1996; SALLAM et al., 2019).

Analisando o percentual de emergência de plântulas, constatou-se que as cultivares diferiram entre si. Nesse caso, Imperatriz apresentou resultados superiores quando comparada à BRS Korbel e ABI Rubi, as quais não diferiram entre si (Tabela 2).

Apesar da diferença entre cultivares, todas apresentaram percentual de emergência elevado, a partir de 95%, indicando alto potencial fisiológico das sementes. Nesse sentido, o adequado estabelecimento do estande de plântulas está diretamente relacionado ao potencial fisiológico das sementes, o qual pode ser

definido como a capacidade da semente de manifestar suas funções vitais em condições ambientais consideradas ideais ou não (MARCOS FILHO, 2015).

Tabela 2 – Percentual de emergência de diferentes cultivares de cevada. Capão do Leão, 2022.

Percentual de emergência	
Cultivares	
BRS Korbelt	95 B
ABI Rubi	96 B
Imperatriz	99 A

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A redução na porcentagem de emergência de plântulas é considerada um resultado da interação entre o potencial fisiológico das sementes e as condições do ambiente. Nesse contexto, sementes com elevado potencial fisiológico, mesmo quando submetidas a condições ambientais pouco desfavoráveis, permanecem com capacidade de emergência elevada, ou seja, com redução mínima no percentual de plântulas emergidas. No entanto, quando há um declínio no potencial fisiológico, uma proporção maior de sementes é incapaz de tolerar as condições adversas, resultando em um menor percentual de plântulas emergidas (MARCOS FILHO, 2015).

Avaliando o comprimento de parte aérea, observou-se que as plantas de todas as cultivares mantidas em capacidade de campo apresentaram um crescimento progressivo ao longo do tempo. Quando submetidas a restrição hídrica, ABI Rubi apresentou crescimento constante de parte aérea ao longo dos dias avaliados, enquanto BRS Korbelt e Imperatriz apresentaram crescimento até o oitavo dia de exposição às condições hídricas, com redução do comprimento de parte aérea nos períodos subsequentes (Figura 2).

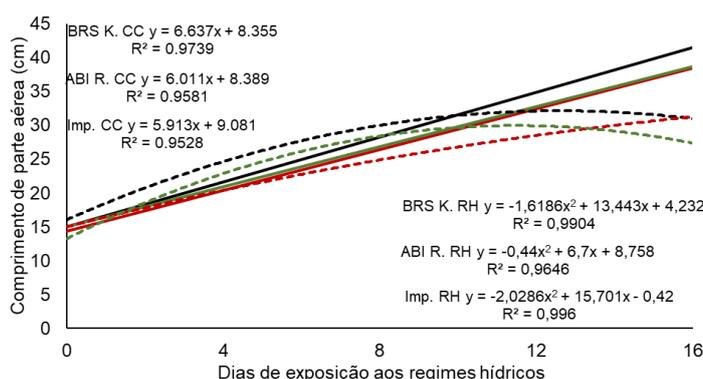


Figura 2 – Comprimento de parte aérea, de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos.

Sendo: BRS Korbel sob capacidade de campo (—); BRS Korbel sob restrição hídrica (---); ABI Rubi sob capacidade de campo (—); ABI Rubi sob restrição hídrica (---); Imperatriz sob capacidade de campo (—); Imperatriz sob restrição hídrica (---).

De maneira geral, em ambas as condições hídricas BRS Korbel expressou maior comprimento de parte aérea quando comparada às demais cultivares, exceto aos dezesseis dias de exposição a restrição hídrica, em que ABI Rubi apresentou resultados muito próximos daqueles obtidos por BRS Korbel (Tabela 3).

Com relação aos regimes hídricos, observou-se que no período final de avaliação, as plantas da cultivar BRS Korbel mantidas sob capacidade de campo expressaram maior comprimento de parte aérea do que aquelas expostas ao estresse. Similarmente, Imperatriz apresentou maior crescimento de parte aérea nas plantas que estavam em capacidade de campo aos dezesseis dias de exposição aos regimes hídricos. Já ABI Rubi apresentou resultados próximos para ambos regimes hídricos até os oito dias de exposição, sendo as plantas mantidas sob capacidade de campo aquelas que expressaram resultados superiores nos períodos subsequentes de avaliação (Tabela 3).

Tabela 3 – Desdobramento da interação entre cultivares de cevada x regimes hídricos x períodos de exposição aos regimes hídricos para o comprimento de parte aérea. Capão do Leão, 2022.

Períodos de exposição (dias)	Comprimento de parte aérea (cm)					
	Regimes hídricos					
	Capacidade de campo			Restrição Hídrica		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	13,89 A α	13,30 A α	13,72 A α	15,66 A α	14,19 A α	13,54 A α
4	23,52 A α	23,06 A α	23,32 A α	25,41 A α	22,35 B α	22,21 B α
8	28,82 A α	25,80 B α	27,16 AB α	30,08 A α	24,01 B α	28,68 A α
12	32,53 A α	30,13 A α	29,91 A α	31,23 A α	27,75 B β	30,25 AB α
16	42,57 A α	39,82 B α	39,99 AB α	31,41 A β	31,79 A β	27,17 B β

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha (cultivares) e letras gregas na linha (regimes hídricos) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O comprimento de parte aérea foi afetado de acordo com o tempo a que as plantas permaneceram sob os diferentes regimes hídricos. Nesse sentido, a ação do estresse hídrico foi percebida a partir dos oito dias, aproximadamente, de suspensão da irrigação para ABI Rubi, e no período final de avaliação para BRS Korbel e

Imperatriz. As plantas submetidas ao estresse apresentaram menor crescimento que aquelas mantidas sob condições hídricas ideais, as quais permaneceram em crescimento contínuo.

A resposta inicial e que é considerada a mais sensível ao estresse por restrição hídrica é a redução da turgescência celular, que proporciona diminuição do crescimento, uma vez que o alongamento, a divisão e a diferenciação celular são afetados pelo déficit hídrico, o que resulta no menor desempenho das plantas (LARCHER, 2000; LOPES et al., 2015). No entanto, a resposta ao estresse é variável entre genótipos, pois os parâmetros fisiológicos são alterados de maneiras distintas entre cultivares tolerantes e sensíveis (SILVA et al., 2007).

Analisando o comprimento de raízes, foi possível observar que as cultivares BRS Korbel e ABI Rubi não apresentaram significância quanto ao tempo de avaliação. Já Imperatriz apresentou crescimento pronunciado a partir do sexto dia de exposição aos regimes hídricos. Além disso, no período final das avaliações, também foi possível constatar que a cultivar Imperatriz expressou resultados mais elevados se comparados aqueles obtidos por BRS Korbel e ABI Rubi (Figura 3a).

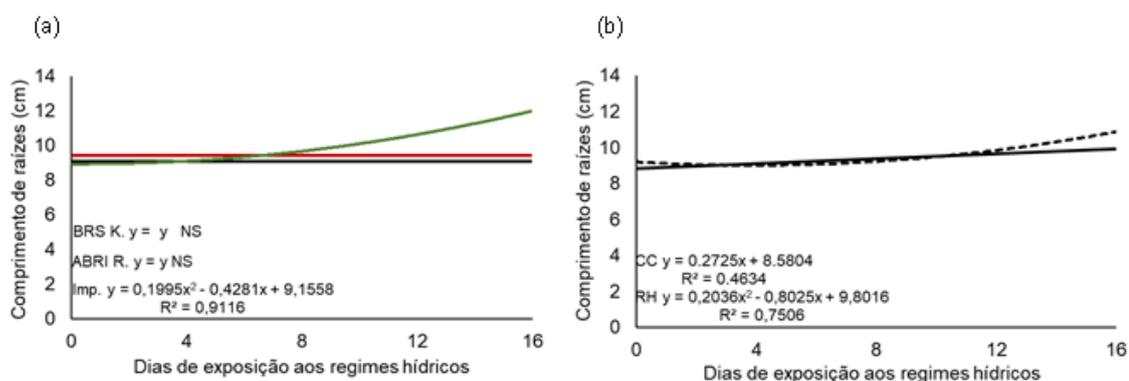


Figura 3 – Comprimento de raízes de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos.

Sendo, para interação apenas entre cultivares e dias de exposição aos regimes hídricos: BRS Korbel (—); ABI Rubi (—); Imperatriz (—); Para interação apenas entre regimes hídricos e dias de exposição: capacidade de campo (—); restrição hídrica (---).

Com relação aos regimes hídricos, observou-se que quando submetidas ao estresse, as plantas apresentaram um crescimento mais pronunciado a partir dos doze dias, enquanto as plantas mantidas em capacidade de campo apresentaram valores muito próximos ao longo dos períodos de avaliação, demonstrando menor crescimento ao longo do tempo. Além disso, no período final de exposição aos

regimes hídricos, as plantas submetidas à restrição hídrica apresentaram valores pouco mais elevados se comparados àqueles obtidos por plantas que foram mantidas em capacidade de campo pelo mesmo tempo (Figura 3b).

Ademais, as cultivares diferiram quanto ao regime hídrico a que foram submetidas. Nesse caso, BRS Korbel apresentou resultados superiores no comprimento de raízes quando submetida a restrição hídrica, enquanto Imperatriz demonstrou comportamento contrário, com valores superiores quando mantida sob capacidade de campo. Além disso, as cultivares diferiram dependendo da condição hídrica imposta. Quando mantida a capacidade de campo, ABI Rubi e Imperatriz apresentaram resultados superiores a BRS Korbel. Já quando submetidas ao estresse, as cultivares não diferiram entre si (Tabela 4).

Tabela 4 – Desdobramento da interação simples entre cultivares de cevada e regimes hídricos para o comprimento de raízes. Capão do Leão, 2022.

Comprimento de raízes (cm)		
Cultivar	Regime Hídrico	
	Capacidade de Campo	Restrição Hídrica
BRS Korbel	8,3283 Bc	9,8220 Aa
ABI Rubi	9,4425 Ab	9,3715 Aa
Imperatriz	10,4230 Aa	9,7165 Ba

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

De maneira geral, em condições de estresse hídrico as plantas expressam maior alongamento e partição de assimilados para a raiz e reduzem o crescimento de parte aérea, o que ocorre devido a estímulos hormonais em vista do favorecimento da absorção de água nas camadas mais profundas do solo e redução da transpiração foliar, para garantia de sobrevivência pela planta (AROCA et al., 2011; FIGUEIROA et al., 2004; MARTINS et al., 2010; MELO et al., 2014; RAMOS JUNIOR et al., 2013; SILVA et al., 2008). Por via de regra, tal resposta está atrelada a atuação do ácido abísico (ABA), o qual é capaz de induzir o crescimento das raízes, além de estimular a emergência de raízes laterais, enquanto interrompe o crescimento foliar, auxiliando no enfrentamento à restrição hídrica (TAIZ; ZEIGER, 2013). Todavia, esta é uma resposta variável entre cultivares pois está atrelada a sensibilidade destas às condições estressoras, o que evidenciou-se entre as cultivares estudadas. Nesse caso, BRS Korbel demonstrou maior comprimento de raízes quando submetida ao

estresse hídrico, confirmando a resposta vinculada a ocorrência do estresse, enquanto Imperatriz demonstrou comportamento contrário, em que seus mecanismos fisiológicos responderam de maneira distinta a mesma situação, não priorizando necessariamente o crescimento das raízes quando submetida a situação de estresse. Já ABI Rubi, mostrou-se indiferente ao estresse imposto para o comprimento de raízes, demonstrando menor sensibilidade nessa situação.

Com relação ao comprimento total de plantas, foi constatado um crescimento constante de todas as cultivares mantidas sob capacidade de campo ao longo dos dias de avaliação. Quando submetidas a restrição hídrica, ABI Rubi manteve o crescimento durante os períodos de exposição ao estresse, enquanto BRS Korbel e Imperatriz apresentaram crescimento até o oitavo dia, com uma pequena redução dos valores nos períodos subsequentes de avaliação (Figura 4).

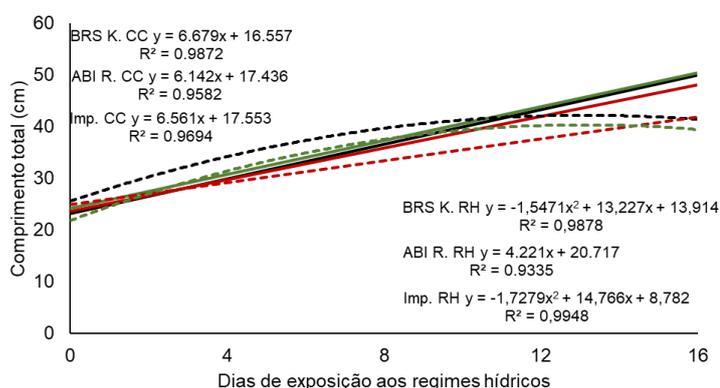


Figura 4 – Comprimento total de plantas de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos.

Sendo, para interação entre os fatores: BRS Korbel sob capacidade de campo (—); BRS Korbel sob restrição hídrica (---); ABI Rubi sob capacidade de campo (—); ABI Rubi sob restrição hídrica (---); Imperatriz sob capacidade de campo (—); Imperatriz sob restrição hídrica (---).

De maneira geral, quando mantidas sob condições ideais de irrigação as cultivares não apresentaram comprimentos demasiadamente distintos. Já quando submetidas ao estresse, BRS Korbel apresentou resultados mais pronunciados, especialmente quando comparada a ABI Rubi, exceto aos 16 dias de exposição, em que ABI Rubi obteve valores próximos àqueles alcançados por BRS Korbel (Tabela 5).

Quanto aos regimes hídricos, observou-se que BRS Korbel apresentou valores superiores quando as plantas foram mantidas sob restrição hídrica até os oito dias de

exposição, apresentando comportamento contrário no último período de avaliação, em que as plantas mantidas sob capacidade de campo alcançaram valores superiores quando comparadas àquelas submetidas à restrição hídrica. ABI Rubi, apresentou maior comprimento de plantas mantidas sob a capacidade de campo a partir dos doze dias, comparativamente as que estavam sob restrição hídrica. Já Imperatriz apresentou valores próximos para ambos regimes hídricos até os doze dias de exposição, com resultados superiores para as plantas mantidas sob capacidade de campo no período subsequente de avaliação (Tabela 5).

Tabela 5 – Desdobramento da interação entre cultivares de cevada x regimes hídricos x períodos de exposição aos regimes hídricos para o comprimento total. Capão do Leão, 2022.

Períodos de exposição (dias)	Comprimento total (cm)					
	Regimes hídricos					
	Capacidade de campo			Restrição Hídrica		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	22,23 Aβ	22,44 Aα	23,07 Aα	25,36 Aα	23,34 ABα	21,52 Bα
4	31,64 Aβ	32,70 Aα	32,93 Aα	34,40 Aα	32,12 Aα	31,93 Aα
8	36,64 Aβ	34,54 Aα	37,18 Aα	40,41 Aα	32,59 Bα	37,75 Aα
12	42,03 Aα	40,26 Aα	41,39 Aα	40,86 Aα	36,85 Bβ	39,98 Aα
16	50,43 Aα	49,37 Aα	51,64 Aα	41,85 Aβ	42,04 Aβ	39,25 Aβ

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha (cultivares) e letras gregas na linha (regimes hídricos) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Inicialmente as plantas submetidas à restrição hídrica apresentaram crescimento igual ou superior ao expresso pelas plantas que foram mantidas em capacidade de campo, sendo este afetado de acordo com o aumento do tempo de restrição hídrica, a depender da cultivar. Nesse caso, todas as cultivares foram afetadas pela restrição hídrica e responderam de maneiras distintas, expressando menor ou maior aporte em parte aérea e raízes, o que resultou no comprimento total.

Para a massa seca de folhas, observou-se que a cultivar Imperatriz apresentou um aumento progressivo de valores ao longo do tempo, enquanto BRS Korbel e ABI Rubi apresentaram aumento mais pronunciado nos períodos finais de avaliação. De maneira geral, as cultivares apresentaram aumento no aporte de massa seca de folhas no decorrer do tempo, porém não expressaram diferenças pronunciadas entre si (Figura 5a).

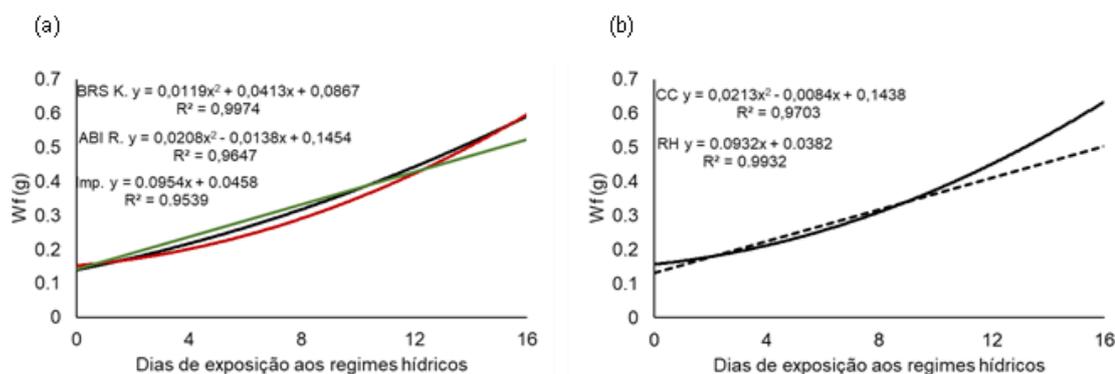


Figura 5 – Massa seca de folhas de plantas de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos.

Sendo para interação apenas entre cultivares e dias de exposição aos regimes hídricos: BRS Korbelt (—); ABI Rubi (—); Imperatriz (—); Para interação apenas entre regimes hídricos e dias de exposição: capacidade de campo (—); restrição hídrica (---).

Com relação aos regimes hídricos, observou-se que as plantas mantidas em capacidade de campo apresentaram crescimento ao longo do tempo, com diferenças mais pronunciadas nos períodos finais de avaliação. Já as plantas submetidas à restrição hídrica, apresentaram crescimento progressivo ao longo do tempo de exposição ao estresse. Até os doze dias de avaliação, as plantas de ambos os regimes hídricos apresentaram valores similares de massa seca de folhas, contudo, nos períodos posteriores, houve maior aporte naquelas plantas mantidas sob capacidade de campo comparativamente àquelas que estavam sob estresse (Figura 5b).

Com relação às cultivares em ambos regimes hídricos, observou-se que ABI Rubi e Imperatriz expressaram maior aporte na massa seca de folhas quando as plantas foram mantidas em condições ideais de irrigação se comparadas aquelas expostas ao estresse. Já BRS Korbelt não diferiu quanto aos regimes hídricos testados (Tabela 6).

Tabela 6 – Desdobramento da interação simples entre cultivares de cevada e regimes hídricos para a massa seca de folhas. Capão do Leão, 2022.

Massa seca de folhas		
Cultivar	Regime Hídrico	
	Capacidade de Campo	Restrição Hídrica
BRS Korbelt	0,3428 Aa	0,3402 Aa
ABI Rubi	0,3527 Aa	0,3124 Ba
Imperatriz	0,3635 Aa	0,3003 Ba
CV (%) 16,41		

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

O menor aporte em parte aérea geralmente ocorre a fim de reduzir a transpiração, o que limita a área fotossinteticamente ativa, prejudica o processo de fotossíntese e conseqüentemente restringe o acúmulo de massa seca (DUTRA et al., 2015; MOERIA et al., 2016; SHAO et al., 2008). Nesse caso, foi verificado o menor aporte em comprimento de parte aérea e também da massa seca de folhas ao longo do tempo em que foi imposta a suspensão hídrica. Assim, pode-se observar que as plantas utilizam das estratégias de sobrevivência de acordo com o aumento do tempo em que permanecem sob restrição hídrica e conseqüentemente de maior intensidade do estresse.

As cultivares apresentaram também maior aporte na massa seca de colmo ao longo dos períodos de avaliação. Nesse contexto, BRS Korbel e Imperatriz apresentaram aumento progressivo dos resultados ao longo do tempo, enquanto ABI Rubi expressou maior aporte de massa seca de colmo nos períodos finais de avaliação. Entre as cultivares, observou-se que a partir dos oito dias BRS Korbel apresentou resultados mais pronunciados que as demais cultivares, com exceção para o período de dezesseis dias, em que BRS Korbel e ABI Rubi apresentaram resultados muito similares, porém superiores aos alcançados por Imperatriz no mesmo período (Figura 6a).

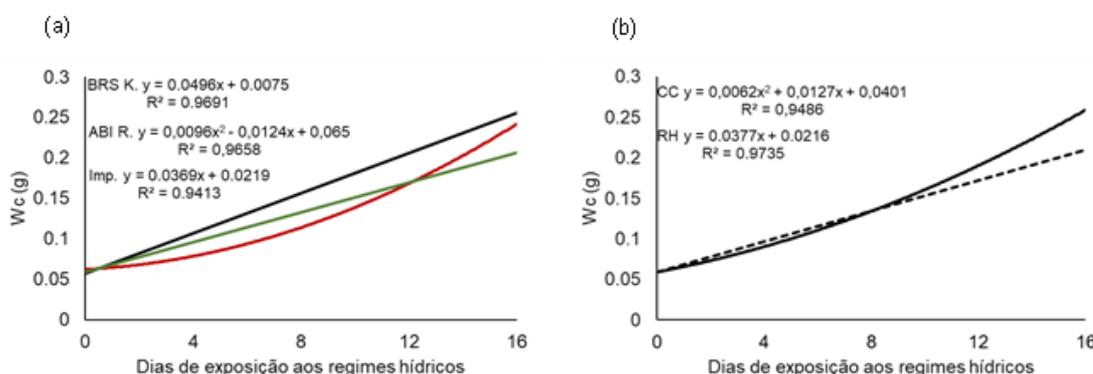


Figura 6 – Massa seca de colmo de plantas de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos.

Sendo para interação apenas entre cultivares e dias de exposição aos regimes hídricos: BRS Korbel (—); ABI Rubi (—); Imperatriz (—); Para interação apenas entre regimes hídricos e dias de exposição: capacidade de campo (—); restrição hídrica (---).

Quanto aos regimes hídricos, constatou-se que tanto as plantas mantidas em capacidade de campo quanto aquelas expostas ao estresse hídrico apresentaram aporte na massa seca de colmo no decorrer do tempo, no entanto, para a capacidade

de campo o aumento nos valores ocorreu nos períodos finais de avaliação, enquanto para a restrição hídrica houve um aumento progressivo no tempo. As plantas submetidas a ambas condições hídricas apresentaram valores muito similares até os doze dias de avaliação, posteriormente, plantas que continuaram em capacidade de campo apresentaram maior aporte de massa seca de colmo do que aquelas que permaneceram submetidas ao déficit hídrico (Figura 6b).

Nesse contexto, ABI Rubi e Imperatriz expressaram resultados superiores quando as plantas foram mantidas sob condições ideais de irrigação se comparadas àquelas submetidas à restrição hídrica. Já BRS Korbel não apresentou diferenças entre as condições hídricas impostas. As cultivares também diferiram entre si conforme o regime hídrico a que foram mantidas. Quando em capacidade de campo, BRS Korbel apresentou valores superiores a Imperatriz, enquanto ABI Rubi obteve resultados intermediários. Similarmente, quando submetidas a restrição hídrica, BRS Korbel expressou maior aporte na massa seca de colmos do que as outras duas cultivares estudadas (Tabela 7).

O resultado para massa seca de colmo foi ao encontro daquele obtido para as demais variáveis relacionadas a parte aérea, em que houve menor aporte nas plantas submetidas à restrição hídrica de acordo com o aumento do tempo de estresse.

Tabela 7 – Desdobramento da interação simples entre cultivares de cevada e regimes hídricos para a massa seca de colmos. Capão do Leão, 2022.

Cultivar	Massa seca de colmo	
	Regime Hídrico	
	Capacidade de Campo	Restrição Hídrica
BRS Korbel	0,1568 Aa	0,1558 Aa
ABI Rubi	0,1442 Aab	0,1218 Bb
Imperatriz	0,1388 Ab	0,1264 Bb

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

Avaliando a massa seca de raízes, observou-se que, de maneira geral, todas as cultivares, em ambos regimes hídricos apresentaram crescimento ao longo dos dias de exposição. Contudo, quando mantidas as condições ideais de irrigação as cultivares apresentaram valores muito próximos entre os períodos iniciais de avaliação, expressando aumento mais pronunciado no aporte de massa seca de raízes a partir dos oito dias. Por outro lado, quando submetidas ao estresse, as

cultivares expressaram um aumento progressivo na massa seca de raízes ao longo do tempo (Figura 7).

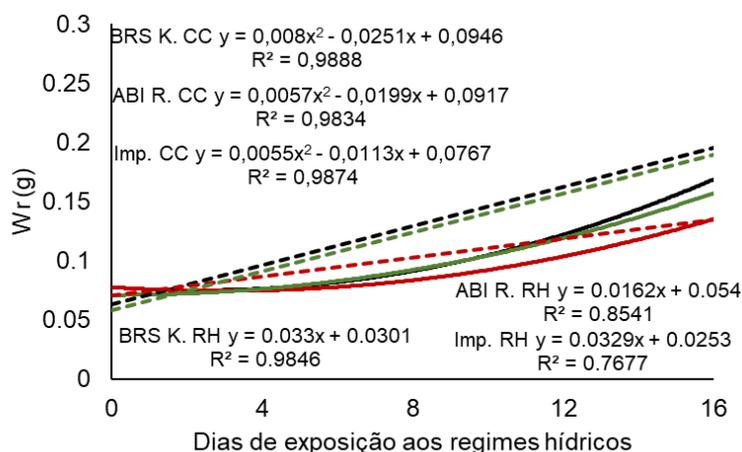


Figura 7 – Massa seca de raízes de plantas de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos.

Sendo, para interação entre os fatores: BRS Korbél sob capacidade de campo (—); BRS Korbél sob restrição hídrica (---); ABI Rubi sob capacidade de campo (—); ABI Rubi sob restrição hídrica (---); Imperatriz sob capacidade de campo (—); Imperatriz sob restrição hídrica (---).

Entre cultivares foi possível constatar, que quando mantidas em capacidade de campo todas as cultivares apresentaram valores similares entre si. Já quando submetidas a restrição hídrica, BRS Korbél e Imperatriz apresentaram valores muito próximos entre si, porém superiores do que os obtidos pela cultivar ABI Rubi, especialmente no período final de avaliação (Tabela 8).

Tabela 8 – Desdobramento da interação entre cultivares de cevada x regimes hídricos x períodos de exposição aos regimes hídricos para a massa seca de raízes. Capão do Leão, 2022.

Períodos de exposição (dias)	Massa seca de raízes (g)					
	Regimes hídricos					
	Capacidade de campo			Restrição Hídrica		
	BRS Korbél	ABI Rubi	Imperatriz	BRS Korbél	ABI Rubi	Imperatriz
0	0,0790 A α	0,0758 A α	0,0703 A α	0,0646 A α	0,0774 A α	0,0766 A α
4	0,0746 A α	0,0776 A α	0,0758 A α	0,0988 A α	0,0800 A α	0,0889 A α
8	0,0876 A β	0,0850 A α	0,0969 A α	0,1275 A α	0,0904 B α	0,1092 AB α
12	0,1286 A α	0,0986 A α	0,1131 A α	0,1523 A α	0,1328 A α	0,1193 A α
16	0,1661 A β	0,1373 A α	0,1593 A β	0,2030 A α	0,1319 B α	0,2258 A α

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha (cultivares) e letras gregas na linha (regimes hídricos) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Comparando os regimes hídricos, observou-se que aos oito e aos dezesseis dias as plantas da cultivar BRS Korbél que foram submetidas à restrição hídrica

expressaram maior aporte de massa seca de raízes do que aquelas mantidas em capacidade de campo. Já ABI Rubi manteve valores próximos quando as plantas foram submetidas a ambos regimes hídricos. Imperatriz também apresentou maior aporte na massa seca de raízes quando as plantas foram expostas ao déficit hídrico comparado aquelas mantidas em condições ideais de irrigação, no período final de avaliação (Tabela 8).

A regulação da taxa de alocação de biomassa nos órgãos vegetais é considerada um dos mecanismos básicos de resposta ao estresse por restrição hídrica (BATOOL et al., 2019). Considerada com um indicador importante na capacidade das plantas em obter assimilados, a biomassa atua de maneira fundamental na morfologia das plantas e no desenvolvimento dos órgãos (JOHNSON et al., 2008). Nesse sentido, a taxa de alocação de biomassa dos órgãos vegetais está geralmente relacionada às condições ambientais a que as plantas estão submetidas e pode aumentar a tolerância destas ao estresse (YANWEN et al., 2020). Os padrões de distribuição de assimilados estão associados às condições hídricas existentes (IKEGAMI; WHIGHAM; WERGER, 2008) e a biomassa de raízes comumente aumenta em condições de deficiência hídrica (WANG et al., 2017), uma vez que a maior alocação de biomassa para raízes pode elevar a capacidade da planta de absorver água e nutrientes. No entanto, a maior alocação de biomassa para o sistema radicular pode acarretar em efeitos negativos sobre a alocação para parte aérea e órgãos reprodutivos, sendo esta uma resposta adaptativa das plantas às condições estressoras (BATOOL et al., 2019).

Analisando a massa seca total das plantas, foi possível observar um acréscimo nos resultados de todas as cultivares ao longo do tempo. Comparando as cultivares, observou-se que BRS Korbel expressou resultados mais pronunciados aos oito e doze dias, principalmente quando comparada a ABI Rubi (Figura 8a).

Com relação aos regimes hídricos, tanto as plantas mantidas sob capacidade de campo quando as submetidas à restrição hídrica apresentaram um aporte na massa seca total ao longo dos períodos de avaliação. Comparando as condições hídricas, observou-se que no período final de avaliação, plantas mantidas em capacidade de campo apresentaram valores superiores do que aquelas que permaneceram sob restrição hídrica (Figura 8b).

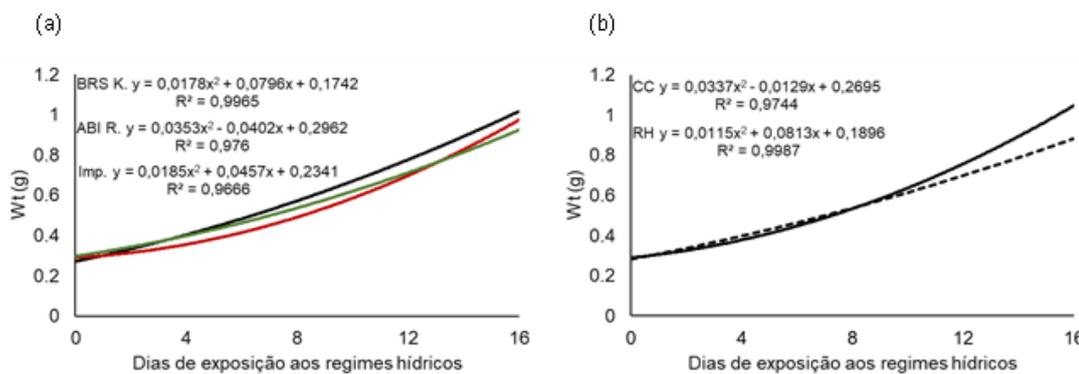


Figura 8 – Massa total de plantas de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos.

Sendo para interação apenas entre cultivares e dias de exposição aos regimes hídricos: BRS Korbel (—); ABI Rubi (—); Imperatriz (—); Para interação apenas entre regimes hídricos e dias de exposição: capacidade de campo (—); restrição hídrica (---).

Ademais, quando analisadas as cultivares em ambos regimes hídricos, se observou que ABI Rubi e Imperatriz expressaram maior aporte na massa seca total de plantas quando mantidas em capacidade campo, enquanto BRS Korbel não diferiu quanto aos regimes hídricos testados. As cultivares também diferiram entre si de acordo com cada condição hídrica imposta. Nesse caso, houve diferença apenas quando submetidas a restrição hídrica, em que BRS Korbel apresentou valores superiores aqueles obtidos por ABI Rubi e Imperatriz (Tabela 9).

Tabela 9 – Desdobramento da interação simples entre cultivares de cevada e regimes hídricos para a massa seca total. Capão do Leão, 2022.

Massa seca total		
Cultivar	Regime Hídrico	
	Capacidade de Campo	Restrição Hídrica
BRS Korbel	0,6068 Aa	0,6253 Aa
ABI Rubi	0,5917 Aa	0,5367 Bb
Imperatriz	0,6054 Aa	0,5506 Bb

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

A massa seca total das plantas resultou do somatório da massa seca de folhas, colmos e raízes. Nesse caso, as plantas que estavam sob déficit hídrico, principalmente em períodos mais avançados, apresentaram menor aporte de massa seca de folhas e colmos e maior aporte na massa seca de raízes. No entanto, a alocação de massa para cada órgão desempenha função distinta e contribui para maior ou menor tolerância das cultivares ao estresse.

Com relação a área foliar, observou-se que todas as cultivares quando mantidas em capacidade de campo apresentaram um acréscimo nos resultados ao longo do tempo de avaliação, no entanto, BRS Korbel expressou resultados progressivos ao longo do tempo, enquanto ABI Rubi e BRS Korbel obtiveram aumento de área foliar mais pronunciado a partir dos oito dias. Já quando submetidas a restrição hídrica, BRS Korbel e ABI Rubi expressaram aporte progressivo de área foliar no decorrer dos períodos de exposição, enquanto Imperatriz apresentou um aporte até o oitavo dia, com uma pequena queda nos valores dos resultados nos períodos subsequentes (Figura 9).

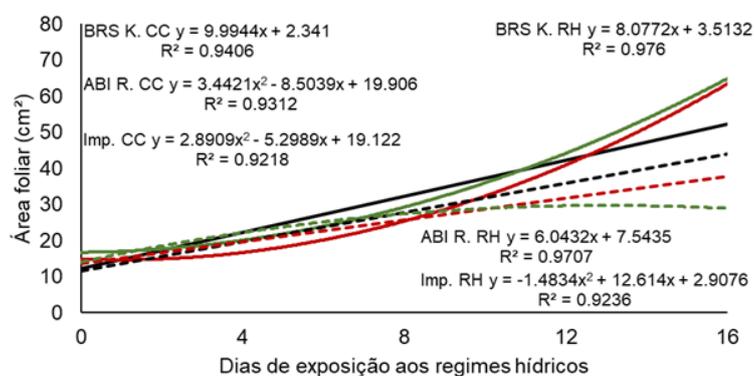


Figura 9 – Área foliar de plantas de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos.

Sendo para interação apenas entre cultivares e dias de exposição aos regimes hídricos: BRS Korbel (—); ABI Rubi (—); Imperatriz (—); Para interação apenas entre regimes hídricos e dias de exposição: capacidade de campo (—); restrição hídrica (---).

Quando mantidas em capacidade de campo, no último período de avaliação, as cultivares Imperatriz e ABI Rubi expressaram valores próximos entre si e que se sobressaíram aqueles obtidos por BRS Korbel. Já quando submetidas ao estresse hídrico, BRS Korbel obteve valores superiores aos alcançados pela cultivar Imperatriz, a partir dos doze dias de exposição à restrição hídrica. Quanto aos regimes hídricos, observou-se que todas as cultivares apresentaram valores superiores quando mantidas em capacidade de campo se comparadas àquelas submetidas à restrição hídrica, no último período de exposição às diferentes condições hídricas (Tabela 10).

Tabela 10 – Desdobramento da interação entre cultivares de cevada x regimes hídricos x períodos de exposição aos regimes hídricos para a área foliar. Capão do Leão, 2022.

Área foliar (cm ²)						
Regimes hídricos						
Períodos de exposição (dias)	Capacidade de campo			Restrição Hídrica		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	10,15 A α	11,92 A α	13,36 A α	10,94 A α	13,17 A α	12,78 A α
4	28,64 A α	27,71 A α	26,33 A α	20,06 A α	21,58 A α	25,10 A α
8	29,35 A α	27,76 A α	30,66 A α	26,87 A α	23,16 A α	26,25 A α
12	39,28 A α	32,73 A α	36,05 A α	41,86 A α	32,54 AB α	29,77 B α
16	54,61 B α	67,16 A α	68,73 A α	38,98 A β	37,91 AB β	28,26 B β

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha (cultivares) e letras gregas na linha (regimes hídricos) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com a redução do conteúdo de água nas plantas, as células se contraem e as paredes se afrouxam. Essa diminuição no volume celular resulta na menor pressão de turgor e na concentração de solutos nas células. Nesse caso, pela redução do turgor ser um dos efeitos iniciais do estresse hídrico nas células, as atividades que estão relacionadas ao turgor, como expansão foliar e alongamento das raízes, são mais sensíveis ao estresse e por isso respondem de forma mais pronunciada. A expansão foliar depende diretamente da expansão celular, logo, a restrição na expansão celular promove uma lentidão na expansão foliar, o que ocorre em decorrência do déficit hídrico. Uma área foliar menor possui menor transpiração, conservando assim um suprimento de água no solo por um período mais longo. Por isso, a redução da área foliar é considerada como a primeira linha de defesa contra a restrição hídrica (TAIZ; ZEIGER, 2017).

Quanto ao índice de clorofila *a*, observou-se que as cultivares apresentaram comportamento distinto ao longo do tempo de acordo com os regimes hídricos a que foram submetidas. Quando mantidas em capacidade de campo, apenas BRS Korbel apresentou aumento no índice de clorofila *a* ao longo dos dias de avaliação, enquanto as outras cultivares não apresentaram significância dos valores ao longo do tempo. Já quando submetidas a restrição hídrica, BRS Korbel apresentou elevação nos resultados até os oito dias e redução nos períodos subsequentes. ABI Rubi e Imperatriz apresentaram queda progressiva nos valores de clorofila *a* no decorrer do tempo a que foram expostas ao estresse (Figura 10a).

Quando mantidas em capacidade de campo, as cultivares apresentaram resultados relativos ao índice de clorofila *a* similares entre si. Quando submetidas à restrição hídrica, Imperatriz e ABI Rubi apresentaram valores próximos entre si e superiores a BRS Korbel até os quatro dias de exposição aos estresse (Tabela 11).

Quanto aos regimes hídricos, observou-se que a partir do oitavo dia de exposição às diferentes condições hídricas, a cultivar ABI Rubi apresentou valores superiores quando as plantas foram mantidas em capacidade de campo, se comparadas aquelas que permaneceram em restrição hídrica. Similarmente, Imperatriz apresentou resultados superiores quando mantida em capacidade de campo, a partir dos doze dias. Já BRS Korbel diferiu quanto aos regimes hídricos apenas no período final de avaliação, em que plantas mantidas em capacidade de campo apresentaram maior índice de clorofila *a* do que aquelas que permaneceram sob restrição hídrica (Tabela 11).

Tabela 11 – Desdobramento da interação entre cultivares de cevada x regimes hídricos x períodos de exposição aos regimes hídricos para o índice de clorofila *a*. Capão do Leão, 2022.

Clorofila <i>a</i>						
Regimes hídricos						
Períodos de exposição (dias)	Capacidade de campo			Restrição Hídrica		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	21,51 A α	21,91 A β	24,12 A α	20,58 B α	24,63 A α	25,28 A α
4	22,50 A α	23,42 A α	24,33 A α	22,40 B α	25,08 AB α	26,10 A α
8	22,25 A α	23,93 A α	23,18 A α	22,77 A α	20,44 A β	20,83 A α
12	23,46 A α	24,19 A α	24,21 A α	22,70 A α	20,19 A β	20,28 A β
16	24,22 A α	24,09 A α	24,47 A α	21,39 A β	19,06 A β	19,89 A β

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha (cultivares) e letras gregas na linha (regimes hídricos) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A deficiência hídrica nas espécies vegetais é ocasionada em decorrência do desbalanço hídrico, ou seja, quando a taxa de transpiração excede a taxa de absorção de água (COSTA et al., 2008). Como consequência, surgem várias alterações metabólicas, dentre elas a redução dos teores de pigmentos fotossintéticos por causa dos danos oxidativos (EGERT; TEVINI, 2002), que pode resultar em modificações nas quantidades de clorofilas (CAIRES et al., 2010). A redução de água durante o ciclo das plantas diminui a atividade enzimática da protoclorofila redutase, inibindo assim a conversão dos respectivos precursores em pigmentos fotossintéticos, sendo essa

diminuição elencada como a principal causa da menor produção nas culturas (FIAZ et al., 2014).

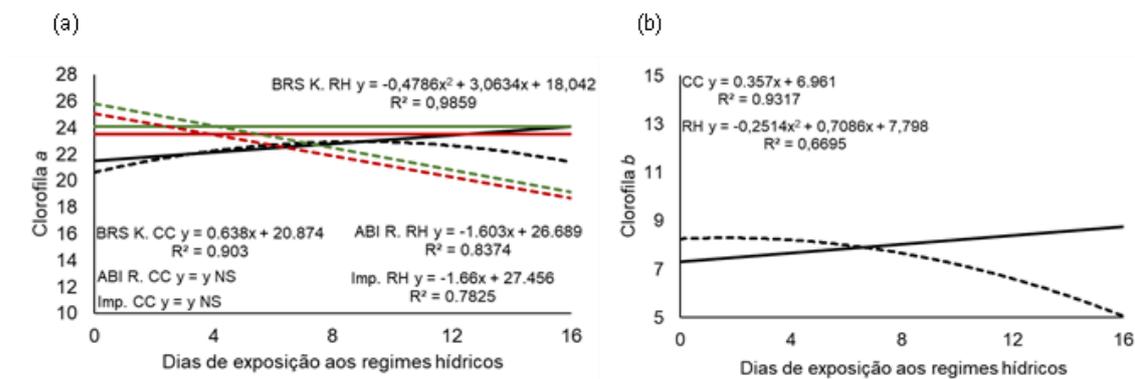


Figura 10 – Índices de clorofilas a e b de plantas de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos.

Sendo, para interação entre os fatores: BRS Korbel sob capacidade de campo (—); BRS Korbel sob restrição hídrica (---); ABI Rubi sob capacidade de campo (—); ABI Rubi sob restrição hídrica (---); Imperatriz sob capacidade de campo (—); Imperatriz sob restrição hídrica (---). Para interação apenas entre regimes hídricos e dias de exposição: capacidade de campo (—); restrição hídrica (---).

Com relação ao índice de clorofila b, houve interação significativa apenas entre os regimes hídricos e dias de exposição e para as cultivares e regimes hídricos. Nesse sentido, quando mantida a capacidade de campo as plantas expressaram crescimento progressivo ao longo do tempo. Já sob efeito do estresse, houve uma redução dos resultados ao longo do tempo. Até o quarto dia, plantas submetidas à restrição hídrica apresentaram valores pouco mais elevados comparados àquelas que permaneceram em capacidade de campo. Contudo, nos períodos finais de avaliação, observou-se comportamento contrário, em que as plantas mantidas sob condições ideais de irrigação apresentaram resultados superiores comparados aqueles obtidos pelas plantas que estavam sob estresse (Figura 10b).

Analisando as cultivares sob o efeito dos diferentes regimes hídricos, observou-se que BRS Korbel e Imperatriz apresentaram índices de clorofila b superiores quando as plantas foram mantidas em condições ideais de irrigação, se comparadas àquelas submetidas à restrição hídrica. Além disso, as cultivares diferiram entre si, apenas quando mantidas em capacidade campo, em que BRS Korbel e Imperatriz apresentaram valores superiores aqueles obtidos por ABI Rubi (Tabela 12).

A clorofila b atua auxiliando a absorção de luz, sendo incluída como um pigmento acessório, esta é considerada como um composto bioquímico, o qual está

presente no cloroplastos, sendo também associada diretamente com a produção de clorofila *a* (STREIT et al., 2005).

Tabela 12 – Desdobramento da interação simples entre cultivares de cevada e regimes hídricos para o índice de clorofila *b*. Capão do Leão, 2022.

Clorofila <i>b</i>		
Cultivar	Regime Hídrico	
	Capacidade de Campo	Restrição Hídrica
BRS Korbel	8,42 Aa	6,98 Ba
ABI Rubi	6,82 Ab	6,97 Aa
Imperatriz	8,86 Aa	7,52 Ba

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

Com relação a clorofila total, observou-se que a cultivar BRS Korbel apresentou acréscimo inicial ao longo dos primeiros períodos de avaliação, com decréscimo a partir do oitavo dia. Já ABI Rubi e BRS Korbel, apresentaram queda progressiva na clorofila total ao longo do tempo de avaliação, sendo, portanto, mais sensíveis. Entre as cultivares, constatou-se que Imperatriz apresentou resultados mais pronunciados frente especialmente a BRS Korbel, nos períodos iniciais de avaliação (Figura 11a).

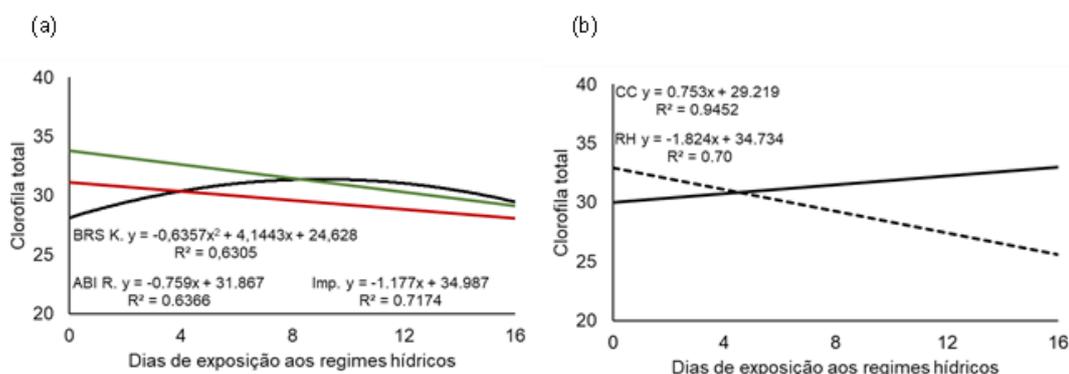


Figura 11 – Índice de clorofila total de plantas de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos. Sendo, para interação apenas entre cultivares e dias de exposição aos regimes hídricos: BRS Korbel (—); ABI Rubi (—); Imperatriz (—); Para interação apenas entre regimes hídricos e dias de exposição: capacidade de campo (—); restrição hídrica (---).

Com relação aos regimes hídricos, constatou-se que as plantas mantidas em capacidade de campo apresentaram um acréscimo progressivo na clorofila total ao longo do tempo de exposição, enquanto, as plantas submetidas à restrição hídrica apresentaram queda progressiva nos resultados obtidos de acordo com o aumento do tempo a que foram expostas ao estresse. A partir do oitavo dia de exposição às

diferentes condições hídricas, plantas mantidas em capacidade campo apresentaram valores superiores àquelas que permaneceram sob déficit hídrico (Figura 11b).

A perda de pigmentos e redução na capacidade fotossintética estão diretamente ligadas a ocorrência do estresse por restrição hídrica nas culturas e como consequência acarretam a modificação da quantidade de clorofila (CAIRES et al., 2010), sendo esta relacionada ao nível de déficit hídrico em que as plantas são expostas. Por isso, a quantificação de clorofila a, b e total, é considerada uma importante ferramenta para elucidar respostas relacionadas a atividade fotossintética das plantas, quando estas são expostas a diferentes condições ambientais (THIESEN et al., 2017).

3.4 Conclusões

A resposta das cultivares de cevada à restrição hídrica varia de acordo com os genótipos e tempo de ocorrência do estresse.

A suspensão hídrica a partir de oito dias, promove a redução do comprimento de parte aérea e do comprimento total das cultivares BRS Korbel e Imperatriz, além da redução da área foliar apenas da cultivar Imperatriz.

A restrição hídrica promove a redução da clorofila a, b e total de todas as cultivares.

A cultivar BRS Korbel apresenta maior comprimento de raízes quando submetida à deficiência hídrica prolongada.

As cultivares BRS Korbel e Imperatriz apresentam maior massa seca de raízes quando submetidas a restrição hídrica.

BRS Korbel não apresenta diferença entre regimes hídricos para a massa seca de folhas, colmos e massa seca total de plantas, o que pode ser considerado um indicativo de tolerância ao estresse.

4. Capítulo III – Metabolismo e desempenho inicial de cultivares de cevada sob restrição hídrica.

4.1 Introdução

Nativa do Oriente Médio, a cevada (*Hordeum vulgare*) é uma cultura anual, considerada como um dos alimentos mais ancestrais do planeta e categorizada como a primeira cultura domesticada do mundo (BOTHMER et al., 2003; SALES, 2010; TAVARES; SAYD, 2019). Sua importância está relacionada a sobrevivência das mais antigas civilizações, onde o cereal compunha a dieta que alimentava Hebreus, Gregos e Romanos, servindo como matéria-prima para produção de pães e bebidas fermentadas (BOTHMER et al., 2003).

Ao longo do tempo, o cultivo da cevada se difundiu pelas mais diversas regiões do planeta e a cultura alcançou o quarto lugar dentre aquelas mais importantes em termos de produção mundial e área colhida (FAOSTAT, 2018). Nesse sentido, o escoamento da produção, destina-se basicamente a dois grandes grupos, alimentação humana ou como forragem para o consumo animal (ZSCHOERPER, 2009). Em países da Europa e nos Estados Unidos, o cereal é amplamente empregado na fabricação de rações, sendo um substituto do milho (BOYLES et al., 2017). Já no Brasil, o escoamento principal da cevada é direcionado à indústria cervejeira, onde é utilizada na produção comercial do malte (DE MORI; MINELLA, 2012).

Nesse contexto, fatores genéticos e ambientais são encarregados pela regulação e expressão de características voltadas ao desenvolvimento e produtividade da cevada no campo, o que está diretamente relacionado ao escoamento da produção, para uso no processo de fabricação do malte, com a qualidade mínima prevista na legislação. Dentre os fatores ambientais, a ocorrência de estresses abióticos é, muitas vezes, decisiva nos aspectos de produção da espécie e pode resultar em alterações indesejáveis nas características das plantas.

Dentre os estresses abióticos, a restrição hídrica é considerada o principal

estresse ambiental capaz de influenciar negativamente o rendimento das espécies vegetais. Este é reconhecido como um problema mundial que torna-se cada dia mais grave devido à ocorrência das mudanças climáticas globais, o que resulta redução constante da produção das principais culturas e ameaça assim, a segurança alimentar do planeta (ANJUM et al., 2017; DASZKOWSKA-GOLEC, 2019).

O estresse é capaz de alterar a fenologia das plantas e até mesmo, inibir o crescimento e produtividade das mesmas, uma vez que é capaz de comprometer processos fisiológicos e bioquímicos essenciais, os quais incluem a fotossíntese, respiração, síntese de clorofila, transporte de íons, metabolismo de carboidratos, entre outros (ANJUM et al., 2017). Além destas, outras modificações importantes que ocorrem em vista do déficit hídrico e que correlacionam-se com os demais processos, referem-se ao estresse oxidativo e sistema antioxidante.

Nesse contexto, o estresse oxidativo pode ser conceituado como um desequilíbrio entre fatores oxidantes e antioxidantes. Dentre os oxidantes, destacam-se principalmente, as espécies reativas de oxigênio (ROS), as quais podem ser consideradas como formas excitadas ou parcialmente reduzidas de oxigênio, classificadas como subprodutos do metabolismo aeróbico vegetal e que são produzidas em organelas como mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos (APEL; HIRT 2004 ; GILL; TUTEJA, 2010; POTTERS et al., 2010).

A atuação das espécies reativas de oxigênio no metabolismo vegetal é bastante variável e depende diretamente da sua concentração. Quando os níveis são considerados baixos, as ROS agem nas respostas das plantas aos estresses ambientais, como na tradução de sinal, aclimatação e adaptação (DAT et al., 2000; FOYER; NOCTOR, 2009; POTTERS et al., 2010; SHARMA et al., 2012). Em contrapartida, níveis elevados de espécies reativas de oxigênio podem alterar o potencial redox das células, levando a oxidação de pigmentos fotossintéticos, proteínas, lipídeos de membranas e ácidos nucleicos, o que pode acarretar até na morte das células (HASANUZZAMAN et al., 2018).

Dessa forma, buscando se proteger do estresse oxidativo e prevenir a ocorrência de danos, as plantas desenvolveram estratégias que envolvem sistemas antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos. O sistema antioxidante enzimático é composto principalmente por enzimas como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX), as quais estão distribuídas em diferentes

compartimentos celulares e contribuem de formas distintas no controle das ROS em plantas (MITAHMAD et al., 2010; TLER, 2002;).

Outro mecanismo de tolerância das espécies vegetais ao estresse por restrição hídrica é o acúmulo de osmólitos, os quais possibilitam o melhor gerenciamento acerca da desidratação e integridade estrutural das membranas pelas células (LOUTFY et al., 2012). Nesse contexto, o ajuste osmótico em plantas condicionadas ao déficit hídrico vincula-se ao armazenamento de solutos orgânicos de baixo peso molecular, como polióis, aminoácidos e açúcares, os quais atuam nos processos de absorção e retenção de água (HUSSAIN et al., 2018; LOUTFY et al., 2012).

Em suma, a atividade destes mecanismos de defesa das plantas pode servir como indicadores dos níveis de estresse e da capacidade de tolerância e adaptação dos genótipos às condições de restrição hídrica. Por isso, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho fisiológico, enzimático e bioquímico de cultivares de cevada em resposta à restrição hídrica por diferentes períodos.

4.2 Material e métodos

O trabalho foi executado em casa de vegetação, localizada no campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas – RS, situada na latitude 31° 48' 15.12" S, longitude 52° 24' 55.1874" W e altitude de 13 m. As análises foram realizadas nos Laboratórios Didáticos de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas.

A semeadura foi efetuada em bandejas de polietileno preto, contendo como substrato solo do horizonte A1 de um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico, pertencente à unidade de mapeamento Pelotas (STRECK et al., 2008). Entretanto, antes da realização da semeadura o solo utilizado foi corrigido, conforme análise prévia e de acordo com as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2016).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x2x5 (3 cultivares x 2 regimes hídricos x 5 períodos de exposição aos regimes hídricos), com quatro repetições. Os tratamentos resultaram da combinação de 3 cultivares (BRS Korbel, ABI Rubi e Imperatriz), 2 regimes hídricos (capacidade de campo e restrição hídrica) e 5 períodos de exposição aos regimes

hídricos, os quais foram realizados a cada quatro dias (0, 4, 8, 12 e 16 dias a partir do início do estabelecimento dos diferentes regimes hídricos).

Após a semeadura em solo, o fornecimento de água para as plantas foi realizado a fim de que fosse mantida a umidade do solo próxima a capacidade de campo, com a realização de irrigações diárias. Aos 14 dias após a semeadura, foi imposta a suspensão da irrigação para os tratamentos que incluíam a restrição hídrica, enquanto os tratamentos controle foram mantidos sob capacidade de campo. A imposição dos diferentes regimes hídricos foi mantida pelo período de até 16 dias, com avaliações realizadas a cada quatro dias. O período de suspensão da irrigação foi determinado a partir do acompanhamento do teor relativo de água das folhas até que fossem alcançados valores próximos a 45 % (adaptado de KOCH, 2019). Para tanto, foram realizadas coletas sucessivas de folhas, com intervalos regulares de 48 horas. O teor relativo de água foi realizado de acordo com a metodologia proposta por Barrs (1962) e os resultados foram expressos em porcentagem.

Para caracterização do estande de plantas e vigor inicial das diferentes cultivares de cevada, foi realizado o teste de emergência de plântulas, o qual foi conduzido com quatro repetições de 100 sementes em bandejas de polietileno preto, contendo como substrato solo do horizonte A1 de um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico. Foram realizadas irrigações diárias e a avaliação ocorreu 14 dias após a semeadura, considerando o número de plântulas emergidas. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas emergidas (%).

A cada amostragem, foram coletadas 10 plantas por tratamento, as quais foram posteriormente separadas entre as diferentes estruturas (folhas, colmo e raízes). Para a obtenção da matéria seca, as amostras foram acondicionadas separadamente em envelopes de papel pardo e posteriormente submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada a temperatura de 70 ± 2 °C, até a massa constante. Os valores de massa seca foram obtidos através da aferição em balança de precisão e os resultados expressos em gramas por órgão (g órgão^{-1}).

Também foi analisada a área foliar de 10 plantas para cada tratamento. Para tanto, utilizou-se um medidor de área foliar modelo LI-3100, sendo os resultados expressos em centímetros quadrados por planta ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$).

Para avaliação da influência dos tratamentos no desempenho fisiológico das diferentes cultivares, a partir dos dados de matéria seca e área foliar, foram realizadas as seguintes análises:

Razão de área foliar: estimada a partir de quatro repetições de 10 plantas para cada tratamento. Para isso, empregou-se a equação $F_a = A_f/W_t$, onde A_f corresponde à área foliar e W_t corresponde à massa seca total da planta. Os resultados foram expressos em ($m^2 g^{-1}$).

Razão de massa foliar: estimada a partir de quatro repetições de 10 plantas para cada tratamento. Para tanto, empregou-se a equação $F_w = W_f/W_t$, onde W_f refere-se a massa seca alocada nas folhas e W_t corresponde a massa seca total da planta. Os resultados foram expressos em ($g g^{-1}$)

Partição de massa seca entre as diferentes estruturas da planta (folhas, colmo, raízes): determinada pela aferição da massa alocada em cada estrutura vegetal, com posterior transformação dos dados primários de alocação de massa seca de cada órgão para porcentagem.

Para a avaliação do efeito dos tratamentos no desempenho enzimático e bioquímico das plantas foram efetuadas as seguintes análises:

Atividade enzimática antioxidante: o sistema enzimático antioxidante foi avaliado quantitativamente por meio da atividade das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX). Para isso, primeiramente amostras de aproximadamente 250 mg de plântulas foram maceradas com nitrogênio líquido e polivinilpolipirrolidona 10%, sendo homogeneizadas em 1,5 mL do tampão de extração fosfato de potássio 100 mM pH 7,8, contendo EDTA 0,1 mM e ácido ascórbico 10 mM. Em seguida, o homogeneizado foi centrifugado a 13.000 x g, por 20 minutos, a 4 °C, procedendo-se na sequência a coleta do sobrenadante para determinação da atividade das enzimas pelo método de Bradford (1976).

A SOD (EC 1.15.1.1) foi avaliada através da sua capacidade de inibir a fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT) (GIANNOPOLIS; RIES, 1977), em um meio de reação formado por fosfato de potássio 100 mM pH 7,8, metionina 14 mM, EDTA 0,1 μ M, NBT 75 μ M e riboflavina 2 μ M. A placa contendo o meio de reação e a amostra foi iluminada por 10 minutos, com a utilização de 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. As leituras foram efetuadas a 560 nm e o cálculo da enzima foi realizado com base na equação: % de inibição = $(A_{560} \text{ amostra com extrato enzimático} - A_{560} \text{ controle sem enzima}) / (A_{560} \text{ controle sem enzima})$, considerando que uma unidade da SOD corresponde à quantidade de enzima capaz de inibir em 50

% a fotorredução do NBT nas condições de ensaio. Os resultados foram expressos em Umg-1 de proteína.

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

A CAT foi determinada de acordo com o proposto por Azevedo et al. (1998), embasando-se no consumo de H₂O₂ (coeficiente de extinção 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, os quais foram incubados a 28 °C. A atividade enzimática foi monitorada através do decréscimo na absorbância a 240 nm durante dois minutos. Os resultados foram expressos em μmol H₂O₂ min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

Conteúdo de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e peroxidação lipídica: para a determinação destes foram utilizados 250 mg de matéria fresca, a qual foi macerada em solução de ácido tricloroacético (TCA) a 0,1 %. Na sequência, o macerado foi centrifugado a 12.000 x g por 20 min, procedendo-se em seguida a transferência do sobrenadante para tubos do tipo *ependorf*.

O H₂O₂ foi determinado conforme Velikova et al. (2000). Para tanto, 0,5 mL do sobrenadante foram adicionados a 0,5 mL de tampão fosfato de potássio 10 mM (pH 7,0) e 1 mL de iodeto de potássio 1 M. As leituras foram efetuadas em espectrofotômetro a 390 nm e o teor de H₂O₂ foi calculado através da comparação das leituras com curva padrão, obtida a partir de concentrações conhecidas de H₂O₂. Os resultados foram expressos em μmol de uM.g⁻¹ MF.

A peroxidação lipídica foi determinada por meio da medição da concentração de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS), de acordo com o proposto por Cakmak e Horst (1991). Para isso, foram utilizados 250 μL do sobrenadante obtido acima, juntamente com 1 mL da solução composta de 0,5% (p/v) de ácido tiobarbitúrico (TBA) e 10% (p/v) de TCA. O TBA forma complexos de cor avermelhada com aldeídos de baixo peso molecular, como o malondialdeído (MDA), produto secundário do processo de peroxidação. O meio de reação foi incubado por 30 minutos a 95 °C, em seguida a reação foi paralisada utilizando resfriamento rápido em

banho de gelo. A absorvância das TBARS formadas foi determinada em espectrofotômetro a 535 nm e 600 nm e a concentração do complexo MDA/TBA foi calculada pela seguinte equação: $[MDA] = (A_{535} - A_{600})/(\xi \cdot b)$ onde: ξ : (coeficiente de extinção = $1,56 \times 10^{-5} \text{ cm}^{-1}$) e b: (comprimento ótico = 1). Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol de MDA/g}^{-1} \text{ MF}$.

Teores de açúcares solúveis totais e aminoácidos: primeiramente foi efetuada a extração de acordo com a metodologia adaptada de Bieleski e Turner (1966). Para tanto, amostras de 200 mg de material vegetal, foram maceradas em gral e homogeneizadas com 10 mL de solução extratora "MCW" (metanol: clorofórmio: água, na proporção de 12:5:3). Após o período de 24 horas, procedeu-se a centrifugação dos extratos por 30 minutos a 2500 rpm, sendo recuperada a fração sobrenadante. Para cada 4 mL do sobrenadante, foi acrescentado 1,0 mL de clorofórmio e 1,5 mL de água, os quais foram centrifugados novamente com o objetivo de fracionar a amostra em fases. O sobrenadante contendo os metabólitos foi coletado e transferido para banho-maria por 24 horas a 38 °C, para assim eliminar o resíduo de clorofórmio e promover a concentração das amostras para as quantificações dos teores de açúcar solúveis totais e aminoácidos.

A quantificação do teor de aminoácidos foi executada conforme Yemm e Cocking (1955). Para isso, 50 μL de cada amostra e de um branco composto por água destilada foram transferidos para tubos de ensaio, em seguida foram acrescentados 0,5 mL de tampão citrato (0,2 M pH 5,0); 0,2 mL do reativo de ninhidrina (5% em metilcelusolve) e 1 mL de KCN (2% v/v em metilcelusolve). Os tubos foram agitados e tapados com esferas de vidro, sendo transferidos para o banho-maria por 20 minutos a 100 °C. Na sequência, os tubos foram transferidos para um ambiente escuro até atingirem temperatura ambiente, quando então foram acrescentados aos recipientes 1,3 mL de etanol (60%) sendo estes novamente agitados. A densidade óptica (D.O) dos padrões foi mensurada por meio de espectrofotômetro a 570 nm. O teor total de aminoácidos solúveis foi expresso em $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ MF}$.

As dosagens dos teores de açúcares solúveis totais (AST) foram realizadas de acordo com o proposto por Grahmam e Smydzuk (1965). Para tanto, foram transferidas para tubos de ensaio previamente resfriados em banho de gelo, alíquotas de 0,02 mL de cada amostra, devidamente diluídas, de um branco e padrões (15-200 μg de glicose/mL). Na sequência, adicionou-se em cada tubo 3 mL de solução de antrona resfriada (0,15% em H₂SO₄ 70%). Os frascos foram imediatamente tapados

com esferas de vidro e, após 15 min de incubação, agitados e levados a banho-maria por 20 min a 90°C. Em seguida, os recipientes foram transferidos para o escuro até atingirem a temperatura ambiente, quando então, foram agitados e procedeu-se as leituras das densidades ópticas a 620 nm. O teor de açúcares solúveis totais foi expresso em mg. g⁻¹ MF.

Os dados foram submetidos à análise de variância, após procedeu-se a identificação da interação entre cultivares de cevada x regimes hídricos x períodos de exposição aos regimes hídricos a 5% de probabilidade pelo teste F. As interações significativas foram desmembradas aos efeitos simples para os fatores de variação qualitativos (cultivares x regimes hídricos), para o fator quantitativo (períodos de exposição aos regimes hídricos) procedeu-se a regressão linear e testou-se o maior grau significativo do polinômio, através do teste t a 5% de probabilidade, para cada nível dos fatores de variação. As interações não significativas foram desmembradas aos efeitos principais para cada fator separadamente.

4.3 Resultados e discussão

A partir da análise de variância foi constatada interação significativa entre os fatores cultivares, regimes hídricos e períodos de exposição, para as enzimas superóxido dismutase e catalase, além do peróxido de hidrogênio, açúcares solúveis totais e razão de área foliar. A interação entre os regimes hídricos e os períodos de exposição foi significativa para ascorbato peroxidase, peroxidação lipídica e teor de aminoácidos. Já a interação entre cultivares e regimes hídricos foi significativa para ascorbato peroxidase e para o teor de aminoácidos. Ademais, o percentual de emergência foi significativo apenas para cultivares, enquanto a razão de massa foliar foi significativa isoladamente para cultivares, regimes hídricos e períodos de exposição (Tabela 1).

Analisando os percentuais do teor relativo de água das folhas, observou-se que todas as cultivares testadas quando mantidas em capacidade de campo expressaram valores próximos a 90 %. Por outro lado, quando expostas a condição de restrição hídrica, as três cultivares expressaram uma queda no teor relativo de água ao longo do tempo em que permaneceram sob estresse. Percentuais próximos a 45% foram alcançados após dezesseis dias de deficiência hídrica, o que sugere a ocorrência do estresse nestas plantas (Figura 1).

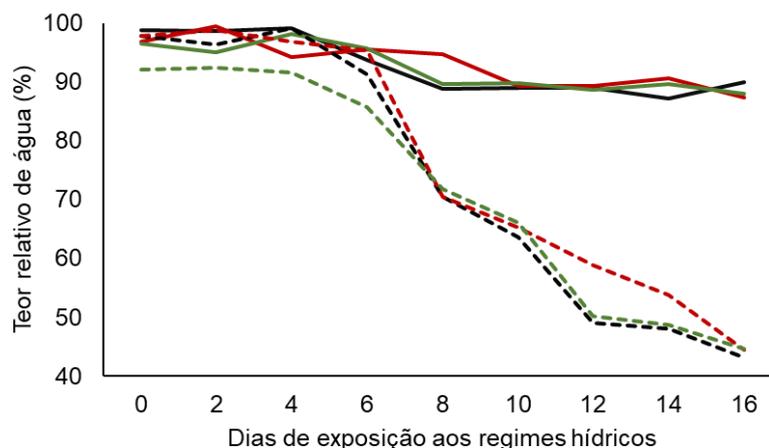


Figura 1 - Teor relativo de água de plantas provenientes de sementes de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos.

Sendo: BRS Korbel sob capacidade de campo (—); BRS Korbel sob restrição hídrica (---); ABI Rubi sob capacidade de campo (—); ABI Rubi sob restrição hídrica (---); Imperatriz sob capacidade de campo (—); Imperatriz sob restrição hídrica (---).

O fechamento estomático e o teor relativo de água são considerados respostas importantes das plantas com relação ao estresse hídrico (NEZHADAHMADI et al., 2013). Nesse sentido, o teor relativo de água costuma ser utilizado para refletir a atividade metabólica dos tecidos vegetais e a tolerância a desidratação (SALLAM et al., 2019). Quando submetidas a restrição hídrica moderada, as plantas geralmente reduzem a condutância estomática, mas permanecem com a condição hídrica da parte aérea ainda satisfatória, sendo esta a resposta primária contra o estresse (DAVIES; TARDIEU; TREJO, 1994; GOWING et al., 1990; XIONG et al., 2007). Já quando submetidas à deficiência hídrica severa, as plantas reduzem ainda mais a condutância estomática, a fim de limitar a transpiração e o teor relativo de água das folhas também diminui, o que afeta a absorção de nutrientes, podendo assim comprometer o crescimento e até a produtividade das culturas (ROSSINI et al., 2013; ZHANG et al., 2017).

Tabela 1. Resumo da análise de variância com os quadrados médios da emergência (E), superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX), peróxido de hidrogênio (peróxido), peroxidação lipídica (peroxidação), açúcares solúveis totais (AST), aminoácidos, razão de área foliar (Fa) e razão de massa foliar (Fw). Capão do Leão, 2022.

F.V.	G.L.	E	Fa	Fw	SOD	CAT	APX	PERÓXIDO	PEROXIDAÇÃO	AST	AMINOÁCIDOS
Cultivar (C)	2	139.3583*	2.324E-007 ^{ns}	0.009455161*	0.000349325 ^{ns}	7.779776E-006*	0.001179673 ^{ns}	0.1832058*	0.000461391*	4.356149*	241.1576*
Períodos de exposição aos RH (P)	4	5.5625 ^{ns}	1.204E-005*	0.02143052*	0.1424631*	6.173123E-005*	0.0141505*	0.08079164*	4.854118E-005 ^{ns}	39.65577*	109.7076*
Regimes hídricos (RH)	1	2.7 ^{ns}	1.913E-005*	0.02168873*	0.4456965*	0.0001554736*	0.1539008*	0.01327624 ^{ns}	0.002781759*	192.0285*	656.8595*
C x P	8	5.05625 ^{ns}	1.428E-006 ^{ns}	0.003181904 ^{ns}	0.002442198*	1.588399E-006 ^{ns}	0.00035 ^{ns}	0.03588685 ^{ns}	2.518276E-005 ^{ns}	1.665476*	28.263 ^{ns}
RH x P	4	2.054167 ^{ns}	5.135E-006*	0.00152418 ^{ns}	0.10217*	2.233186E-00*	0.014820*	0.04566737 ^{ns}	0.000320231*	36.2476*	230.9644*
C x RH	2	7.525 ^{ns}	1.543E-006 ^{ns}	0.003568189 ^{ns}	0.00058*	1.369227E-005*	0.00182*	0.0608878*	0.000109137 ^{ns}	7.013551*	120.088*
C x RH x P	8	2.722917 ^{ns}	2.760E-006*	0.00182646 ^{ns}	0.002805*	3.726868E-006*	0.0001482139 ^{ns}	0.1143578*	2.535245E-005 ^{ns}	2.169766*	23.02061 ^{ns}
Resíduo	87	13.24713	1.325-006	0.001838417	0.003944372	1.485928E-006	0.0004742618	0.02571689	7.781912E-005	0.7612679	17.1372
CV (%)		3,79	22,87	7,63	21,16	16,37	16,31	6,26	28,80	19,57	20,07

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. F.V. – fatores de variação; G.L. – graus de liberdade; CV – coeficiente de variação.

Analisando o percentual de emergência de plântulas, constatou-se diferença entre as cultivares. Contudo, apesar da diferença, todas as cultivares apresentaram percentual de emergência elevado, a partir de 95%. No entanto, Imperatriz apresentou resultados superiores frente à BRS Korbel e ABI Rubi, as quais não diferiram entre si (Tabela 2). A emergência rápida e uniforme auxilia na redução de exposição de sementes e plântulas a fatores adversos. Nesse contexto, o percentual elevado das cultivares corroborou para a obtenção de respostas mais efetivas com relação a restrição hídrica, uma vez que as sementes e plântulas, não permaneceram sujeitas a estresses que se oportunizam desse processo inicial de estabelecimento das plantas.

Tabela 2 – Percentual de emergência de diferentes cultivares de cevada. Capão do Leão, 2022.

Percentual de emergência	
Cultivares	
BRS Korbel	95 B
ABI Rubi	96 B
Imperatriz	99 A

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Analisando a razão de área foliar (Fa), observou-se diferença entre os resultados ao longo do tempo de avaliação apenas para BRS Korbel quando mantida em capacidade de campo e Imperatriz quando submetida a restrição hídrica. Ambas apresentaram crescimento até determinado ponto com queda posterior. Nesse caso, BRS Korbel apresentou valores máximos aos oito dias de avaliação. Já Imperatriz expressou maior razão de área foliar aproximadamente aos seis dias de exposição ao estresse (Figura 2a).

Os valores da razão de área foliar estão atrelados a proporção de assimilados direcionados para a formação de folhas, o que costuma ocorrer em maior abundância no início do ciclo, em razão de serem o dreno metabólico preferencial (AUMONDE et al., 2011). Contudo, o decréscimo nos valores pode estar relacionado com o aumento de tecidos não fotossintetizantes (LOPES; LIMA, 2015) ou então com as condições de ambiente, em que condições de estresse podem modificar a preferência dos drenos metabólicos. Tais razões para o decréscimo dos valores de Fa podem, nesse caso serem relacionadas com o comportamento expresso pelas cultivares BRS Korbel quando mantida em capacidade de campo e da cultivar Imperatriz quando submetida

a restrição hídrica, as quais apresentaram valores de máxima com posterior decréscimo. Nesse sentido, vale ainda destacar que a característica intrínseca a cada cultivar permite essa ocorrência de respostas distintas a uma mesma situação, o que pode ser atrelado a maior tolerância ou sensibilidade ao estresse.

Observando as cultivares, em condições ideais de irrigação BRS Korbel apresentou maior razão de área foliar aos quatro dias de avaliação, principalmente comparada a ABI Rubi. Já quando submetidas a restrição hídrica, ABI Rubi apresentou valores mais pronunciados frente à Imperatriz no período final de avaliação. Com relação aos regimes hídricos, BRS Korbel apresentou valores mais pronunciados para a razão de área foliar quando as plantas foram mantidas em capacidade de campo, se comparadas àquelas submetidas à restrição hídrica. Similarmente, Imperatriz apresentou resultados mais elevados também quando mantida a capacidade de campo, porém, no período final de avaliação (Tabela 3).

Tabela 3 – Razão de área foliar de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos. Capão do Leão, 2022.

Razão de área foliar (m ² g ⁻¹)						
Regimes hídricos						
Períodos de exposição (dias)	Capacidade de campo			Restrição Hídrica		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	0,0037 A α	0,0044 A α	0,0047 A α	0,0038 A α	0,0048 A α	0,0044 A α
4	0,0080 A α	0,0055 B α	0,0062 AB α	0,0051 A β	0,0056 A α	0,0066 A α
8	0,0051 A α	0,0050 A α	0,0050 A α	0,0042 A α	0,0049 A α	0,0046 A α
12	0,0052 A α	0,0054 A α	0,0055 A α	0,0052 A α	0,0049 A α	0,0047 A α
16	0,0052 A α	0,0059 A α	0,0065 A α	0,0039 AB α	0,0044 A α	0,0023 B β

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha (cultivares) e letras gregas na linha (regimes hídricos) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O aumento dos valores da razão de área foliar em plantas mantidas em capacidade de campo em vista daquelas que foram submetidas à restrição hídrica, indicam uma alteração entre o acúmulo de massa seca e a área foliar em decorrência do estresse.

Para a razão de massa foliar (Fw), houve significância apenas quando analisado cada fator separadamente. Nesse sentido, avaliado o comportamento das plantas ao longo do tempo, observou-se um ajuste ao modelo quadrático com aumento até os doze dias e posterior estagnação, com valores que alcançaram aproximadamente 0,58 (g g⁻¹) (Figura 2b).

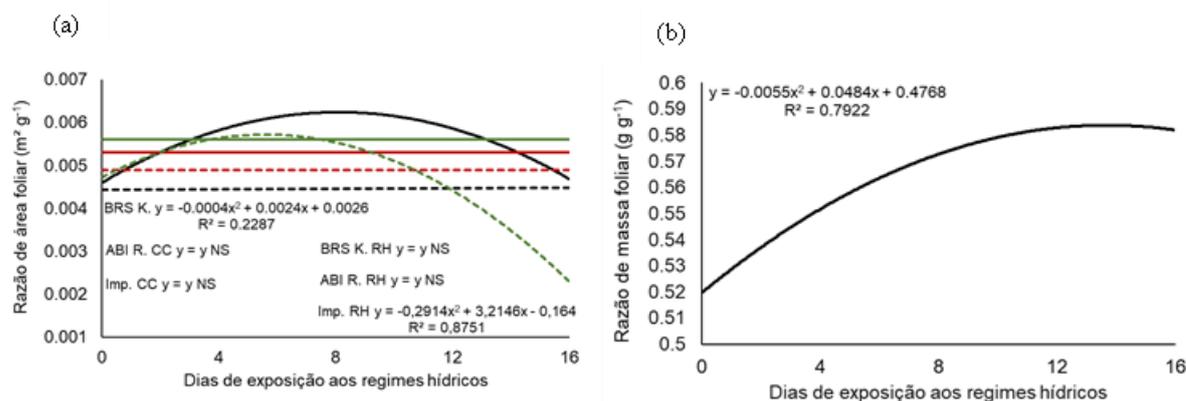


Figura 2 – Razão de área foliar e razão de massa foliar de plantas provenientes de sementes de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos. Sendo: BRS Korbel sob capacidade de campo (—); BRS Korbel sob restrição hídrica (---); ABI Rubi sob capacidade de campo (—); ABI Rubi sob restrição hídrica (---); Imperatriz sob capacidade de campo (—); Imperatriz sob restrição hídrica (---).

Com relação às cultivares, constatou-se que Imperatriz apresentou resultados superiores frente à BRS Korbel, enquanto ABI Rubi expressou valores intermediários não diferindo de ambas cultivares (Tabela 4). Já quanto aos regimes hídricos, foi possível observar que as plantas mantidas em capacidade campo apresentaram razão de massa foliar superior frente àquelas que foram submetidas à restrição hídrica (Tabela 5).

Tabela 4 – Razão de massa foliar de diferentes cultivares de cevada. Capão do Leão, 2022.

Razão de massa foliar ($g g^{-1}$)	
Cultivares	
BRS Korbel	0,5445 B
ABI Rubi	0,5740 AB
Imperatriz	0,5667 A

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 5 – Razão de massa foliar de cevada em diferentes regimes hídricos. Capão do Leão, 2022.

Razão de massa foliar ($g g^{-1}$)	
Cultivares	
Capacidade de campo	0,5752 a
Restrição hídrica	0,5483 b

*Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas não diferem nas colunas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

As folhas são o centro de produção de matéria seca por meio do processo de fotossíntese, sendo o restante da planta dependente da exportação dessa fitomassa. Nesse caso, a razão de massa foliar corresponde a fração de matéria seca não exportada (PEIXOTO, 2020). Nesse sentido, a cultivar BRS Korbel apresentou menor razão de massa foliar, o que sugere que esta reteve menos fitomassa nas folhas que Imperatriz, apontando a ocorrência de um investimento maior em outros produtos não relacionados com a produção de biomassa foliar.

De acordo com Nobre et al. (2013), a restrição hídrica pode comprometer o desenvolvimento, crescimento e produtividade das plantas. Nesse contexto, as plantas de cevada expressaram menor Fw quando submetidas às condições de estresse, o que demonstra menor alocação de massa nas folhas em detrimento de estruturas como as raízes, por exemplo, a fim de obter maior absorção de água para manter a turgescência celular.

Analisando a partição de massa seca entre as diferentes estruturas das plantas, constatou-se que para as três cultivares testadas, o particionamento de assimilados para as raízes foi mais intenso quando as plantas foram submetidas à restrição hídrica a partir de quatro dias, comparativamente àquelas mantidas em capacidade de campo (Figura 3).

De acordo com Méier et al. (2018), em situação de restrição hídrica as plantas tendem a direcionar mais assimilados para as raízes, a fim de proporcionar maior crescimento e aumentar a capacidade do sistema radicular em acessar e absorver água. Estudos relacionados aos padrões de crescimento de plantas, constataram um aumento na proporção raiz/parte aérea das plantas quando estas foram submetidas ao estresse por restrição hídrica.

Nesse contexto, Boudiar et al. (2020) avaliando o efeito da deficiência hídrica em genótipos de cevada, observaram que quando submetidos ao estresse alguns genótipos apresentaram maior partição de assimilados para as raízes, enquanto outros investiram mais em parte aérea, o que demonstra uma diversidade na dinâmica de crescimento da cevada.

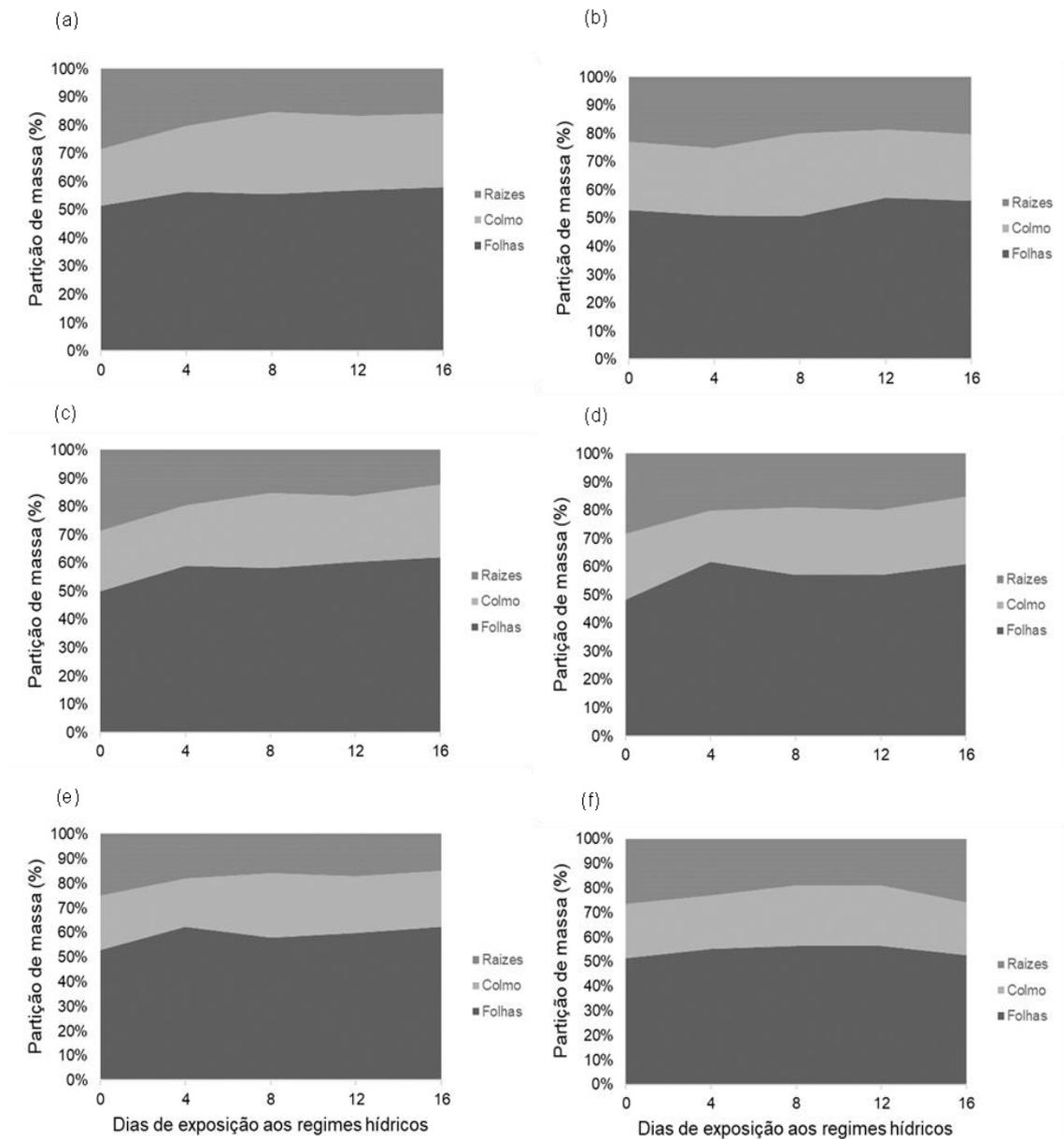


Figura 3 - Partição de massa seca em plantas de cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos.

Sendo: BRS Korbel – capacidade de campo (a), BRS Korbel – restrição hídrica (b), ABI Rubi – capacidade de campo (c) ABI Rubi – restrição hídrica (d) Imperatriz – capacidade de campo (e) e Imperatriz – restrição hídrica (f).

Analisando a atividade enzimática da superóxido dismutase (SOD), foi possível constatar que as cultivares apresentaram diferenças nos valores ao longo do tempo, apenas quando submetidas a restrição hídrica. Nesse caso, BRS Korbel e ABRI Rubi apresentaram aumento mais pronunciado no conteúdo de SOD nos períodos finais de avaliação. Já Imperatriz, apresentou uma tendência crescente ao longo dos dias de suspensão hídrica, alcançando cerca de 0,33 U.mg⁻¹ Prot. aos dezesseis dias (Figura 4a).

Quando comparadas as cultivares, observou-se que quando submetidas a restrição hídrica por doze dias, a cultivar Imperatriz destacou-se frente às demais. Por outro lado, aos dezesseis dias de restrição hídrica, as cultivares BRS Korbel e ABI Rubi destacaram-se frente à Imperatriz. Com relação aos regimes hídricos, observou-se que a partir dos quatro dias de exposição, a cultivar BRS Korbel expressou maior atividade enzimática de SOD quando submetida a restrição hídrica se comparada a capacidade de campo. Similarmente, as cultivares ABI Rubi e Imperatriz expressaram maior atividade enzimática de SOD quando submetidas a restrição hídrica se comparadas a capacidade de campo, especialmente nos períodos mais prolongados de estresse (Tabela 6).

Tabela 6 – Desdobramento da interação entre cultivares de cevada x regimes hídricos x períodos de exposição aos regimes hídricos para atividade enzimática de superóxido dismutase (SOD). Capão do Leão, 2022.

Superóxido dismutase (U.mg-1 Prot.)						
Regimes hídricos						
Períodos de exposição (dias)	Capacidade de campo			Restrição Hídrica		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	0,0838 A α	0,0736 A α	0,0807 A α	0,0897 A α	0,0771 B α	0,0828 AB α
4	0,0839 A β	0,1035 A α	0,0962 A α	0,1361 A α	0,1092 A α	0,1131 A α
8	0,0884 A β	0,1035 A α	0,1050 A α	0,1768 A α	0,1485 A α	0,1328 A α
12	0,1109 A β	0,1162 A β	0,1073 A β	0,3403 B α	0,3500 B α	0,4211 A α
16	0,1162 A β	0,1100 A β	0,1032 A β	0,3927 A α	0,4187 A α	0,3218 B α

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha (cultivares) e letras gregas na linha (regimes hídricos) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O estresse por restrição hídrica pode induzir o acúmulo de espécies reativas de oxigênio, as quais são moléculas parcialmente reduzidas ou formar excitadas de oxigênio (HALLIWELL; GUTTERIDGE, 2015; PER et al., 2017; SINGH et al. 2017; TANG et al., 2017) que quando em proporções exacerbadas são altamente reativas e tóxicas, podendo ocasionar danos a proteínas, membranas celulares e até em moléculas de DNA (CHOUDHURY et al., 2017) Nesse contexto, os mecanismos de defesa antioxidantes enzimáticos, os quais incluem, dentre outras, as enzimas superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase, atuam na eliminação de ROS e redução dos danos provocadas por essas moléculas (DEMIDCHIK, 2015; RACCHI, 2013; RAO; CHAITANYA, 2016). Por isso, como uma ação de defesa contra o estresse, as plantas quando submetidas a situações de deficiência hídrica aumentam o conteúdo de enzimas do sistema antioxidante, o que corrobora com o observado,

em que as cultivares de cevada apresentaram um aumento no conteúdo de SOD quando submetidas a restrição hídrica, especialmente quando imposta por períodos prolongados.

Para a enzima catalase (CAT), observou-se que as cultivares apresentaram comportamento distintos, de acordo com o regime hídrico a que foram submetidas e com o tempo de exposição. Quando mantidas em capacidade de campo, apenas ABI Rubi apresentou diferença na atividade enzimática de CAT de acordo com os períodos de avaliação. A cultivar apresentou valores máximos aproximadamente aos dez dias, com redução nos períodos subsequentes. Já quando submetidas a restrição hídrica, ABI Rubi e Imperatriz apresentaram valores máximos aproximadamente aos dez dias de exposição ao estresse, enquanto BRS Korbel apresentou valores máximos aos dezesseis dias de avaliação (Figura 4b).

Analisando o comportamento entre cultivares, observou-se que quando mantida a capacidade de campo, a cultivar ABI Rubi apresentou valores mais pronunciados do que aqueles obtidos por Imperatriz, a partir dos oito e até os doze dias. Já quando imposta a suspensão hídrica, Imperatriz destacou-se aos oito e doze dias de avaliação. Analisando o comportamento entre regimes hídricos, constatou-se que todas as cultivares submetidas a restrição hídrica apresentaram valores mais elevados na atividade de CAT se comparados àqueles obtidos pelas plantas que foram mantidas em capacidade de campo, especialmente a partir dos oito dias de avaliação (Tabela 7).

Tabela 7 – Desdobramento da interação entre cultivares de cevada x regimes hídricos x períodos de exposição aos regimes hídricos para atividade enzimática de catalase (CAT). Capão do Leão, 2022.

Catalase ($\mu\text{mol Asc mg Prot. min}$)						
Regimes hídricos						
Capacidade de campo				Restrição Hídrica		
Períodos de exposição (dias)	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	0,0049 A α	0,0055 A α	0,0049 A α	0,0045 A α	0,0050 A α	0,0050 A α
4	0,0066 A α	0,0065 A α	0,0061 A α	0,0061 A α	0,0081 A α	0,0071 A α
8	0,0068 B β	0,0089 A α	0,0053 B β	0,0092 B α	0,0106 B α	0,0129 A α
12	0,0059 A β	0,0074 A β	0,0067 B β	0,0092 B α	0,0103 A $B\alpha$	0,0114 A α
16	0,0063 A β	0,0068 A β	0,0058 A β	0,0098 A α	0,0089 A α	0,0105 A α

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha (cultivares) e letras gregas na linha (regimes hídricos) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

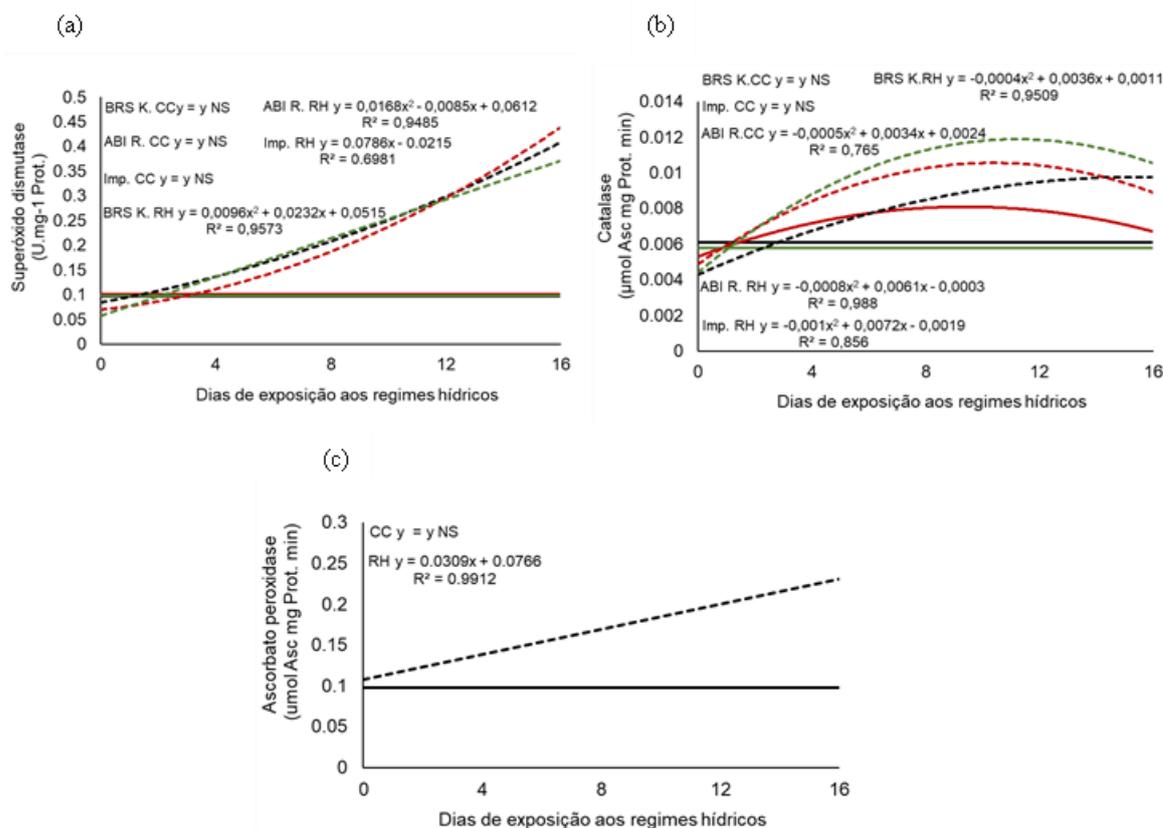


Figura 4 – Superóxido dismutase, catalase e ascorbato peroxidase de plantas de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos. Sendo, para interação entre os fatores: BRS Korb sob capacidade de campo (—); BRS Korb sob restrição hídrica (---); ABI Rubi sob capacidade de campo (—); ABI Rubi sob restrição hídrica (---); Imperatriz sob capacidade de campo (—); Imperatriz sob restrição hídrica (---). Para interação apenas entre regimes hídricos e dias de exposição: capacidade de campo (—); restrição hídrica (---).

A catalase é uma das principais enzimas que trabalha eliminando o H₂O₂, atuando nos peroxissomos e glioxissomos, sendo encontradas também nas mitocôndrias, onde realiza a conversão de duas moléculas de H₂O₂ a H₂O e oxigênio molecular (BARBOSA et al., 2014; DUBEY, 2011). Nesse contexto, a redução da enzima nas cultivares ABI Rubi e Imperatriz quando submetidas ao estresse por períodos mais prolongados pode indicar que o H₂O₂ produzido nas situações de estresse severo pode ter sido consumido em processos oxidativos, como na peroxidação de lipídios, do que eliminado pela enzima catalase (MORO; BROETO; MORO, 2015). Além disso, vale salientar o comportamento distinto entre as cultivares, uma vez que BRS Korb apresentou aumentos progressivos na atividade da enzima ao longo do tempo de exposição à restrição hídrica, apesar de ter expressado resultados inferiores em relação às demais cultivares. Contudo, apesar da diferença entre cultivares, todas apresentaram valores mais elevados de CAT quando submetidas ao estresse se comparadas aquelas plantas mantidas em condições

ideais de irrigação, o que demonstra a atuação da enzima, mesmo que de maneira distinta em cada genótipo.

Os valores para a enzima ascorbato peroxidase (APX), foram significativos apenas para a interação entre regimes hídricos e tempo de exposição e entre cultivares e regimes hídricos. Nesse sentido, houve diferença nos valores para a atividade enzimática de APX ao longo do tempo, apenas quando as plantas foram submetidas à restrição hídrica, as quais apresentaram crescimento progressivo no decorrer do tempo de exposição ao estresse. Ademais, plantas submetidas à restrição hídrica apresentaram resultados superiores quando comparados com aquelas que permaneceram em capacidade de campo (Figura 4c).

Além disso, as cultivares diferiram entre si conforme a condição hídrica imposta. Nesse caso, quando mantida a capacidade de campo ABI Rubi apresentou valores superiores comparados àqueles alcançados pela cultivar Imperatriz, enquanto BRS Korbel apresentou valores intermediários. Já quando submetidas ao estresse hídrico, BRS Korbel apresentou valores mais elevados frente à ABI Rubi, ao passo que Imperatriz expressou resultados intermediários (Tabela 8).

Tabela 8 – Desdobramento da interação simples entre cultivares de cevada e regimes hídricos para a atividade de ascorbato peroxidase (APX). Capão do Leão, 2022.

Cultivar	APX (umol Asc mg Prot. min)	
	Regime Hídrico	
	Capacidade de Campo	Restrição Hídrica
BRS Korbel	0,1002 Bab	0,1780 Aa
ABI Rubi	0,1050 Ba	0,1611 Ab
Imperatriz	0,0878 Bb	0,1688 Aab

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

As APXs são consideradas as enzimas de maior importância quando relacionadas a eliminação de H₂O₂ no citosol e nos cloroplastos (INZÉ; MONTAGU, 1995). Esta utiliza o ascorbato como doador de elétrons específicos para reduzir o H₂O₂ a água, formando parte do ciclo denominado de ciclo das ascorbato-glutationa (INZÉ; MONTAGU, 1995; SHIGEOKA et al., 2002). Segundo Polle (2001) este ciclo é considerado uma via eficiente de células de plantas que possuem H₂O₂ em compartimentos onde não existe a presença da catalase, como nos cloroplastos, por exemplo.

Nesse sentido, a atividade da enzima foi constatada para todas as cultivares analisadas em detrimento do estresse hídrico, contudo este não é um padrão que pode ser generalizado, uma vez que cada genótipo pode responder de maneira distinta de acordo com as condições impostas. Nesse caso, quando submetidas a restrição hídrica BRS Korbel apresentou resultados superiores na atividade de APX, enquanto Imperatriz expressou atividade mais elevada de CAT e valores pronunciados também para a atividade enzimática de APX, o que pode ser vinculado a maior tolerância da cultivar ao estresse.

Ainda sobre a resposta enzimática da cevada a restrição hídrica, Huseynova et al. (2014) observaram que o estresse proporcionou o aumento da atividade de enzimas como catalase e superóxido dismutase em genótipos avaliados, enquanto a atividade de ascorbato peroxidase reduziu. Tais resultados evidenciam a diferença de comportamento entre genótipos em razão das condições hídricas impostas.

Analisando os resultados relativos ao peróxido de hidrogênio (H_2O_2), foi possível constatar que quando mantida a capacidade de campo apenas a cultivar ABI Rubi apresentou valores que distinguiram ao longo do tempo de avaliação. A cultivar nessa condição hídrica expressou valores máximos no período de zero dias, com redução nos dias subsequentes e posterior aumento no último período de avaliação. Já quando submetidas a restrição hídrica, as cultivares apresentaram comportamento variado. Nesse caso, BRS Korbel apresentou tendência crescente ao longo dos períodos de exposição ao estresse, alcançando aproximadamente $2,80 \mu M.g^{-1} MF$ aos dezesseis dias. ABI Rubi, diferente de quando mantida em capacidade de campo, não apresentou diferença pronunciada nos valores relativos ao peróxido de hidrogênio quando imposta a restrição hídrica em diferentes períodos. Já Imperatriz, apresentou valores máximos no dia zero de exposição com posterior queda nos resultados e um aumento, mesmo que pouco pronunciado, no último período de avaliação (Figura 5a).

Entre as cultivares, observou-se que quando mantidas as condições ideais de irrigação, ABI Rubi apresentou valores pouco mais pronunciados do que aqueles obtidos por BRS Korbel e Imperatriz, no primeiro e último período de avaliação. Em condições de estresse, ABI Rubi destacou-se, principalmente se comparada à Imperatriz. Com relação aos regimes hídricos, BRS Korbel apresentou resultados mais pronunciados quando submetida a restrição hídrica prolongada, se comparada às plantas que permaneceram em capacidade de campo. ABI Rubi também apresentou valores superiores quando exposta às condições estressoras, aos quatro

dias. Imperatriz, por outro lado, apresentou resultados bastante próximos para ambas as condições hídricas (Tabela 9).

Tabela 9 – Desdobramento da interação entre cultivares de cevada x regimes hídricos x períodos de exposição aos regimes hídricos para o conteúdo de peróxido de hidrogênio. Capão do Leão, 2022.

Peróxido de hidrogênio (uM.g-1 MF)						
Períodos de exposição (dias)	Regimes hídricos					
	Capacidade de campo			Restrição Hídrica		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	2,55 B α	2,84 A α	2,53 B α	2,49 A α	2,70 A α	2,62 A α
4	2,52 A α	2,36 A α	2,58 A α	2,35 B α	2,69 A β	2,37 B α
8	2,58 A α	2,61 A α	2,58 A α	2,72 A α	2,78 A α	2,37 B α
12	2,61 A α	2,55 A α	2,60 A α	2,63 A α	2,62 A α	2,39 A α
16	2,34 B β	2,66 A α	2,35 B α	2,78 A α	2,51 A α	2,57 A α

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha (cultivares) e letras gregas na linha (regimes hídricos) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

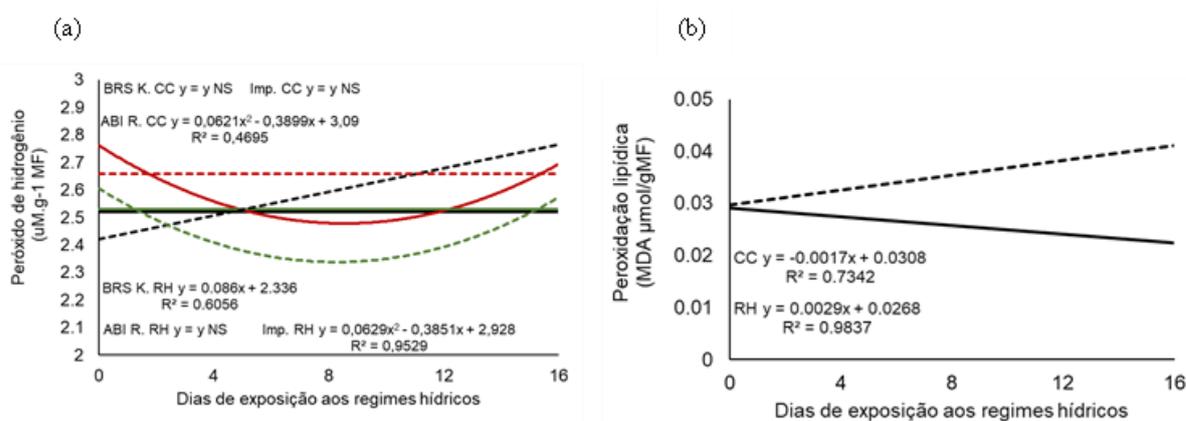


Figura 5 – Peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica de plantas de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos.

Sendo, para interação entre os fatores: BRS Korbel sob capacidade de campo (—); BRS Korbel sob restrição hídrica (---); ABI Rubi sob capacidade de campo (—); ABI Rubi sob restrição hídrica (---); Imperatriz sob capacidade de campo (—); Imperatriz sob restrição hídrica (---). Para interação apenas entre regimes hídricos e dias de exposição: capacidade de campo (—); restrição hídrica (---).

O peróxido de hidrogênio possui uma dupla função nas plantas. Quando em baixas concentrações, este atua como uma molécula envolvida na tolerância ao estresse, desencadeando mecanismos sinalizadores para aclimação às condições estressoras. Já quando em altas concentrações, o H_2O_2 pode acarretar em danos às plantas, levando à morte celular programada (GILL; TUTEJA, 2010). Nesse sentido, teores menores de H_2O_2 como índices de estresse em genótipos tolerantes à restrição hídrica podem contribuir para maior atividade de enzimas antioxidantes. Nesse caso,

pode-se inferir que genótipos mais tolerantes possuem um sistema de defesa antioxidante eficiente, o qual protege as células contra o estresse oxidativo (NASIRZADEH et al., 2021).

A ascorbato peroxidase é considerada uma das enzimas importantes na eliminação do H_2O_2 , contudo as cultivares responderam de maneira distinta se comparada a atividade enzimática de APX e o conteúdo de peróxido de hidrogênio em condições de estresse. Nesse caso, BRS Korbel, por exemplo, apresentou maior atividade de APX quando submetida à restrição hídrica, porém, houve um aumento contínuo de H_2O_2 , indicando que a atividade enzimática não foi suficiente para reduzir o H_2O_2 .

Avaliando a peroxidação lipídica, houve interação significativa apenas entre regimes hídricos e períodos de exposição. Quando mantida a capacidade de campo os resultados apresentaram queda progressiva no decorrer do tempo de avaliação. Por outro lado, quando expostas às condições de estresse, as plantas apresentaram valores crescentes ao longo do tempo. Com isso, observou-se que plantas submetidas à restrição hídrica apresentaram valores superiores comparados com aqueles alcançados quando foi mantida a capacidade de campo (Figura 5b).

A peroxidação lipídica tem sido vastamente empregada como um indicador de danos às membranas celulares em plantas submetidas à deficiência hídrica. Esses danos são definidos pela atuação de espécies reativas de oxigênio em ácidos graxos polinsaturados das membranas, o que pode comprometer a integridade e funcionalidade das células, além de ocasionar outros prejuízos irreversíveis (GRATÃO et al., 2005). Nesse contexto, as respostas das espécies vegetais por meio da ocorrência da peroxidação lipídica estão diretamente ligadas ao tempo de imposição do estresse hídrico.

O prolongamento da restrição hídrica promoveu o aumento da peroxidação lipídica em cultivares de diferentes espécies, dentre elas em cana-de-açúcar (ABBAS et al., 2014; CIA et al., 2012; SALES et al., 2015), feijão-fava (SIDDIQUI et al., 2015), trigo (NIKOLAEVA et al., 2010) e milho (ANJUM et al., 2016; CHEN et al., 2016), sendo os resultados superiores nas cultivares sensíveis ao estresse. Tais respostas vão ao encontro do observado neste estudo, em que as plantas de cevada apresentaram maior peroxidação lipídica conforme o aumento do tempo em que permaneceram submetidas à restrição hídrica. Contudo, nesse caso não houve variação entre cultivares.

Para os açúcares solúveis totais, observou-se que quando mantidas em capacidade de campo as cultivares apresentaram valores que não distinguiram ao longo dos períodos de avaliação. Já quando submetidas a restrição hídrica, BRS Korbel apresentou tendência crescente ao longo do tempo, atingindo aproximadamente 9,0 mg/gMF aos dezesseis dias. Já ABI Rubi apresentou aumento mais pronunciado nos resultados, a partir dos oito dias de exposição ao estresse, enquanto Imperatriz expressou aumento bastante significativo no conteúdo de açúcares solúveis totais nos períodos iniciais de exposição, alcançando valores muito próximos entre os doze e dezesseis dias. Nesse caso, constatou-se que Imperatriz foi a cultivar que iniciou antes o acúmulo de açúcares, enquanto BRS Korbel acumulou açúcares solúveis totais com a intensificação do estresse e ABI Rubi demonstrou maior conteúdo de açúcares apenas após o estresse tornar-se acentuado, o que evidencia a diferença de comportamento entre cultivares (Figura 6a).

Comparando o comportamento entre cultivares para os açúcares solúveis totais, foi possível constatar que, em condições ideais de irrigação as cultivares apresentaram valores muito similares entre si. Quando em suspensão hídrica, as cultivares BRS Korbel e Imperatriz destacaram-se frente à ABI Rubi aos oito e doze dias de avaliação. Quanto aos regimes hídricos, observou-se que, a partir dos oito dias, plantas das cultivares BRS Korbel e Imperatriz que estavam sob estresse apresentaram maior conteúdo de açúcares, se comparados com aquelas que permaneceram em capacidade de campo. Já ABI Rubi apresentou valores superiores quando submetida a restrição hídrica, a partir dos doze dias de exposição ao estresse (Tabela 10).

Tabela 10 – Desdobramento da interação entre cultivares de cevada x regimes hídricos x períodos de exposição aos regimes hídricos para o conteúdo açúcares solúveis totais. Capão do Leão, 2022.

Açúcares solúveis totais (mg/gMF)						
Regimes hídricos						
Períodos de exposição (dias)	Capacidade de campo			Restrição Hídrica		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
0	2,73 A α	3,15 A α	3,15 A α	2,78 A α	3,39 A α	3,22 A α
4	2,33 A α	3,10 A α	3,55 A α	3,03 A α	3,08 A α	3,80 A α
8	2,91 A β	4,18 A α	4,14 A β	6,73 A α	4,25 B α	7,99 A α
12	2,93 A β	3,79 A β	3,07 A β	7,16 A α	5,63 B α	7,82 A α
16	2,68 A β	3,08 A β	3,09 A β	9,57 A α	8,82 A α	8,54 A α

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha (cultivares) e letras gregas na linha (regimes hídricos) não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As plantas costumam se adaptar gradualmente à deficiência hídrica através de diversos processos que ocorrem em níveis morfológicos, fisiológicos e moleculares. No início do déficit hídrico, as plantas geralmente reduzem a perda de água restringindo a transpiração por meio do fechamento estomático (LUAN, 2002; MARTIN-STPAUL; DELZON; COCHARD, 2017). A medida que a severidade do estresse se intensifica, as plantas enfrentam as condições estressoras acumulando níveis intracelulares elevados de compostos osmoprotetores, a fim de proteger os componentes celulares e restabelecer o equilíbrio osmótico (SINGH et al., 2015). Ao mesmo tempo, os eventos oxidativos que resultam da exposição contínua ao estresse induzem uma série de genes responsáveis por codificar o sistema enzimático antioxidante (REDDY; CHAITANYA; VIVEKANANDAN, 2004; SANTISREE; BHATNAGAR-MATHUR; SHARMA, 2015). Nesse sentido, o acúmulo de osmólitos, dentre eles os açúcares, compõe a primeira linha de defesa das plantas contra a restrição hídrica, com o objetivo de reduzir a perda de água e manter o turgor celular (KACZMAREK et al., 2017).

Diversos estudos relatam o aumento do armazenamento de açúcares solúveis como resposta das plantas ao estresse por restrição hídrica (BLUM, 1996; DBIRA et al., 2018; PASSIOURA, 2012). Em cevada, algumas cultivares também responderam ao déficit hídrico elevando os valores de açúcares solúveis totais (HEBBACHE et al., 2021) sendo esta também uma característica para seleção de genótipos tolerantes. Em síntese, o tempo de restrição hídrica até a ocorrência das respostas pelas plantas e o aumento no nível dos compostos de defesa contribuem para determinação das cultivares mais tolerantes.

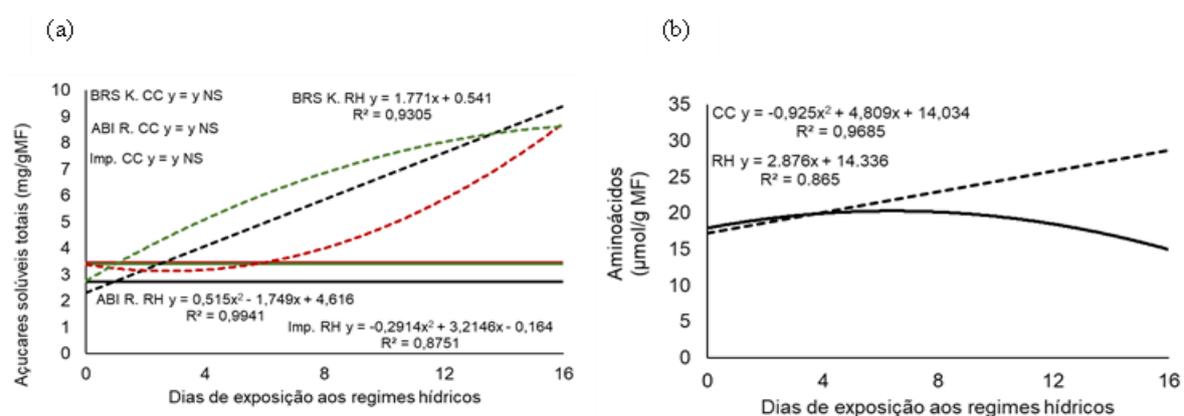


Figura 6 – Açúcares solúveis e aminoácidos de plantas de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos. Sendo, para interação entre os fatores: BRS Korb sob capacidade de campo (—); BRS Korb sob restrição hídrica (---); ABI Rubi sob capacidade de campo (—); ABI Rubi sob restrição hídrica (---); Imperatriz sob capacidade de campo (—); Imperatriz sob restrição hídrica (---). Para interação apenas entre regimes hídricos e dias de exposição: capacidade de campo (—); restrição hídrica (---).

Para os aminoácidos, houve interação significativa entre regimes hídricos e período de exposição e entre cultivares e regimes hídricos. Nesse caso, quando mantida a capacidade de campo os resultados apresentaram um decréscimo a partir dos oito dias. Já quando imposta a restrição hídrica, os valores apresentaram uma tendência crescente, atingindo cerca de 28 $\mu\text{mol/g}$ MF aos dezesseis dias (Figura 6b).

Entre cultivares e regimes hídricos, observou-se que ABI Rubi e Imperatriz apresentaram conteúdos de aminoácidos mais elevados quando submetidas a restrição hídrica, enquanto BRS Korbel não diferiu quanto aos regimes hídricos. As cultivares também diferiram entre si quando submetidas ao estresse hídrico, em que ABI Rubi e Imperatriz apresentaram valores superiores frente à BRS Korbel (Tabela 11).

Tabela 11 – Desdobramento da interação simples entre cultivares de cevada e regimes hídricos para o conteúdo de aminoácidos. Capão do Leão, 2022.

Cultivar	Aminoácidos ($\mu\text{mol/g}$ MF)	
	Regime Hídrico	
	Capacidade de Campo	Restrição Hídrica
BRS Korbel	17,63 Aa	18,37 Ab
ABI Rubi	17,99 Ba	24,03 Aa
Imperatriz	19,24 Ba	26,49 Aa

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

Além dos açúcares, outros osmoprotetores como os aminoácidos, por exemplo, são acumulados em resposta à restrição hídrica (FABREGAS; FERNIE, 2019; LIANG et al., 2013; SEKI et al., 2007; SINGH et al., 2015). Estes compostos estabilizam proteínas e membranas e diminuem o potencial osmótico, prevenindo a desidratação das células (WANI et al., 2013). Tais respostas, contudo, também são variáveis entre cultivares, em que aquelas mais tolerantes ao estresse tendem a expressar níveis mais elevados, indicando um sistema de proteção eficiente. Nesse sentido, ABI Rubi e Imperatriz apresentaram indícios de maior tolerância à restrição hídrica se comparadas a BRS Korbel.

Em síntese o estresse por restrição hídrica em cevada é capaz de provocar alterações consideráveis no metabolismo das plantas. Como resposta, estas lançam estratégias de adaptação que podem contribuir para maior tolerância dos genótipos

ao estresse, sendo este um alvo de grande interesse, uma vez que a ocorrência do estresse pode comprometer consideravelmente a produção, em virtude dos critérios exigidos para utilização dos grãos pela indústria cervejeira. Dessa forma, torna-se essencial a compreensão acerca dos processos fisiológicos afetados pelo estresse e das respostas desencadeadas em virtude das condições de cultivo.

4.4 Conclusões

Nas condições em que foram avaliadas, as cultivares BRS Korbel, ABI Rubi e Imperatriz respondem de maneira distinta à restrição hídrica, conforme o tempo de ocorrência do estresse.

A restrição hídrica promove a redução da razão de área foliar e da massa foliar das plantas.

A partição de assimilados para as raízes é mais elevada quando as cultivares estão sob restrição hídrica, comparativamente à capacidade de campo.

Todas as cultivares apresentam atividade enzimáticas mais elevadas de superóxido dismutase e ascorbato peroxidase, além da peroxidação lipídica e açúcares solúveis totais conforme o aumento no tempo de exposição à restrição hídrica.

Quando submetidas ao déficit hídrico, todas as cultivares apresentam atividades enzimáticas mais elevadas de SOD, CAT e APX, além da peroxidação lipídica e açúcares solúveis totais se comparadas à capacidade de campo.

Quando imposta à restrição hídrica, a cultivar Imperatriz apresenta atividade mais elevada da enzima catalase, além dos açúcares solúveis totais e aminoácidos, frente às demais cultivares.

5 Capítulo IV – Ecofisiologia de cultivares de cevada em resposta à restrição hídrica.

5.1 Introdução

Os cereais são considerados culturas básicas fundamentais para sobrevivência da população mundial, pois estima-se que em conjunto proporcionam cerca de 56% das calorias consumidas pelo homem, além de serem amplamente empregados na produção de ração animal (FAOSTAT, 2018). Nesse cenário, a cevada ocupa um lugar de importância dentre os cereais mais cultivados globalmente, graças as suas características nutricionais relacionadas ao teor de carboidratos, minerais e vitaminas, e também por ser a matéria-prima principal, utilizada na fabricação do malte (SAMARAH, 2005).

A cevada é cultivada em diversas regiões do mundo, tanto em sistemas agrícolas altamente produtivos quanto na agricultura de subsistência, sendo produzida em uma ampla gama de ambientes. Embora atualmente a produção seja mais elevada em economias de alta renda, o cultivo do cereal engloba o mundo desenvolvido e em desenvolvimento, com economias de média e baixa renda (FAOSTAT, 2018). Nesse contexto, é estimado que até o ano de 2050 a produção de cevada terá um aumento de aproximadamente 54% em relação aos anos 2000, devido a maior demanda industrial voltada à alimentação humana e animal (KRUSE, 2011). No entanto, a ocorrência cada vez mais frequente de estresses, como por exemplo, a restrição hídrica, contribui para uma projeção no sentido contrário, com redução na produção da cultura (XIE et al., 2018).

A restrição hídrica é considerada o estresse abiótico mais grave e capaz de limitar o crescimento e restringir a produtividade das mais variadas culturas (KOTOB et al., 2009; SALEEM et al., 2016). Segundo, Lisar et al. (2012), o impacto do estresse nas plantas pode ocasionar perdas de até 50% na agricultura global, isto sem incluir a possibilidade de ocorrência de eventos extremos. Os efeitos da deficiência hídrica

nas culturas podem ser diversos, os quais incluem alterações morfológicas, fisiológicas e metabólicas e variam de acordo com a sensibilidade da espécie e cultivar, estágio de desenvolvimento em que as plantas se encontram no momento de ocorrência da restrição hídrica e intensidade do estresse.

Dentre os sintomas mais pronunciados da deficiência hídrica na fase vegetativa das plantas estão a murcha e enrolamento das folhas, redução da área foliar, número de folhas e altura (ELAKDAR et al., 2022). Nesse contexto, a altura, assim como a biomassa da parte aérea e raízes de plantas de cevada foi reduzida em decorrência da restrição hídrica (ASKARNEJAD et al., 2021; BHATTACHARYA, 2021; ZHAO et al., 2009). Além da diminuição em altura, a morfologia do crescimento vegetal pode ser severamente atingida pelo estresse. Nesse caso, as folhas são os órgãos principais relacionados aos processos de absorção e transpiração, sendo assim mais afetadas pela limitação hídrica. Quando submetidas ao déficit hídrico, as lâminas foliares de cevada apresentaram área, espessura e fotossíntese reduzidas (MUNNS et al., 2010). A fotossíntese e a pressão de turgor reduzem em vista da restrição hídrica, promovendo assim a diminuição da área foliar (SAMARAH et al., 2009).

A persistência do estresse também afetou drasticamente a altura das plantas, potencial hídrico, taxa fotossintética bruta, período de enchimento dos grãos, número de espigas, número de sementes por espigas, peso das sementes, rendimento de sementes e palha e índice de colheita (SAMARAH et al., 2009), o que evidencia o potencial negativo da restrição hídrica sob a cultura.

A análise de crescimento pode ser empregada como uma opção para estudar os efeitos dos estresses sobre as culturas, uma vez que é considerada um método quantitativo, preciso e de baixo custo, geralmente utilizado a fim de avaliar o crescimento das plantas no decorrer do tempo, em diferentes condições de manejo (AUMONDE et al., 2017; LOPES; LIMA, 2015; RADFORD, 1967).

A análise de crescimento é caracterizada pela amostragem em intervalos equidistantes e avaliação de parâmetros como área foliar, peso seco, altura e diâmetro, possibilitando assim a estimativa da taxa de crescimento relativo, de produção de massa seca, de assimilação líquida, entre outras (KOCH et al., 2021). Além do crescimento, a avaliação de parâmetros de rendimento também é de suma importância, haja vista que condições de estresse podem impactar diretamente na produtividade das culturas.

A partir do exposto, este trabalho teve como objetivo verificar o efeito do estresse por restrição hídrica no crescimento, desenvolvimento, partição de massa seca e qualidade das sementes produzidas de cultivares de cevada.

5.2 Material e métodos

Local, características do solo, tratos culturais e delineamento experimental

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação, localizada no campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas – RS, situada na latitude 31° 48' 15.12" S, longitude 52° 24' 55.1874" W e altitude de 13 m. As análises foram realizadas nos Laboratórios Didáticos de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel - Universidade Federal de Pelotas.

Durante a execução dos experimentos foi realizado o acompanhamento das condições meteorológicas. Os dados relativos a temperatura máxima e mínima e radiação solar estão apresentados na Figura 1.



Figura 1 - Temperatura máxima, mínima e radiação solar de plantas provenientes de sementes de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos. Sendo: Temperatura máxima (---); temperatura mínima (.....) e radiação solar (—).

A semeadura foi em vasos de polietileno, com capacidade individual de 8 litros. Inicialmente foram distribuídas 10 sementes em cada vaso, após a emergência

procedeu-se o raleio para manutenção de 4 plantas por recipiente. Como substrato foi utilizado solo do horizonte A1 de um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico, pertencente à unidade de mapeamento Pelotas (STRECK et al., 2008), o qual foi previamente corrigido conforme análise e seguindo as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2016).

Para avaliação do crescimento de plantas, o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2 x 5 (3 cultivares x 2 regimes hídricos x 8 épocas de coleta), com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de três cultivares (BRS Korbel, ABI Rubi e Imperatriz), dois regimes hídricos (capacidade de campo e restrição hídrica na fase vegetativa e reprodutiva) e oito épocas de coleta (14, 28, 42, 56, 72, 84, 98 e 112 dias após a emergência).

Para análise de rendimento de plantas e qualidade das sementes produzidas, o delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3 x 2 (cultivares x regimes hídricos), com quatro repetições, sendo cada repetição composta por quatro plantas. Os tratamentos consistiram na combinação de três cultivares de cevada (BRS Korbel, ABI Rubi e Imperatriz) e dois regimes hídricos (capacidade de campo e restrição hídrica na fase vegetativa e reprodutiva).

Após a semeadura em solo, o fornecimento de água para as plantas foi realizado com irrigações diárias, para que fosse mantida a umidade próxima a capacidade de campo. Para os tratamentos que constaram com restrição hídrica, foram impostos durante o ciclo das plantas dois períodos com suspensão da irrigação. O primeiro período de restrição hídrica foi executado na fase vegetativa (emborrachamento) aos 64 dias após a emergência (DAE). Já o segundo período de estresse foi imposto na fase reprodutiva (enchimento das sementes), realizado 13 dias após a antese, aos 104 dias após a emergência.

O período de suspensão da irrigação foi determinado a partir da avaliação do teor relativo de água das folhas até que fossem alcançados valores próximos a 45 %, o que ocorreu aos seis dias após a suspensão hídrica no período vegetativo e quatro dias após a imposição do estresse no período reprodutivo. Ao término de cada período de restrição hídrica a irrigação foi retomada normalmente, seguindo dessa forma até o final do ciclo da cultura. Para a determinação do teor relativo de água, realizou-se

coletas sucessivas das folhas, com intervalos regulares de 48 horas. O teor relativo de água foi realizado conforme a metodologia proposta por Barrs (1962) e os resultados foram expressos em porcentagem.

Crescimento de plantas e partição de assimilados

As coletas para avaliação do crescimento das plantas foram executadas em períodos equidistantes com intervalos regulares de 14 dias. A cada amostragem, foi realizada a coleta de toda a planta, a qual foi separada em suas estruturas (folhas, colmo, raízes e espigas). Para a obtenção da matéria seca, as amostras foram acondicionadas separadamente em envelopes de papel pardo e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada a temperatura de 70 ± 2 °C, até a massa constante.

A área foliar (A_f) foi determinada com medidor de área Licor modelo LI-3100. Os dados primários de área foliar (A_f), de matéria seca da folha (W_f), colmo (W_c), raízes (W_r) e espiga (W_{esp}) foram ajustados por meio de polinômios ortogonais (RICHARDS, 1969). Os valores da taxa de produção de matéria seca total (C_t) foram determinados por meio de derivadas temporais das equações ajustadas da matéria seca total (W_t) (RADFORD, 1967). Para a obtenção dos valores instantâneos da taxa de crescimento relativo (R_w) foi utilizada a equação: $R_w = 1/W_t \cdot dW/dt$ e os valores instantâneos da taxa assimilatória líquida (E_a), razão de massa foliar (F_w), razão de área foliar (F_a), e área foliar específica (S_a) foram determinados empregando as equações: $E_a = 1/A_f \cdot dW/dt$; $F_w = W_f/W_t$; $F_a = A_f/W_t$; $S_a = A_f/W_f$ (RADFORD, 1967).

Os dados primários de matéria seca total acumulada (W_t) foram ajustados utilizando a equação logística simples: $W_t = W_m/(1+Ae^{-Bt})$, em que W_m é a estimativa assintótica do crescimento máximo; "A" e "B", constantes de ajustamento; "e", a base natural de logaritmo neperiano e "t", o tempo em dias após a emergência (RICHARDS, 1969).

O índice de área foliar (L) foi calculado pela fórmula: $L = A_f/S_t$, sendo A_f a área foliar e S_t a superfície do solo ocupada pela planta.

A eficiência de conversão da energia solar (ξ) foi determinada utilizando a equação ξ (%) = $(100 \cdot C_t \cdot \delta)/R_s$, sendo R_s o valor médio da radiação solar incidente (cal

m-2 dia-1) dez dias anteriores ao C_t correspondente e δ valor calorífico de 4297 cal g-1 (SIPOS; NÁBRÁDI; GYORI, 2010).

A partição de matéria seca entre as diferentes estruturas da planta (raízes, colmo, folhas e espigas) ao longo do ciclo da cultura foi determinada, separadamente, por meio da aferição da massa alocada em cada estrutura vegetal e posterior transformação dos dados para porcentagem.

Atributos agronômicos das plantas

Após o final do ciclo da cultura, aos 140 dias após a semeadura, as plantas foram colhidas e as espigas levadas para a secagem em estufa, até o teor de água de 12 %. Posteriormente, foi realizada a debulha manual das sementes. Para avaliar o efeito da restrição hídrica nos atributos de rendimento de sementes das diferentes cultivares de cevada, foram realizadas as seguintes análises:

Número de perfilho por planta (NPPL): obtido através da contagem manual.

Número de sementes por planta (NSPL): obtido através da contagem manual.

Percentual de sementes cheias (%SEMCHEIA): obtido por meio da estratificação de sementes cheias e chochas, contagem manual de sementes cheias por planta e transformação do resultado em porcentagem.

Percentual de sementes chochas (%SEMCHOCHA): obtido por meio da estratificação de sementes cheias e chochas, contagem manual de sementes chochas por planta e transformação do resultado em porcentagem.

Massa de sementes por planta (MSPL): obtida através da pesagem das sementes em balança de precisão. Os resultados foram expressos em gramas por planta (g planta-1).

Índice de colheita: determinado pela equação $IC = W_{esp}/W_t$, onde W_{esp} corresponde à massa seca das espigas e o W_t a matéria seca total da planta.

Características físicas e fisiológicas das sementes produzidas

Para avaliar o efeito da restrição hídrica no desempenho fisiológico de sementes das cultivares de cevada foram realizados os seguintes testes:

Retenção em peneiras: as sementes foram classificadas quanto ao tamanho em três classes: a primeira cujas sementes inteiras e sadias ficaram retidas na peneira de perfurações oblongas de 2,5 mm de largura; a segunda cujas sementes inteiras e sadias atravessaram na peneira de 2,5 mm de largura, mas ficam retidas na peneira de perfurações oblongas de 2,2 mm de largura; a terceira cujas sementes inteiras e sadias atravessaram na peneira de perfurações oblongas de 2,2 mm de largura (BRASIL, 1996). Os resultados foram expressos em porcentagem de sementes retidas em cada classe.

Primeira Contagem da germinação: realizada conjuntamente ao teste de germinação, quatro dias após a semeadura, conforme indicação de Regras de Análises de Sementes. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009)

Germinação: o teste foi conduzido com quatro subamostras de 50 sementes por tratamento, sendo as sementes dispostas entre três folhas de papel germitest, umedecidas com água na proporção de 2,5 vezes, a massa do papel seco. Foram confeccionados rolos de papel, os quais foram transferidos para câmara de germinação do tipo B.O.D. à temperatura de 20 °C. A avaliação foi realizada aos sete dias após a semeadura e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

Índice de velocidade de germinação: foram obtidos a partir de contagens diárias das sementes germinadas com protrusão radicular mínima de 3 a 4 mm, até a obtenção de número constante (NAKAGAWA, 1994).

Comprimento de plântulas: foram utilizadas quatro subamostras de 10 plântulas, 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 foi determinado pela distância entre a parte apical e basal da raiz primária. Os resultados foram expressos em centímetros por plântula (cm plântula⁻¹).

Massa seca de plântulas: avaliada aos sete dias após a semeadura. Para determinação da massa seca, foram coletadas quatro subamostras de 10 plântulas por tratamento, sendo as plântulas, separadas em parte aérea e raízes. Cada fração foi disposta separadamente em envelopes de papel pardo e submetidas à secagem em estufa de circulação de ar forçado, à temperatura de 70 + 2 °C, até a massa

constante. A massa seca foi determinada em balança de precisão e os resultados foram expressos em g órgão⁻¹.

Procedimento estatístico

Os dados primários de crescimento foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e analisados pela equação logística simples. Já os dados relativos à partição de assimilados, foram convertidos em porcentagem (AUMONDE et al, 2017; LOPES; LIMA, 2015).

Os dados referentes aos componentes agrônômico e qualidade das sementes, foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, e quando significativos submetidos a análise de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.3 Resultados e discussão

Analisando o teor relativo de água nas plantas de cevada, observou-se que todas as cultivares quando mantidas na capacidade de campo, mantiveram valores entre 70 e 80%, em ambos os períodos. Já quando submetidas a restrição hídrica, as cultivares tiveram seus valores reduzidos gradativamente com o aumento dos períodos sem irrigação, chegando a valores próximos a 40%, tanto no período vegetativo quanto no reprodutivo (Figura 2). Resultados semelhantes foram obtidos por Santos, Klar e Jadoski (2008), em que cultivares de cevada apresentaram teor relativo de água próximo a 45 % quando submetidas a restrição hídrica aos 45 e 65 dias após a semeadura.

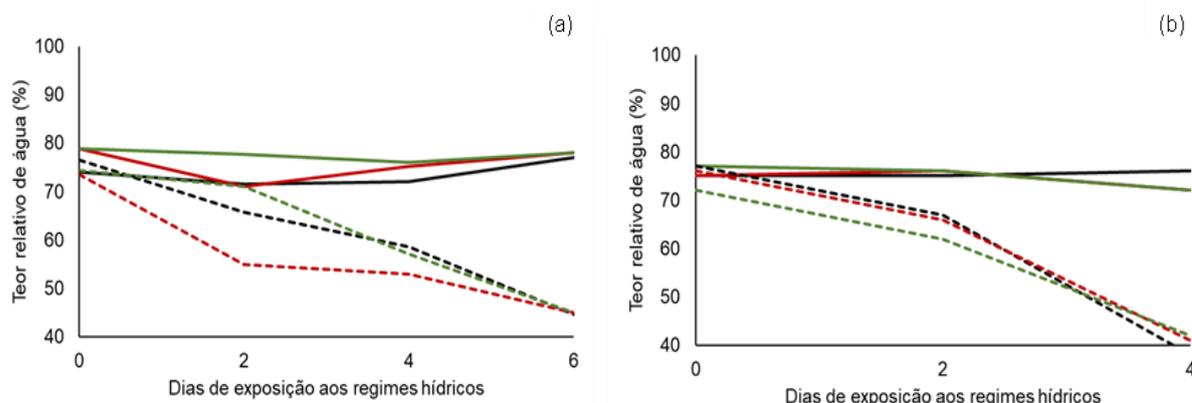


Figura 2 - Teor relativo de água de plantas provenientes de sementes de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos no período vegetativo (a) e reprodutivo (b). Sendo: BRS Korbel sob capacidade de campo (—); BRS Korbel sob restrição hídrica (---); ABI Rubi sob capacidade de campo (—); ABI Rubi sob restrição hídrica (---); Imperatriz sob capacidade de campo (—); Imperatriz sob restrição hídrica (---).

Crescimento de plantas e partição de assimilados

Tabela 1- Equações relativas a dados de matéria seca total e índice de área foliar de cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos no período vegetativo e reprodutivo. Capão do Leão, 2022.

Tratamentos	Equações	R ²
Massa seca total (g m²)		
BRS Korbel CC	$W_t = 696,07/1+379,93e^{-0,079t}$	0,99
ABI Rubi CC	$W_t = 566,54/1+749,95e^{-0,094t}$	0,98
Imperatriz CC	$W_t = 792,50/1+320,54e^{-0,074t}$	0,98
BRS Korbel RH	$W_t = 848,35/1+278,66,54e^{-0,064t}$	0,97
ABI Rubi RH	$W_t = 556,29/1+487,85e^{-0,088t}$	0,98
Imperatriz RH	$W_t = 564,630/1+566,80e^{-0,096t}$	0,98
Índice de área foliar		
BRS Korbel CC	$IAF = -1E-05x^3 + 0,0021x^2 - 0,0455x + 0,3354$	0,82
ABI Rubi CC	$IAF = -2E-05x^3 + 0,0031x^2 - 0,0894x + 0,7875$	0,97
Imperatriz CC	$IAF = -9E-06x^3 + 0,0007x^2 + 0,0532x - 1,0549$	0,76
BRS Korbel RH	$IAF = -2E-06x^3 - 0,0001x^2 + 0,0509x - 0,6867$	0,91
ABI Rubi RH	$IAF = -1E-05x^3 + 0,0015x^2 - 0,0206x + 0,103$	0,92
Imperatriz RH	$IAF = -3E-05x^3 + 0,0041x^2 - 0,1515x + 1,6637$	0,94

*Onde CC corresponde a capacidade de campo e RH corresponde a restrição hídrica.

Em todos os tratamentos, a produção de massa seca total (W_t) ajustou-se à tendência logística, com elevado coeficiente de determinação (acima de 0,97). As plantas de todas as cultivares, em ambos regimes hídricos, expressaram um lento crescimento inicial, até os 42 dias após emergência (DAE), seguido de um crescimento intenso após esse período. Quando mantidas em capacidade de campo, a cultivar Imperatriz apresentou maior aporte de massa seca, enquanto ABI Rubi obteve os menores valores nessa condição. Quando submetidas a restrição hídrica, até os 98 dias, Imperatriz destacou-se com resultados mais elevados, sendo posteriormente superada por BRS Korbel (Figura 3a).

Quanto aos regimes hídricos, foi possível constatar que, a partir da imposição do primeiro período de restrição hídrica todas as cultivares apresentaram maior aporte de massa seca quando mantidas sob capacidade de campo, permanecendo assim até o final do ciclo. Nesse sentido, a diferença mais pronunciada entre regimes hídricos foi expressa pela cultivar Imperatriz, que na última avaliação apresentou uma redução de massa seca total de aproximadamente 32 % nas plantas que foram submetidas à restrição hídrica, se comparada àquelas que permaneceram em capacidade de campo (Figura 3a).

O crescimento inicial reduzido é considerado habitual, uma vez que pode ser explicado pela baixa absorção de água e nutrientes, área foliar pequena e menores taxas de respiração e assimilatória líquida que ocorrem durante o início do desenvolvimento (CHEN; QUALLS; MILLER, 2002; MONTEITH, 1969). Nesse contexto, o crescimento de maneira geral, voltado a volume, matéria seca, dimensões lineares ou unidades estruturais está relacionado ao armazenamento de carbono estrutural (AUMONDE et al., 2011). Contudo, para que o desenvolvimento das plantas ocorra satisfatoriamente, ou seja, para que a acumulação de massa seca proveniente da síntese de carboidratos seja processada de forma eficiente, a disponibilidade hídrica e luminosa é essencial (RODRIGUES; URCHEI, 1994). Nesse caso, a limitação hídrica contribui para o menor aporte de massa seca nas cultivares, o que demonstra o efeito do estresse sob as plantas.

Os valores da taxa de produção de massa seca (C_t) se mantiveram baixos até os 42 dias após a emergência, o que advém da baixa produção de massa seca total neste período. Os valores máximos de C_t variaram de acordo com a cultivar e regime hídrico imposto. Nesse caso, quando mantidas em capacidade de campo ABI Rubi,

BRS Korbel e Imperatriz apresentaram resultados máximos de C_t aos 70, 74 e 78 dias após a emergência, respectivamente. Já quando submetidas a restrição hídrica, Imperatriz, ABI Rubi e BRS Korbel apresentaram taxa máxima de produção de massa seca aos 66, 70 e 96 DAE, respectivamente (Figura 3b).

Com relação a taxa de produção de massa seca quando as plantas foram mantidas sob capacidade de campo, ABI Rubi apresentou valores superiores até os 70 DAE, sendo superada a partir desse período pelas demais cultivares, com destaque para Imperatriz que obteve resultados mais elevados. Já quando as cultivares foram submetidas à restrição hídrica, observou-se que até aproximadamente os 76 dias, Imperatriz apresentou resultados mais elevados frente às demais cultivares. Já quando imposto o estresse no período reprodutivo, BRS Korbel apresentou resultados superiores quando comparada a ABI Rubi e Imperatriz (Figura 3b).

Com relação aos regimes hídrico para a taxa produção de massa seca, observou-se que a partir da imposição do primeiro período de restrição hídrica, aquelas plantas das cultivares ABI Rubi e BRS Korbel que permaneceram em capacidade de campo apresentaram resultados superiores frente às que foram submetidas à restrição hídrica. Por outro lado, a cultivar Imperatriz apresentou resultados superiores quando mantida em capacidade de campo, a partir dos 70 DAE, aproximadamente. Contudo, a partir dos 90 DAE ABI Rubi apresentou resultados muito próximos entre plantas que foram mantidas em capacidade de campo e aquelas submetidas à restrição hídrica. Além disso, a partir desse período BRS Korbel expressou maior taxa de produção de massa seca quando submetida a suspensão hídrica, se comparada àquelas plantas que foram mantidas em capacidade de campo (Figura 3b).

A utilização dos recursos dos meios ocorreu de maneira distinta no tempo para as plantas que foram mantidas em capacidade de campo e àquelas submetidas à restrição hídrica, o que refletiu na maior taxa de produção de massa seca em diferentes períodos para cada cultivar e condição hídrica, conforme observado.

Para a taxa de crescimento relativo (R_w), os valores máximos foram atingidos aos 14 DAE, com posterior decréscimo até os 112 DAE. Quando mantidas em capacidade de campo, aos 14 DAE a cultivar ABI Rubi se destacou frente às demais BRS Korbel. Posteriormente, a partir dos 75 dias aproximadamente, Imperatriz e BRS

Korbel apresentaram resultados muito próximos e superiores quando comparados aos obtidos por ABI Rubi. Já quando submetidas à restrição hídrica, Imperatriz apresentou resultados superiores até aproximadamente 70 DAE, sendo posteriormente superada por BRS Korbel (Figura 3c).

Quanto aos regimes hídricos, a cultivar BRS Korbel apresentou valores superiores para a taxa de crescimento relativo quando mantida em capacidade de campo até os 70 dias. Nos períodos subsequentes, as plantas submetidas à restrição hídrica apresentaram valores mais pronunciados frente àquelas que foram mantidas em capacidade de campo. A cultivar ABI Rubi apresentou maior taxa de crescimento relativo quando as plantas foram mantidas em capacidade de campo, até os 70 DAE. Posteriormente, a cultivar apresentou valores muito próximos entre ambos regimes hídricos. Já Imperatriz apresentou valores superiores quando submetida a restrição hídrica até cerca de 68 dias após a emergência. Subsequentemente, houve uma inversão nos valores, a partir deste ponto, plantas mantidas em capacidade de campo apresentaram resultados superiores frente àquelas submetidas à restrição hídrica (Figura 3c).

A ocorrência da máxima taxa de crescimento relativo no início do ciclo, decorre devido a maior parte da área foliar fotossinteticamente ativa das plantas ser atribuída a folhas jovens com alta capacidade fotossintética e alta taxa de crescimento (AUMONDE et al., 2011). Além disso, a taxa de crescimento relativo varia ao longo do ciclo pois é dependente de fatores de crescimento (LIMA et al., 2007).

Nesse sentido, a R_w pode ser considerada uma medida da eficiência da produção de nova matéria seca sobre aquela já existente (SILVA; BELTRÃO; AMORIM NETO, 2000). Nesse caso, evidenciou-se que a restrição hídrica resultou na redução da eficiência da conversão de radiação solar em massa de matéria seca, especialmente na cultivar Imperatriz, a qual expressou valores menores quando submetida ao estresse.

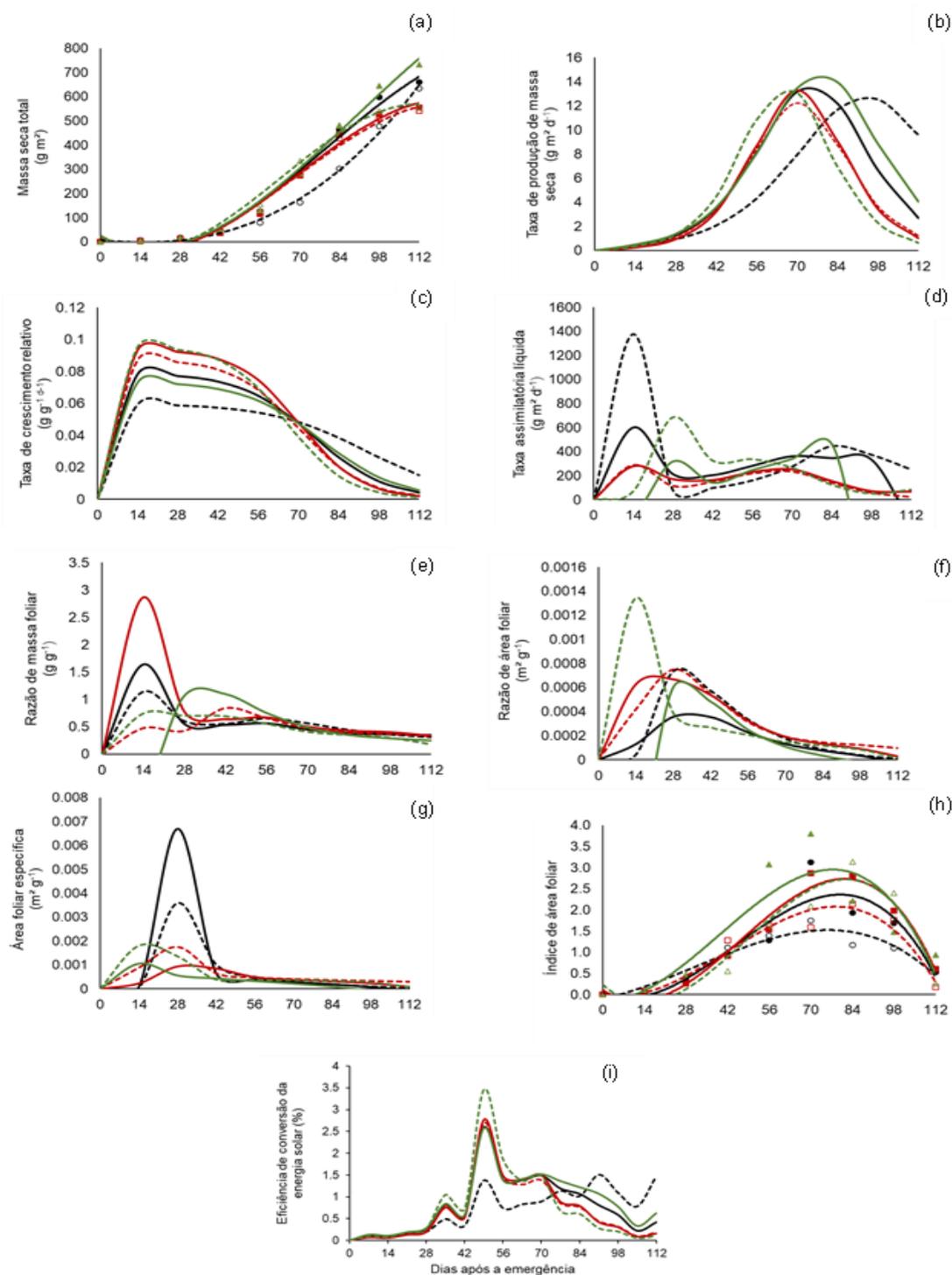


Figura 3 - Massa seca total (a), taxa de produção de massa seca (b), taxa crescimento relativo (c), taxa assimilatória líquida (d), razão de massa foliar (e), razão de área foliar (f), área foliar específica (g), índice de área foliar (h) e eficiência da conversão da energia solar (i) de plantas provenientes de sementes de diferentes cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos. Sendo: BRS Korbel sob capacidade de campo (—); BRS Korbel sob restrição hídrica (---); ABI Rubi sob capacidade de campo (—); ABI Rubi sob restrição hídrica (---); Imperatriz sob capacidade de campo (—); Imperatriz sob restrição hídrica (---).

Quanto a taxa assimilatória líquida (E_a), observou-se que, de maneira geral, as plantas apresentaram dois picos, que variaram de acordo com a cultivar e regime hídrico. O primeiro pico ocorreu aos 14 DAE para as cultivares BRS Korbel e ABI Rubi, independente do regime hídrico, já Imperatriz apresentou seu primeiro pico aos 28 dias após a emergência. O segundo pico ocorreu aos 84 DAE para a cultivar BRS Korbel quando submetida ao estresse hídrico e aos 98 DAE quando as plantas foram mantidas em capacidade de campo. ABI Rubi obteve um aumento discreto aos 70 DAE para ambos regimes hídricos. Já Imperatriz, quando submetida ao estresse, apresentou seu segundo pico aos 56 DAE, o que ocorreu aos 84 DAE para as plantas mantidas em capacidade de campo. Com relação aos regimes hídricos, as cultivares Imperatriz e BRS Korbel foram afetadas pelo estresse hídrico no período vegetativo, em que as plantas mantidas em capacidade de campo apresentaram maior E_a do que aquelas que foram submetidas à restrição hídrica (Figura 3d).

Nesse contexto, o primeiro pico nos resultados pode ser relacionado com a predominância de folhas jovens, as quais possuem uma alta capacidade fotossintética. Já o segundo pico pode estar ligado ao surgimento dos órgãos reprodutivos, os quais atuam como drenos metabólicos preferenciais com alta capacidade mobilizadora de assimilados (KOCH et al., 2021).

Ademais, a E_a é dependente da dimensão da área foliar, distribuição das folhas no dossel, ângulo foliar, translocação e partição de assimilados (AUMONDE et al., 2011). Quando relacionado ao estresse hídrico, resultados inferiores de E_a podem ser atrelados a fatores como menor área foliar e comprometimento da eficácia na absorção de CO_2 , que geralmente decorrem em função da restrição hídrica e resultam na menor taxa fotossintética, levando conseqüentemente a menor produção de fotoassimilados (SCALON et al., 2011).

Com relação a razão de massa foliar (F_w), observou-se que valores máximos foram obtidos aos 14 dias após a emergência para a cultivar BRS Korbel. Similarmente, ABI Rubi em capacidade de campo apresentou resultados máximos aos 14 DAE, contudo, para o tratamento relativo à restrição hídrica, os valores máximos foram expressos aos 42 DAE. Já Imperatriz apresentou valores mais elevados aproximadamente 30 DAE, em capacidade de campo e aos 14 DAE para o tratamento relativo à restrição hídrica. Além disso, a partir do primeiro período de restrição hídrica não se constatou diferenças pronunciadas entre as cultivares, assim como nos

regimes hídricos testados (Figura 3e).

A razão de massa foliar representa a fração de biomassa não exportada das folhas para as demais estruturas da planta, haja vista que as folhas são o centro de produção de biomassa e o restante da planta depende da exportação de material advindo das folhas (MARAFON et al., 2012).

Nesse sentido, resultados superiores de F_w indicam a ocorrência de maior alocação de carbono nas folhas, que no início ciclo representam um dreno forte e com alta capacidade mobilizadora de assimilados (AUMONDE et al., 2011). Em contrapartida, a diminuição da razão de massa foliar ao longo do ciclo, pode ser atribuída ao surgimento das estruturas reprodutivas, momento em que as folhas não mais possuem preferencialidade do investimento de assimilados e passam a exportar compostos para os órgãos responsáveis pela reprodução (PEDÓ et al., 2013; TAIZ et al., 2017).

Avaliando a razão de área foliar (F_a), observou-se que as plantas alcançaram seus valores máximos no início do ciclo. Nesse caso, as cultivares Imperatriz, quando exposta a restrição hídrica e ABI Rubi, quando mantida em capacidade campo, apresentaram resultados mais elevados aos 14 DAE, enquanto os demais tratamentos apresentaram valores mais elevados aos 30 dias após a emergência. Quanto aos regimes hídricos, constatou-se de maneira geral, que a partir da imposição do primeiro período de estresse as cultivares não apresentaram diferenças pronunciadas entre condições hídricas (Figura 3f).

A F_a representa a área foliar útil para a fotossíntese, sendo a razão entre a área foliar responsável por interceptar energia luminosa e CO_2 e o peso seco total, resultado da fotossíntese. Com o crescimento ao longo do tempo, as folhas superiores interferem nas inferiores, reduzindo dessa forma a área foliar útil (BENINCASA, 2003).

As plantas apresentaram resultados superiores no início do ciclo também para a área foliar específica (S_a), em que Imperatriz, independente do regime hídrico, apresentou valores mais elevados aos 14 DAE, enquanto ABI Rubi e BRS Korbel, em ambas condições hídricas, obtiveram um pico aproximadamente aos 28 dias após a emergência. A partir de cerca dos 50 DAE não houve uma diferença pronunciada entre cultivares e também entre regimes hídricos (Figura 3g).

A área foliar específica expressa a relação entre a área foliar e massa da

matéria seca da própria folha, sendo, portanto, um indicativo de espessura foliar (MARAFON et al., 2012). Nesse contexto, a redução de S_a ao final do ciclo pode ser atrelada a ocorrência da elevada senescência e morte foliar nesse período.

Quanto ao índice de área foliar (L), foi possível observar para a cultivar Imperatriz quando mantida em capacidade de campo, um acréscimo até os 70 dias após a emergência, com decréscimo posterior. Para os demais tratamentos, houve acréscimo dos valores até aproximadamente 84 DAE e posterior decréscimo. Ademais, foi possível constatar que quando submetidas a capacidade de campo, Imperatriz destacou-se com valores mais elevados. Já quando submetidas a restrição hídrica, BRS Korbel destacou-se com resultados mais elevados até cerca de 40 dias após a emergência, sendo superada a partir deste ponto pela cultivar Imperatriz, a qual apresentou valores superiores até o final do ciclo (Figura 3h).

Quando comparados os regimes hídricos para o índice de área foliar, observou-se que a partir do primeiro período de imposição do estresse hídrico, as plantas de todas as cultivares mantidas em capacidade de campo apresentaram resultados superiores, comparativamente aquelas plantas que foram expostas à restrição hídrica. Contudo, a partir dos 90 DAE a cultivar Imperatriz quando submetida ao déficit hídrico apresentou valores próximos àqueles obtidos quando as plantas estavam sob condições ideais de irrigação (Figura 3h).

O índice de área foliar (L) é considerado uma resposta importante que pode contribuir para a identificação de genótipos tolerantes à restrição hídrica, já que o estresse é capaz de limitar o crescimento das folhas, alterando dessa maneira outras características morfofisiológicas das plantas. Ademais, o L possui relação direta com a fotossíntese (TAIZ et al., 2017), uma vez que o menor L proporciona diminuição na produção de fotoassimilados, por ocorrência da redução da área fotossintetizante das plantas, culminando em menor produção de massa seca pela planta (BATISTA, 2018).

Com relação a eficiência de conversão da energia solar (ξ), observou-se que independente da cultivar e do regime hídrico testados, as plantas apresentaram valores superiores aproximadamente aos 49 dias após a emergência. Quanto aos regimes hídricos, constatou-se que após o primeiro período de estresse, a cultivar Imperatriz apresentou resultados superiores quando as plantas foram mantidas em capacidade de campo, frente aquelas que foram expostas a restrição hídrica, comportamento este que perdurou até o final do ciclo. BRS Korbel respondeu ao

primeiro período de estresse de forma semelhante, em que plantas mantidas em capacidade de campo apresentaram valores superiores frente àquelas submetidas à restrição hídrica. Já ABI Rubi não apresentou diferenças pronunciadas com relação aos regimes hídricos (Figura 3i).

A resposta distinta entre cultivares sob o efeito do estresse hídrico pode auxiliar na determinação da cultivar que possui maior tolerância ao estresse. Nesse caso, Imperatriz demonstrou maior sensibilidade perante às demais. Contudo, a avaliação de outras características, como as relacionadas ao rendimento, por exemplo, são úteis para corroborar ou não com tal determinação

Com relação a partição de massa seca, pode-se observar que, em ambos os regimes hídricos, as cultivares BRS Korbel e Imperatriz apresentam maior particionamento de assimilados para as folhas, no início do ciclo do que a cultivar ABI Rubi. Além disso, quando mantidas sob capacidade de campo, a cultivar Imperatriz apresentou maior particionamento de assimilados para espigas do que as demais cultivares. Já quando expostas a restrição hídrica, foi possível observar que a cultivar BRS Korbel iniciou o particionamento de assimilados para espigas antes das demais cultivares, aproximadamente aos 70 DAE, enquanto ABI Rubi e Imperatriz deram início a esse processo aos 84 dias após a emergência (Figura 4).

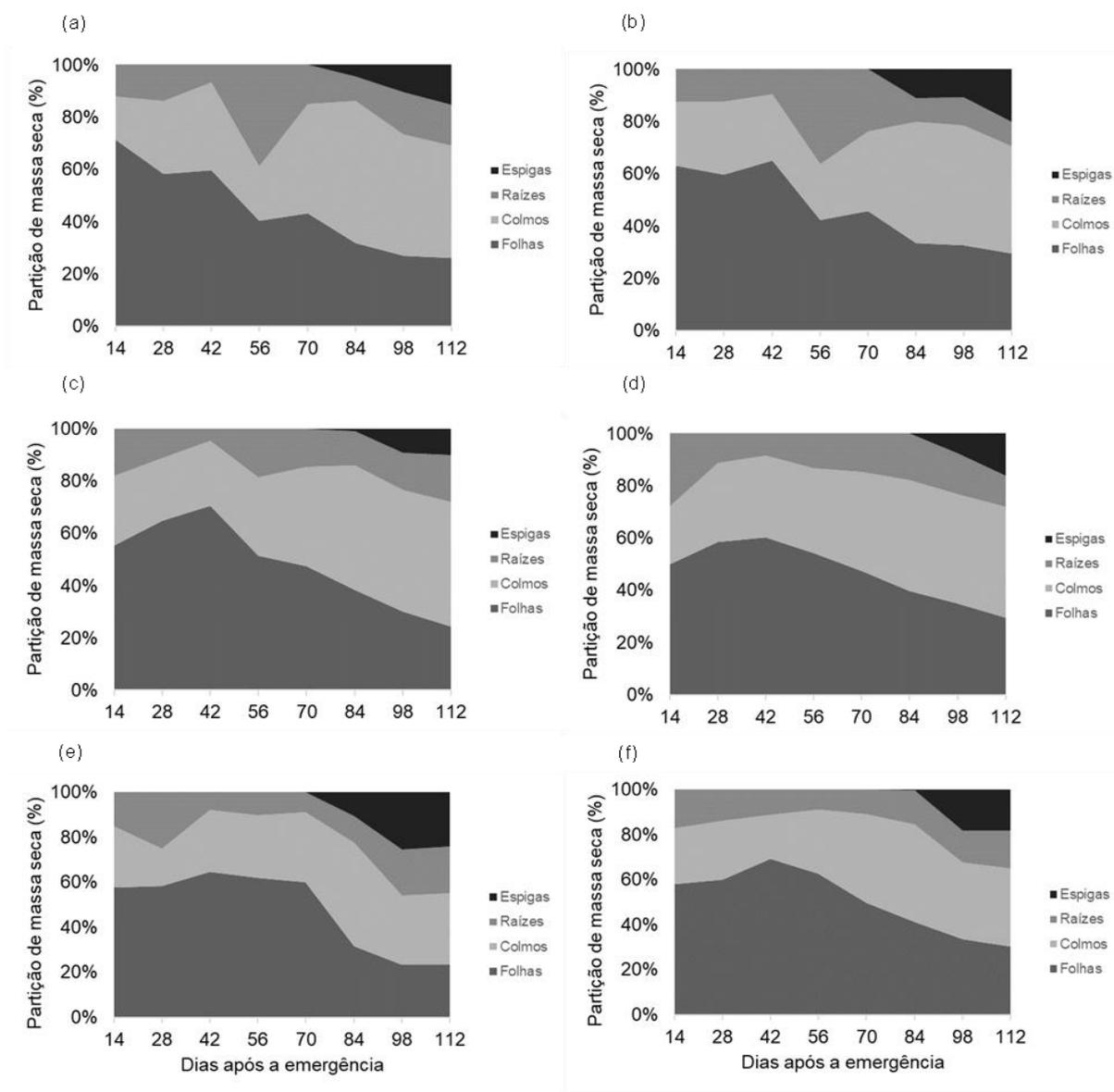


Figura 4 - Partição de massa seca em plantas de cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos. Sendo: BRS Korbel – capacidade de campo (a), BRS Korbel – restrição hídrica (b), ABI Rubi – capacidade de campo (c) ABI Rubi – restrição hídrica (d) Imperatriz – capacidade de campo (e) e Imperatriz – restrição hídrica (f). Capão do Leão – RS, 2022.

Atributos agrônômicos das plantas

Foi constatada interação significativa entre cultivares e regimes hídricos, apenas para o índice de colheita. Em contrapartida, não houve significância na interação entre os fatores para o número de perfilhos por planta, número de sementes por planta, percentual de sementes cheias por planta, percentual de sementes

chochas por plantas e massa de sementes por planta (Tabela 2).

Tabela 2- Resumo da análise de variância com os quadrados médios dos componentes de rendimento de cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos. Capão do Leão, 2022.

F.V.	G. L.	Quadrados Médio					
		NPPL	NSPL	%SEMCHIEIA	%SEMCHOCAS	MSEMPL	IC
Cultivares (C)	2	5.1667*	3571.625*	0.9368042 ^{ns}	0.9368042 ^{ns}	1.987933*	0.016266*
Regimes hídricos (R)	1	0.166 ^{ns}	1980.167*	0.6144 ^{ns}	0.6144 ^{ns}	0.0927651 ^{ns}	0.0032666 ^{ns}
C X R	2	2.1667 ^{ns}	269.7917 ^{ns}	1.475637 ^{ns}	1.475637 ^{ns}	0.028053 ^{ns}	0.0081166*
Resíduo	15	1.2333	262.5778	2.045332	2.045332	0,1978	0.0014311
CV (%)		6,66	15,11	5,06	2,00	29,40	21,41

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. F.V. – fatores de variação; G.L. – graus de liberdade; NPPL – número de perfilhos por planta; NSPL – número de sementes por planta; %SEMCHIEIA – percentual de sementes cheias por planta; %SEMCHOCAS – percentual de sementes chochas por planta; MSPL – massa de sementes por planta; IC – índice de colheita.

Avaliando o número de perfilhos por planta, foi possível constatar que houve uma diferença entre cultivares, sendo Imperatriz a cultivar que apresentou resultados superiores e distinguiu-se da cultivar ABI Rubi, a qual obteve valores inferiores para a variável analisada (Tabela 3).

Quanto ao número de sementes por planta, observou-se que as cultivares BRS Korbelt e Imperatriz obtiveram resultados superiores frente à ABI Rubi, que expressou resultados significativamente menores. Além disso, as plantas submetidas à restrição hídrica apresentaram maior número de sementes quando comparadas àquelas que foram mantidas sob capacidade de campo (Tabela 3). O estresse por restrição hídrica pode muitas vezes impactar no número de perfilhos mesmo quando imposto nos estádios pós-perfilhamento, devido a senescência elevada das folhas e morte dos perfilhos. Contudo, esta não foi a resposta obtida neste estudo, uma vez que o estresse não influenciou o número de perfilhos, nem o número de sementes por planta. Ademais, é de se considerar que a imposição do estresse hídrico ocorreu após a diferenciação das espigas, não afetando assim o número de sementes por planta mas sim o tamanho das sementes que foi atribuído a classes comerciais.

Tabela 3 – Número de perfilhos por planta e número de sementes por planta de cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos. Capão do Leão, 2022.

Números de perfilhos por planta	
Cultivares	
BRS Korbel	7 AB
ABI Rubi	6 B
Imperatriz	8 A
CV (%) 6,66	
Número de sementes por planta	
Cultivares	
BRS Korbel	128 A
ABI Rubi	86 B
Imperatriz	107 A
Regimes Hídricos	
Capacidade de campo	98 b
Restrição hídrica	116 a
CV (%) 15,11	

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas entre cultivares e letras minúsculas não diferem nas colunas entre regimes hídricos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Avaliando a massa de sementes por planta também foi possível observar diferença entre as cultivares, nesse caso BRS Korbel e Imperatriz apresentaram valores superiores à ABI Rubi (Tabela 4).

Tabela 4 – Massa de sementes por planta de cultivares de cevada. Capão do Leão, 2022.

Massa de sementes por planta	
Cultivares	
BRS Korbel	1,6369 A
ABI Rubi	0,9641 B
Imperatriz	1,9377 A
CV (%) 29,40	

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Analisando o índice de colheita, foi possível constatar que as cultivares diferiram entre si quando mantidas sob capacidade de campo, em que Imperatriz apresentou valores superiores frente à BRS Korbel e ABI Rubi. Além disso, a cultivar ABI Rubi, expressou resultados mais elevados para o índice de colheita quando as plantas foram submetidas à restrição hídrica, quando comparadas àquelas que foram mantidas em capacidade de campo (Tabela 5).

Tabela 5 - Desdobramento dos efeitos simples da interação entre cultivares e regimes hídricos para o índice de colheita. Capão do Leão, 2022.

Índice de colheita			
Regimes hídricos	Cultivar		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
Capacidade de campo	0,1525 Ba	0,0975 Bb	0,2450 Aa
Restrição hídrica	0,2075 Aa	0,1625 Aa	0,1950 Aa
CV (%) 21,41			

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

O índice de colheita (IC) é caracterizado pela eficiência de fotoassimilados direcionado para as sementes. Este é variável de acordo com o manejo, características ambientais, disponibilidade hídrica e genótipos, onde valores mais elevados indicam maior eficiência dos genótipos às condições de cultivo (YANG; ZHANG, 2010). Nesse contexto, Imperatriz demonstrou maior eficiência produtiva em relação às demais cultivares, uma vez que expressou valores superiores quando mantidas em capacidade de campo.

A disponibilidade hídrica é um dos fatores de importância capazes de alterar a quantidade e mobilização de fotoassimilados para as sementes. Contudo, estresses hídricos moderados podem não resultar na menor produção de grãos, e até elevar a eficiência no uso da água e remobilização de fotoassimilados, aumentando os valores do índice de colheita (YANG; ZHANG, 2010).

Características físicas e fisiológicas das sementes produzidas

Foi constatada interação significativa entre cultivares e regimes hídricos para os percentuais de sementes consideradas de 1^a, 2^a e 3^a classes pelo teste de retenção de peneiras, além do percentual de germinação e comprimento de parte aérea. Contudo, não foi identificada a ocorrência de interação entre os fatores, para a primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento de radícula, comprimento total, massa seca de parte aérea, massa seca de radícula e massa seca total (Tabela 6).

Tabela 6 - Resumo da análise de variância com os quadrados médios das variáveis relacionadas à qualidade física e fisiológica de cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos. Capão do Leão, 2022.

ANOVA													
Quadrados Médios													
F.V.	G. L.	% 1ª Classe	% 2ª Classe	% 3ª Classe	G %	PCG	IVG	CPA	CR	CT	Wpa	Wr	Wt
Cultivares (C)	2	569.6567*	209.1567*	120.0374*	126*	666*	98.44*	5.7292*	5,0897*	20.5299*	6.95645 ^{ns}	5.580 ^{ns}	24.9142*
Regimes hídricos (R)	1	72.22966*	245.7847*	608.2982*	352.66*	32.666 ^{ns}	1.1287 ^{ns}	4.1833*	0.00166 ^{ns}	4.3520 ^{ns}	0.6402 ^{ns}	0.176 ^{ns}	1.5504 ^{ns}
C X R	2	533.0408*	125.8019*	171.6476*	308.66*	204.66 ^{ns}	38.2857 ^{ns}	2.3294*	0.646 ^{ns}	5.0618 ^{ns}	5.8250 ^{ns}	0.649 ^{ns}	8.1030 ^{ns}
Resíduo	15	13.28745	12.31107	3.31111	48.8444	88.84	21.3706	0.4218	1.4056	2.6521	1.9944	1.4381	3.5857
CV (%)		4,87	33,77	12,38	7,72	12,82	15,77	6,64	10,19	7,60	11,86	14,71	8,73

*Significativo pelo teste de F a 5% de probabilidade. F.V. – fatores de variação; G.L. – graus de liberdade; % 1ª Classe – percentual de sementes retidas em peneiras de primeira classe; % 2ª Classe – percentual de sementes retidas em peneiras de segunda classe; % 3ª Classe – percentual de sementes retidas em peneiras de terceira classe; IVG – índice de velocidade de germinação; PCG – primeira contagem de germinação; G % - percentual de germinação; CPA – comprimento de parte aérea; CR – comprimento de radícula; CT – comprimento total; Wpa – massa seca de parte aérea; Wr – massa seca de radícula; Wt – massa seca total de plântulas.

Quanto ao percentual de sementes consideradas de primeira classe, observou-se que as cultivares diferiram entre si, de acordo com o regime hídrico a que foram submetidas. Quando mantidas em capacidade de campo, Imperatriz apresentou valores superiores frente a BRS Korbel e ABI Rubi, as quais não diferiram entre si. Já quando expostas ao estresse por restrição hídrica, BRS Korbel apresentou resultados superiores, seguido daqueles obtidos pela cultivar Imperatriz e por último por ABI Rubi. Quanto aos regimes hídricos, constatou-se que BRS Korbel apresentou maior percentual de sementes de primeira classe quando as plantas foram expostas a restrição hídrica, comparativamente àquelas que foram mantidas em capacidade de campo. Por outro lado, ABI Rubi e Imperatriz apresentaram maior percentual de sementes de primeira classe quando as plantas permaneceram com irrigação adequada (Tabela 7).

Com relação ao percentual de sementes de segunda classe, constatou-se que quando mantida a capacidade de campo, BRS Korbel e ABI Rubi apresentaram valores superiores frente a Imperatriz. Já quando imposta a restrição hídrica, ABI Rubi apresentou resultados superiores comparados aos das demais cultivares. Além disso, BRS Korbel apresentou maior percentual de sementes de segunda classe quando as plantas foram mantidas em capacidade de campo, comparativamente àquelas que foram expostas à restrição hídrica. ABI Rubi e Imperatriz não diferiram quanto aos regimes hídricos testados (Tabela 7).

Avaliando o percentual de sementes consideradas de 3ª classe, observou-se que quando mantidas em capacidade de campo BRS Korbel e ABI Rubi apresentaram valores superiores a Imperatriz. Já quando submetidas a restrição hídrica, ABI Rubi e Imperatriz apresentaram resultados mais elevados, frente a BRS Korbel. Quando comparados os regimes hídricos, constatou-se que as cultivares ABI Rubi e Imperatriz apresentaram percentuais mais elevados de sementes consideradas de terceira classe quando as plantas foram submetidas à restrição hídrica, enquanto BRS Korbel não diferiu quanto às condições hídricas testadas (Tabela 7).

Tabela 7 - Desdobramento dos efeitos simples da interação entre cultivares e regimes hídricos para percentual de sementes consideradas de 1^a, 2^a e 3^a classes. Capão do Leão, 2022.

% Sementes 1^a classificação comercial			
Regimes hídricos	Cultivar		
	BRS Korbél	ABI Rubi	Imperatriz
Capacidade de campo	73,69 Bb	71,06 Ba	85,12 Aa
Restrição hídrica	89,00 Aa	59,62 Cb	70,84 Bb
CV (%) 4,87			
% Sementes 2^a classificação comercial			
Regimes hídricos	Cultivar		
	BRS Korbél	ABI Rubi	Imperatriz
Capacidade de campo	15,46 Aa	16,64 Aa	8,67 Ba
Restrição hídrica	00,00 Bb	15,93 Aa	5,64 Ba
CV (%) 33,77			
% Sementes 3^a classificação comercial			
Regimes hídricos	Cultivar		
	BRS Korbél	ABI Rubi	Imperatriz
Capacidade de campo	10,76 Aa	12,10 Ab	6,12 Bb
Restrição hídrica	10,57 Ba	24,68 Aa	23,94 Aa
CV (%) 12,38			

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

O estresse hídrico pode provocar alterações no crescimento da planta matriz, influenciando de maneira indireta a qualidade das sementes produzidas sob essas condições. A limitação hídrica nos estádios vegetativo e reprodutivo pode resultar na formação de sementes menores e deformadas, afetar o acúmulo de matéria seca, a viabilidade e vigor das sementes (PESKE et al., 2019).

Nesse caso, a deficiência hídrica contribuiu para alterações relacionada à área foliar, fotossíntese e massa seca de plantas o que indiretamente pode ter contribuído

com a formação de sementes menores nas cultivares ABI Rubi e Imperatriz, as quais apresentaram maiores percentuais de sementes de primeira classe quando mantidas em capacidade de campo frente aquelas que estavam sob restrição hídrica. Além disso, as cultivares expressaram maior percentual de sementes de terceira classe quando submetidas a restrição hídrica se comparadas àquelas mantidas sob condições ideais de irrigação, o que evidencia o efeito do estresse no tamanho das sementes. Nesse sentido, cabe salientar que quando submetidas à restrição hídrica, as cultivares ABI Rubi e Imperatriz apresentam, respectivamente, uma redução de cerca de 17% de sementes com dimensões de primeira classe comercial e aumento de 103,97% e 291,17% de sementes de terceira classe.

As cultivares também foram responsivas quando avaliadas a primeira contagem de germinação e o índice de velocidade de germinação. Nesse caso, as cultivares BRS Korbel e Imperatriz apresentaram valores superiores frente à ABI Rubi, quando avaliada a primeira contagem de germinação (Tabela 8).

Para o índice de velocidade de germinação, observou-se que BRS Korbel apresentou valores superiores comparados aqueles obtidos por ABI Rubi, enquanto Imperatriz não diferiu de ambas cultivares (Tabela 8).

Tabela 8 – Primeira contagem de germinação e índice de velocidade de germinação de cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos. Capão do Leão, 2022.

PCG %	
Cultivares	
BRS Korbel	78 A
ABI Rubi	63 B
Imperatriz	80 A
CV (%) 15,77	
IVG	
Cultivares	
BRS Korbel	32,44 A
ABI Rubi	25,52 B
Imperatriz	29,97 AB
CV (%) 15,77	

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Avaliando o percentual de germinação, observou-se que as cultivares apresentaram diferenças entre si quando expostas a restrição hídrica. Nesse caso, BRS Korbel e Imperatriz expressaram valores superiores, frente à ABI Rubi. A cultivar ABI Rubi, no entanto, apresentou resultados superiores quando as plantas foram mantidas em capacidade de campo, quando comparadas àquelas que foram submetidas à restrição hídrica. A limitação hídrica, nesse caso, promoveu a redução de cerca de 23% da germinação de ABI Rubi. As demais cultivares, não diferiram quanto aos regimes hídricos testados (Tabela 9).

Tabela 9 - Desdobramento dos efeitos simples da interação entre cultivares e regimes hídricos para percentual de germinação e comprimento de parte aérea. Capão do Leão, 2022.

Germinação (%)			
Regimes hídricos	Cultivar		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
Capacidade de campo	94 Aa	97 Aa	92 Aa
Restrição hídrica	93 Aa	75 Bb	92 Aa
CV (%) 7,72			
Comprimento de parte aérea (cm)			
Regimes hídricos	Cultivar		
	BRS Korbel	ABI Rubi	Imperatriz
Capacidade de campo	10,59 Aa	9,83 Aa	10,13 Aa
Restrição hídrica	10,89 Aa	8,88 Ba	8,28 Bb
CV (%) 6,64			

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

Com relação ao comprimento de parte aérea, observou-se que as cultivares diferiram entre si quando expostas ao estresse hídrico, sendo BRS Korbel a cultivar que obteve resultados superiores frente às demais. Quanto aos regimes hídricos, constatou-se que Imperatriz apresentou resultados significativamente menores quando imposta a restrição hídrica, comparada à capacidade de campo. Nesse caso, a cultivar apresentou redução de aproximadamente 18% do comprimento de parte aérea quando as plantas foram submetidas ao estresse se comparadas aquelas que

permaneceram em condições ideais de irrigação. As demais cultivares não diferiram quanto às condições hídrica empregadas (Tabela 9).

A alteração do metabolismo e das taxas fotossintéticas das plantas em decorrência da limitação hídrica, altera o crescimento e o desenvolvimento vegetal, podendo refletir na redução da qualidade fisiológica das sementes, existindo respostas distintas entre genótipos (PRYOR et al., 2006).

As cultivares apresentaram diferenças entre si quando avaliados o comprimento de raiz, comprimento total e massa seca total de plântulas. Para o comprimento de raiz, BRS Korbél apresentou resultados superiores quando comparada a Imperatriz, enquanto ABI Rubi não diferiu de ambas cultivares. Similarmente, BRS Korbél apresentou resultados significativamente mais elevados frente à ABI Rubi e Imperatriz, quando avaliados o comprimento total e massa seca total de plântulas (Tabela 10).

Tabela 10 - Comprimento de raiz, comprimento total e massa seca total de cultivares de cevada submetidas a diferentes regimes hídricos. Capão do Leão, 2022.

Comprimento de raiz (cm)	
Cultivares	
BRS Korbél	12,42 A
ABI Rubi	11,65 AB
Imperatriz	10,83 B
CV (%) 10,19	
Comprimento total (cm)	
Cultivares	
BRS Korbél	23,16 A
ABI Rubi	21,00 B
Imperatriz	20,03 B
CV (%) 7,60	
Wt	
Cultivares	
BRS Korbél	23,71 A
ABI Rubi	20,58 B
Imperatriz	20,73 B
CV (%) 8,73	

*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas não diferem nas colunas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Cada cultivar expressa características intrínsecas a seus genótipos, o que pode levar a respostas distintas para determinadas condições de cultivo, por isso é fundamental que sejam avaliadas e consideradas, uma vez que auxiliam na determinação da melhor escolha para cada situação.

5.4 Conclusões

A massa seca total, taxa de produção de massa seca, taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida e a eficiência de conversão da energia solar são superiores para plantas mantidas em capacidade de campo, contudo, há distinção nas respostas entre as cultivares.

Quando mantidas em capacidade de campo, a cultivar Imperatriz apresenta maior particionamento de assimilados para espigas do que as demais cultivares. Já quando expostas a restrição hídrica, a cultivar BRS Korbel inicia o particionamento de assimilados para espigas aos 70 dias, enquanto as demais cultivares iniciam o processo aos 84 dias após a emergência.

O estresse por restrição hídrica afeta negativamente a qualidade das sementes produzidas nas cultivares ABI Rubi e Imperatriz. Quando submetidas à restrição hídrica, as cultivares ABI Rubi e Imperatriz apresentam, respectivamente, uma redução de cerca de 17% de sementes com dimensões de primeira classe comercial e aumento de 103,97% e 291,17% de sementes de terceira classe. A limitação hídrica também promove a redução de cerca de 23% da germinação de ABI Rubi e aproximadamente 18% do comprimento de parte aérea de Imperatriz.

6 Considerações finais

A partir da análise dos resultados voltados à resposta das cultivares de cevada ao estresse por restrição hídrica em diferentes estádios de desenvolvimento das plantas, é possível observar que a deficiência hídrica influencia negativamente o desempenho das cultivares, sendo a intensidade de resposta dependente dos genótipos, estágio de desenvolvimento das plantas e período de ocorrência do estresse.

Quando imposto durante o desenvolvimento inicial, o estresse por restrição hídrica, associado ou não a alta temperatura, afeta negativamente a germinação, vigor e crescimento inicial das cultivares. Além disso, quando expostas a restrição hídrica e alta temperatura as plântulas de cevada expressam maior atividade de enzimas antioxidantes, assim como resultados mais elevados do peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica, aminoácidos e açúcares solúveis totais, o que evidencia o efeito dos fatores de estresse no desempenho fisiológico, enzimático e bioquímico das cultivares.

A limitação hídrica por diferentes períodos também afeta o crescimento inicial, partição de massa seca, desempenho enzimático e bioquímico das cultivares. O estresse promove a redução do comprimento de parte aérea, comprimento total, área foliar, clorofila *a*, *b* e total, razão de área foliar e razão de massa foliar das plantas, contudo, a resposta é diferencial de acordo com a cultivar e tempo de permanência das condições estressoras. A partição de assimilados para as raízes também é modificada com o estresse, sendo mais elevada quando as plantas estão sob suspensão hídrica.

Quando submetidas ao déficit hídrico, todas as cultivares apresentam atividade mais elevada de enzimas antioxidantes, além da peroxidação lipídica e açúcares solúveis totais, com aumento dos valores conforme o maior período de exposição ao estresse.

A restrição hídrica quando imposta nos estádios vegetativo e reprodutivo da cevada também afeta o crescimento e partição de massa seca das plantas, além de

alterar negativamente a qualidade das sementes produzidas. Nesse caso, o estresse promove a redução da massa seca total, taxa de produção de massa seca, taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida e a eficiência de conversão da energia solar das plantas, com diferenciação de resposta entre as cultivares. O estresse também promove alteração no particionamento de assimilados para as espigas entre as cultivares, havendo antecipação do processo em uma das cultivares, frente às demais.

A qualidade das sementes produzidas também é afetada pelo estresse, as quais apresentam alterações físicas e fisiológicas. Nesse caso, há uma redução de cerca de 17% de sementes com dimensões de primeira classe comercial e aumento de até 291% de sementes de terceira classe. A limitação hídrica também promove a redução de cerca de 23% da germinação e aproximadamente 18% do comprimento de parte aérea das plântulas. Contudo, cabe salientar que há distinção das respostas entre as cultivares.

Em síntese, através do desenvolvimento deste estudo é possível observar a resposta diferencial das cultivares de cevada frente à restrição hídrica em estádios distintos de desenvolvimento das plantas. Nesse sentido, o estresse é capaz de afetar as cultivares desde o estágio de plântula até a qualidade das sementes produzidas, alterando o desempenho fisiológico, enzimático e bioquímico destas.

Portanto, o desenvolvimento deste trabalho procura contribuir com o panorama relacionado a produção de cevada no país frente às mudanças climáticas, especialmente quando relacionada ao aumento da temperatura global, a qual é considerada uma problemática cada vez mais urgente dentro da produção agrícola.

Referências

- ABBAS, A. *et al.* Cadmium chloride assisted re-crystallization of CdTe: The effect of annealing over-treatment. *In: 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*. IEEE, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/269993722_Cadmium_chloride_assisted_re-crystallization_of_CdTe_The_effect_of_annealing_over-treatment. Acesso em: 20 abr. 2023.
- ABDELAAL, K. A. A. *et al.* Effect of some osmoregulators on photosynthesis, lipid peroxidation, antioxidative capacity, and productivity of barley (*Hordeum vulgare* L.) under water deficit stress. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 30, p. 30199-30211, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-3023-x>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- ABOBATTA, W. F. Drought adaptive mechanisms of plants—a review. **Advances in Agriculture and Environmental Science**, v. 2, n. 1, p. 62-65, 2019. Disponível em: https://ologyjournals.com/aaeoa/aaeoa_00022.pdf. Acesso em: 10 jan. 2023.
- AHANGER, M. A. *et al.* Plant growth under water/salt stress: ROS production; antioxidants and significance of added potassium under such conditions. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 23, p. 731-744, 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5671444/>. Acesso em: 22 jan. 2023.
- AHMED, I. M. *et al.* Physiological and molecular analysis on root growth associated with the tolerance to aluminum and drought individual and combined in Tibetan wild and cultivated barley. **Planta**, v. 243, p. 973-985, 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26748913/>. Acesso em: 08 fev. 2023.
- AKITHA D. 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. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40011-013-0244-0>. Acesso em: 07 jan. 2023.
- AL-KHAYRI, J. M. *et al.* **Advances in Plant Breeding Strategies: Industrial and Food Crops**. Springer, 2019. 744 p. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-23265-8>. Acesso em: 06 dez. 2022.
- AMABILE, R. F.; FALEIRO, F. G. **A cevada irrigada no cerrado**. Embrapa, 2014. 127 p. Disponível em: <http://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00084590.pdf>.

Acesso em: 13 dez. 2022.

ANJUM, S. A. *et al.* Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. **Journal of Agronomy and crop science**, v. 197, n. 3, p. 177-185, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x>. Acesso em:

ANJUM, S. A. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 9, p. 2026 – 203, 2011. Disponível em: https://academicjournals.org/article/article1380900919_Anjum%2520et%2520al.pdf. Acesso em: 13 dez. 2022.

ANJUM, S. A. *et al.* Drought induced changes in growth, osmolyte accumulation and antioxidant metabolism of three maize hybrids. **Frontiers in plant science**, v. 8, p. 69, 2017. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5292435/>. Acesso em 11 dez. 2022.

ANTUNES, J. Cenário favorável para a cevada. Embrapa Trigo, 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62654017/cenario-favoravel-para-a-cevada>>. Acesso em: 11 dez. 2022.

APEL, K.; HIRT, H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 55, p. 373-399, 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15377225/>. Acesso em: 12 mar. 2023.

AROCA, R; PORCEL, R; RUIZ-LOZANO, J. M. Journal of Experimental Botany. **Advance**, v. 13, p. 1-15, 2011. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/63/1/43/555936>. Acesso em: 20 fev. 2023.

ASGHER, M. *et al.* Nitric oxide signaling and its crosstalk with other plant growth regulators in plant responses to abiotic stress. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 3, p. 2273-2285, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27812964/>. Acesso em: 04 jan. 2023.

ASKARNEJAD, M. R.; SOLEYMANI, A.; JAVANMARD, H. R. Barley (*Hordeum vulgare* L.) physiology including nutrient uptake affected by plant growth regulators under field drought conditions. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 15, p. 2201-2217, 2021. Disponível em: https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/8144020. Acesso em: 03 abr. 2023.

AUMONDE, T. Z. *et al.* **Estresses ambientais e a produção de sementes: Ciência e Aplicação**. 1. ed. Pelotas-RS: Cópias Santa Cruz, 2017. 313 p. 06 jan. 2023. 08 mar. 2023.

AUMONDE, T. Z. *et al.* Análise de crescimento do híbrido de mini melancia Smile® enxertada e não enxertada. **Interciência**, v. 36, n. 9, p. 677-681, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33921204007.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2023.

AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; MONTEIRO, M.A.; KOCH, F. Análise de crescimento e do vigor como ferramenta de avaliação do estresse ambiental. *In*: AUMONDE, T. Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E. G.; VILLELA, F. A. **Estresses ambientais e a produção de sementes**: ciência e aplicação. Pelotas: Ed. Cópias Santa Cruz, 2017. p. 257-275. 18 mar. 2023.

AZEVEDO, R. A. *et al.* 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. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1034/j.1399-3054.1998.1040217.x>. Acesso em: 21 jan. 2023.

BAILLY, C. Active oxygen species and antioxidants in seed biology. **Seed Science Research**, v. 14, n. 2, p. 93-107, 2004. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/seed-science-research/article/abs/active-oxygen-species-and-antioxidants-in-seed-biology/5B6F78DF50B59FAEC17E35D968E546E5>. Acesso em: 28 jan. 2023.

BARBOSA, M. R.; *et al.* Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/StM4DybRNLZwJbpPNZ7gbVv/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 28 jan. 2023.

BARRS, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian journal of biological sciences**, v. 15, n. 3, p. 413-428, 1962. Disponível em: [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1881811](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1881811). Acesso em: 18 jan. 2023.

BASU, S. *et al.* Plant adaptation to drought stress. **F1000Research**, v. 5, 2016. Disponível em: <https://f1000research.com/articles/5-1554>. Acesso em: 18 jan. 2023.

BATISTA, P. S. C. **Tolerância ao estresse hídrico em sorgo granífero**. 2018. Tese de Doutorado (Produção Vegetal) - de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2018. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/1898>. Acesso em: 20 mar. 2023.

BATOOL, A. *et al.* Partial and full root-zone drought stresses account for differentiate root-sourced signal and yield formation in primitive wheat. **Plant Methods**, v. 15, n. 1, p. 1-14, 2019. Disponível em: <https://plantmethods.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13007-019-0461-5>. Acesso em: 23 mar. 2023.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: Noções básicas. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 2003. 41 p. Disponível em: <https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/biologia/DURVALINAMARIAM.DOS SANTOS/texto-12-conceitos-de-analise-do-crescimento-atualizado-2018.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2023.

BEWLEY, J. D. *et al.* **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. 3 ed. Springer, 2013. 392 p.

BHATTACHARYA, A. Nitrogen-use efficiency under changing climatic conditions. *In: BHATTACHARYA, A. **Changing climate and resource use efficiency in plants***, 2019, p. 181-240.

BIELESK, R. L.; TURNER, A. Separation and estimation of amino acids in crude plant extracts by thin-layer electrophoresis and chromatography. **Analytical Biochemistry**, v. 17, p. 278 – 293, 1966. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0003269766902065>. Acesso em: 22 jan. 2023.

BLATTNER F. R., PLEINES, T, JAKOB, S. S. Rapid radiation in the barley genus *Hordeum* (Poaceae) during the Pleistocene in the Americas. *In: GLAUBRECHT, M. (ed) **Evolution in action***. Berlin: Springer, p. 17 – 33, 2010.

BLUM, A. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. **Plant growth regulation**, v. 20, p. 135-148, 1996. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00024010>. Acesso em: 19 mar. 2023.

BORNARE, S. S. *et al.* Perspective of barley drought tolerance; methods and mechanisms comparable to other cereals. **Journal of Progressive Agriculture**, v. 3, n. 2, p. 68-70, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/270887923_Perspective_of_barley_drought_tolerance_methods_and_mechanisms_comparable_to_other_cereals. Acesso em: 13 fev. 2023.

BOROWSKI, D. Z. **Efeito do genótipo, ambiente e suas interações em características agrônômicas e de qualidade em cevada cervejeira no sul do Brasil**. Pós-graduação em Agronomia – Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Passo Fundo, RS, 2012. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/handle/tede/528>. Acesso em: 27 fev. 2023.

BOTHMER, R. V. *et al.* Importance of barley, the domestication of cultivated barley. *In: VON BOTHMER, R.; HINTUM, T. V.; KNÜPFER, H.; SATO, K. (Eds.). **Diversity in Barley (Hordeum Vulgare)***. Amsterdam:Elsevier, 2003. p. 9-27. Disponível em: <https://www.elsevier.com/books/diversity-in-barley-hordeum-vulgare/von-bothmer/978-0-444-50585-9>. Acesso em 01 dez. 2022. Disponível em: Acesso em: 04 dez. 2022.

BOUDIAR, R. *et al.* Effects of low water availability on root placement and shoot development in landraces and modern barley cultivars. **Agronomy**, v. 10, n. 1, p. 134, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/1/134>. Acesso em: 21 mar. 2023.

BOWNE, J. B. *et al.* Drought responses of leaf tissues from wheat cultivars of differing drought tolerance at the metabolite level. **Molecular plant**, v. 5, n. 2, p. 418-429, 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22207720/>. Acesso em:

16 dez. 2022.

BOYLES, S. L.; ANDERSON, V. L.; KOCH, K. B. Feeding barley to cattle. The Beef InfoBase Version, v.1, 2001. Disponível em: <<https://agmr.osu.edu/sites/agmr/files/imce/pdfs/Beef/FeedingBarleyToCattle.pdf>> Acesso em 05 mar. 2023.

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. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/942051/>. Acesso em: 15 jan. 2023.

BRASIL - Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009. 399 p. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise__sementes.pdf. Acesso em: 07 jan. 2023.

BRASIL. Portaria nº 691 de 22 de novembro de 1996. **Define as características de identidade e qualidade da cevada para fins cervejeiros**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 1996. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-1/normativos-cgqv/pocs/portaria-no-691-de-22-de-novembro-de-1996-cevada-cervejeira/view>>. Acesso em: 30 nov. 2022.

BRITANNICA, **The Editors of Encyclopaedia**. "Barley". *Encyclopedia Britannica*, **3 Apr. 2020**. Disponível em: <<https://www.britannica.com/plant/barley-cereal>. Accessed 28 September 2021>. Acesso em: 11 mai. 2022.

BRITO, C. D. *et al.* Osmoconditioning prevents the onset of microtubular cytoskeleton and activation of cell cycle and is detrimental for germination of *Jatropha curcas* L. seeds. *Plant Biology*, v. 18, n. 6, p. 1053-1057, 2016. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/plb.12482>. Acesso em: 18 abr. 2023.

CACIL. www.cacil.com.br/cevada. Acesso em: 10 jul. 2023.

CAIERAO, E.; ACOSTA, A. S. Uso industrial de grãos de cevada de lavouras dessecadas em précolheita. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 9, p. 1277-1282, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/rjqhxD37VFXyNSMLmVVckPr/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 26 jan. 2023.

CAIERÃO, E. **Cevada: história e evolução**. Passo Fundo – RS: Embrapa Trigo, 2008. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/821797/1/ID100272008PLp289cevada.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2022.

CAIRES, A. R. L. *et al.* Water stress response of conventional and transgenic soybean plants monitored by chlorophyll a fluorescence. *Journal of fluorescence*, v.

20, n. 3, p. 645-649, 2010. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10895-009-0594-4>. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20145983/>. Acesso em: 19 fev. 2023.

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. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1399-3054.1991.tb00121.x>. Acesso em: 19 jan. 2023.

CARPENTIERI-PIPOLO, V.; MINELLA, E. Cevada alimento funcional-Alternativa para a diversificação e agregação de valor na cadeia produtiva de cereais. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** 98. Passo Fundo-RS: Embrapa Trigo, 2021.

Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1132148>. Acesso em: 19 jan. 2023.

CARVALHO M. H. C. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. **Plant Signaling & Behavior**, v.3, p. 156-165, 2008.

Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19513210/>. Acesso em: 20 jan. 2022.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**.

Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590 p. 20 jan. 2023.

CAVERZAN, A.; CASASSOLA, A; BRAMMER, S. P. Antioxidant responses of wheat plants under stress. **Genetics and molecular biology**, v. 39, n. 1, p. 1-6, 2016.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/gmb/a/xkw6SGYSXh9YdsbCdM637jd/?lang=en>. Acesso em: 16 dez. 2022.

CHAKRABORTY U., PRADHAN, B. Oxidative stress in five wheat varieties (*Triticum aestivum* L.) exposed to water stress and study of their antioxidant enzyme defense system, water stress responsive metabolites and H₂O₂ accumulation. Brazilian Journal of **Plant Physiology**, v. 24, p. 117-130, 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/bjpp/a/x7PQDv35NZmskVKLqkQvYxd/?lang=en>. Acesso em: 29 jan. 2023.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. **Functional plant biology**, v. 30, n. 3, p. 239-264, 2003. Disponível em: Acesso em: 27 jan. 2023.

CHEN, D. *et al.* Silicon moderated the K deficiency by improving the plant-water status in sorghum. **Sci Rep**, v. 6, p. 228-82, 2016. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4785406/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

CHEN, H.; QUALLS, R. G.; MILLER, G.C. Adaptive responses of *Lepidium latifolium* to soil flooding: biomass allocation, adventitious rooting, aerenchyma formation and ethylene production. **Environmental and Experimental Botany**, v. 48, p.119-128, 2002. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/222697339_Adaptive_responses_of_Lepidi

um_latifolium_to_soil_flooding_Biomass_allocation_adventitious_rooting_aerenchyma_formation_and_ethylene_production. Acesso em: 27 mar. 2023.

CHOUHDURY, F. K. *et al.* Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. **The Plant Journal**, v. 90, n. 5, p. 856-867, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27801967/>. Acesso em: 29 dez. 2022.

CIA, M. C. **Resposta antioxidativa em variedades de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) sob déficit hídrico**. 2010. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11137/tde-18032010-150458/pt-br.php>. Acesso em: 20 mar. 2023.

CLAUSSEN, W. Proline as a measure of stress in tomato plants. **Plant Science**, v. 168, p. 241-248, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/222570602_Proline_as_a_Measure_of_Stress_in_Tomato_Plants. Acesso em: 29 dez. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira, 2021/2022 – 3º Levantamento. Disponível em: <file:///C:/Users/jessi/Downloads/E-book_BoletimZdeZSafrasZ-Z3oZlevantamento-compactado.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2022.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Portal de informações agropecuárias. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>>. Acesso em: 10 dez. 2022.

CONDÉ, A. B. T. *et al.* Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de trigo sob cultivo de sequeiro em Minas Gerais. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 40, n. 1, p. 41-52, 2010. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/5618>. Acesso em: 24 jan. 2023.

CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture – not by affecting ATP synthesis. **Trends Plant Sci.**, v. 5, p. 187-188, 2000. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/plant-science/fulltext/S1360-1385\(00\)01625-3](https://www.cell.com/trends/plant-science/fulltext/S1360-1385(00)01625-3). Acesso em: 18 fev. 2023.

COSTA, R. C. L. *et al.* Biochemical and physiological responses in two *Vigna unguiculata* (L.) Walp. cultivars under water stress. **Journal of Agronomy**, v. 7, n. 1, p. 98-101, 2008. Disponível em: https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/135967/1/Costa_et_al_2008.pdf. Acesso em: 12 fev. 2023.

CQFS-RS/SC – Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 376p.

DANTAS, S. G. **Crescimento inicial e morfologia foliar em plantas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. e *Erythrina velutina* Mart. ex Benth, sob estresse hídrico**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) -

Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/13517>. Acesso em: 15 dez. 2022.

DASZKOWSKA-GOLEC, A. *et al.* Genetic and physiological dissection of photosynthesis in barley exposed to drought stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 24, p. 6341, 2019. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6940956/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

DAT, J. *et al.* Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. **Cellular and Molecular Life Sciences CMLS**, v. 57, p. 779-795, 2000. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10892343/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

DAVIES, W. J.; TARDIEU, F.; TREJO, C. L. How do chemical signals work in plants that grow in drying soil? **Plant Physiology**, v. 104, n. 2, p. 309, 1994. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC159200/>. Acesso em: 15 mar. 2023.

DAWOOD, M. F. A; ABEED, A. H. A; ALDABY, E. E. S. Titanium dioxide nanoparticles model growth kinetic traits of some wheat cultivars under different water regimes. **Plant Physiology Reports**, v. 24, n. 1, p. 129-140, 2019. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40502-019-0437-5>>. Acesso em: 01 fev. 2023.

DAWSON, I. K. *et al.* Barley: a translational model for adaptation to climate change. **New Phytologist**, v. 206, n. 3, p. 913-931, 2015. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25605349/>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

DBIRA, S. *et al.* Variable levels of tolerance to water stress (drought) and associated biochemical markers in Tunisian barley landraces. **Molecules**, v. 23, n. 3, p. 613, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/23/3/613>. Acesso em: 29 jan. 2023.

DE MORI, C; MINELLA, E. **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. 28 p.

DEL RÍO, L. A. *et al.* Plant superoxide dismutases: function under abiotic stress conditions. *In*: GUPTA, D. K.; PALMA, J. M.; CORPAS, F. J. **Antioxidants and Antioxidant Enzymes in Higher Plants**. Cham: Springer International Publishing, 2018. p.1-26.

DEMIDCHIK, V. Mechanisms of oxidative stress in plants: from classical chemistry to cell biology. **Environmental and experimental botany**, v. 109, p. 212-228, 2015. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/Mechanisms-of-oxidative-stress-in-plants-From-classical-chemistry-to-cell-biology.pdf. Acesso em: 16 mar. 2023.

DEMORI, C.; MINELLA, E. Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada. **Embrapa Trigo-Documentos (INFOTECA-E)**, 2012. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/969146/aspectos-economicos-e-conjunturais-da-cultura-da-cevada>. Acesso em: 16 jan. 2023.

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

DUTRA, A. F. *et al.* Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de feijão caupi cultivado sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciências Agrária**, v. 10, n. 2, p. 189-197, 2015. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v10i2a3912>. Acesso em: 19 fev. 2023.

EARL, H. J.; DAVIS, R. F. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 3, p. 688–696, 2003. Disponível em: https://www.who.int/health-topics/drought?gclid=CjwKCAjwpuajBhBpEiwA_Ztfha4VthV1KBIOchphMKLIVMoFNWgQKKq5leDER0D3yudTgpyL9HncWBoCorwQAvD_BwE#tab=tab_1. Acesso em: 17 jan. 2023.

EGERT, M.; TEVINI, M. Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). **Environmental and Experimental Botany**, v. 48, p. 43-49, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(02\)00008-4](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00008-4). Acesso em: 10 fev. 2023.

ELAKHDAR, A. *et al.* Barley with improved drought tolerance: Challenges and perspectives. **Environmental and Experimental Botany**, v. 201, p. 104965, 2022.

EMBRAPA. **A cevada no Brasil**. Documento Online 139. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2012. Disponível em: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do139_4.htm. Acesso em: 10 dez. 2022.

EM-DAT: **The OFDA/CRED International Disaster Database**. Disponível em: <https://www.emdat.be>. Acesso em: 10 dez. 2022.

FÀBREGAS, N.; FERNIE, A. R. The metabolic response to drought. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 4, p. 1077-1085, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30726961/>. Acesso em: 30 mar. 2023.

FAO/IAEA. **Mutant variety database**. 2019. Disponível em: <http://www.naweb.iaea.org/nafa/pbg/index.html>. Acesso em: 12 abr. 2023.

FAOSTAT. Statistical database. **Food, agriculture organization of the United Nations**, 2018. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em 30 mar. 2023.

FERRARI, J.; POSSAMAI, E. Incidência de *Bipolaris sorokiniana* nas sementes e transmissão para plantas de cevada. **Ciências agrárias**. v. 38, p. 320-329, 2015. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/16936>. Acesso em: 28 jan. 2023.

FIAZ, K. *et al.* Drought impact on Pb/Cd toxicity remediated by biochar in *Brassica campestris*. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 14, n. 4, p. 845-854, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162014005000067>. Acesso em: 10 fev. 2023.

FIGUEIROA, M. F. *et al.* Crescimento de plantas jovens de *Myracrodru onurundeuva* Allemão (Anacardiaceae) sob diferentes regimes hídricos. **Acta Botânica Brasilica**, v. 18, n. 3, p. 1-14, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/NmZbmhBqYcPXQJLzyXfhfMR/?lang=pt>. Acesso em: 25 fev. 2023.

FLOWERS, T. *et al.* QTL: their place in engineering tolerance of rice to salinity. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 99-106, 2000. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/51/342/99/485746>. Acesso em: 22 dez. 2022.

FOYER, C. H.; NOCTOR, G. Regulação redox em organismos fotossintéticos: sinalização, aclimação e implicações práticas. **Antioxidantes e sinalização redox**, v. 11, n. 4, p. 861-905, 2009. Disponível em: <http://www.ledson.ufla.br/fotossintese-em-plantas-superiores/danos-ao-cr-do-psii/regulacao-redox/>. Acesso em: 26 mar. 2023.

FURLAN, A. *et al.* Physiological and biochemical responses to drought stress and subsequent rehydration in the symbiotic association Peanut-*Bradyrhizobium* sp. **ISRN Agronomy**, v. 2012, 318083, p. 1-8, 2012. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/318083/>. Acesso em: 21 dez. 2022.

GALLÉ, A. *et al.* The Mediterranean evergreen *Quercus ilex* and the semi-deciduous *Cistus albidus* differ in their leaf gas exchange regulation and acclimation to repeated drought and re-watering cycles. *Journal of Experimental Botany*, v. 62, n. 14, p. 5207-5216, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21813795/>. Acesso em: 21 dez. 2022.

GHOTBI-RAVANDI, A. A. *et al.* Effects of mild and severe drought stress on photosynthetic efficiency in tolerant and susceptible barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 200, n. 6, p. 403-415, 2014. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jac.12062>. Acesso em: 21 dez. 2022.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S. K. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. **Plant physiology**, v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16659839/>. Acesso em: 08 jan. 2023.

GILL, S. S.; TUTEJA N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p. 909-930, 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20870416/>. Acesso em: 29 jan. 2023.

GLUTEN, H., ERIS, A. Effect of heat stress on peroxidase activity and total protein content in strawberry plants. **Plant Science**, v. 166 n. 3, p. 739-744, 2004.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168945203004916>. Acesso em: 29 jan. 2023.

GOUVÊA, L. F. C.; MAIA, G. D. Avaliação do poder germinativo e teor de proteína para sementes de cevada brasileira com vistas ao processo de malteação. *In: X CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA INICIAÇÃO CIENTÍFICA*. São Paulo: Blucher, 2014. p. 760-764. Disponível em:

<https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/avaliacao-do-poder-germinativo-e-teor-de-protena-para-sementes-de-cevada-brasileira-com-vistas-ao-processo-de-malteao-11167>. Acesso em: 19 dez. 2022.

GOWING, D. J. G.; DAVIES, W. J.; JONES, H. G. A positive root-sourced signal as an indicator of soil drying in apple, *Malus x domestica* Borkh. **Journal of Experimental Botany**, v. 41, n. 12, p. 1535-1540, 1990. Disponível em:

<https://www.jstor.org/stable/23693370>. Acesso em:

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

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0003269765900126>. Acesso em: 13 mar. 2023.

GRAMENE. Consultado em 2019. Species: Barley (*Hordeum*). Copyright © 2000-2007 **Cold Spring Harbor Laboratory and Cornell University**, USA. Last modified: Mon Oct 1 11:53:49 2007 Disponível em: <http://www.gramene.org/>. Acesso em: 16 dez. 2023.

GRATÃO, P. L. *et al.* Making the life of heavy metalstressed plants a little easier. **Functional Plant Biology**, v. 32, p.481-494, 2005. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32689149/>. Acesso em: 17 jan. 2023.

GREGOROVÁ, Z. *et al.* Drought – in-duced responses of physiology, metabolites, and PR pro-teins in *Triticum aestivum*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 63, n. 37, p. 8125 – 813, 2015. Disponível em:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26330002/>. Acesso em: 12 jan. 2023.

GROß, F.; DURNER, J.; GAUPELS, F. Nitric oxide, antioxidants and prooxidants in plant defence responses. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 419, p. 1-15, 2013.

Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2013.00419/full>.

Acesso em: 20 jan. 2023.

HALLIWELL, B.; GUTTERIDGE, J. M. C. **Free radicals in biology and medicine**. Oxford university press, USA, 2015.

HASANUZZAMAN, M. *et al.* Silicon-mediated regulation of antioxidant defense and glyoxalase systems confers drought stress tolerance in *Brassica napus* L. **South African Journal of Botany**, v. 115, p. 50-57, 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629917308876>. Acesso em 02 mar. 2023.

- HASSANI, A. *et al.* Effet de la Salinite Sur L'eau et Certains Osmolytes Chez L'orge (Hordeum Vulgare). *Eur. J. Sci. Res.*, v. 23, p. 61-69, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237204719_Effet_de_la_Salinite_Sur_L'eau_et_Certains_Osmolytes_Chez_L'orge_Hordeum_Vulgare. Acesso em: 19 jan. 2023.
- HEBBACHE, H. *et al.* Effect of water deficit stress on physiological traits of some Algerian barley genotypes. **Journal of Central European Agriculture**, v. 22, n. 2, p. 295-304, 2021. Disponível em: <https://jcea.agr.hr/en/issues/article/3073>. Acesso em: 12 mar. 2023.
- HENNING, F. A. *et al.* Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v. 69, p. 727-734, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/m5VJ9yQRYTzhPVH4vTB9sbb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 jan. 2023.
- HESSINI, K. *et al.* Biomass production, photosynthesis, and leaf water relations of *Spartina alterniflora* under moderate water stress. **J. Plant Res.**, v. 121, p. 311–318, 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18389173/>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural land Forest Meteorology**, v. 103, p. 137-157, 2000. Disponível em: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20000710449>. Acesso em: 15 dez. 2023.
- HOSSAIN, M. M. *et al.* Differences between soybean genotypes in physiological response to sequential soil drying and rewetting. **The Crop Journal**. v. 2, p. 366-380, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214514114000737>. Acesso em: 20 jan. 2023.
- HU, H.; XIONG, L. Genetic engineering and breeding of drought-resistant crops. **Annual review of plant biology**, v. 65, p. 715-741, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24313844/>. Acesso em: 17 dez. 2022.
- HUANG, H. *et al.* Mechanisms of ROS regulation of plant development and stress responses. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2019. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00800/full>. Acesso em: 17 dez. 2022.
- HUGHES, P. S.; BAXTER, E. D. “An overview of the malting and brewing processes.” *The Royal Society of Chemistry, In beer: quality, safety and nutritional aspects*, Cambridge, **UK**. p. 14 -39, 2001. Disponível em: <<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20013066434>>. Acesso em: 01 dez. 2022.
- HUSEYNOVA, I. M. *et al.* Differential responses of antioxidative system to soil water

shortage in Barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes. **Advances in Biological Chemistry**, v. 4, n. 06, p. 351, 2014. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=50289>. Acesso em: 02 dez. 2022.

HUSSAIN, H. A. *et al.* Chilling and drought stresses in crop plants: implications, cross talk, and potential management opportunities. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 393, 2018. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.00393/full>. Acesso em: 02 dez. 2022.

HUSSAIN, M. *et al.* Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. **Agricultural Water Management**, v. 201, p. 152-166, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377418300787>. Acesso em: 16 dez. 2022.

IKEGAMI, M.; WHIGHAM, D. F.; WERGER, M. J. A. Optimal biomass allocation in heterogeneous environments in a clonal plant—spatial division of labor. **Ecological modelling**, v. 213, n. 2, p. 156-164, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304380007006242>. Acesso em: 25 fev. 2023.

IPCC, IPoCC. Summary for Policymakers” in Global warming of 1.5° C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5° C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. **Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization**, v. 32, 2018. Disponível em: https://unfoundation.org/blog/post/intergovernmental-panel-climate-change-30-years-informing-global-climate-action/?gclid=CjwKCAjwpuajBhBpEiwA_ZtfhYmEbObj9ft4_X_yE409Ldq1ftixhu4Plmfjy5dUhKc-cgwoZDfNsxoCEEIQAvD_BwE. Acesso em: 18 jan. 2023.

JALEEL, C. A. *et al.* Water deficit stress mitigation by calcium chloride in *Catharanthus roseus*: Effects on oxidative stress, praline metabolism and indole alkaloid accumulation. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 60, p. 110-116, 2007. Disponível em: <https://research.uaeu.ac.ae/en/publications/water-deficit-stress-mitigation-by-calcium-chloride-in-catharanth>. Acesso em: 23 jan. 2023.

JÚNIOR, M. **Tolerância de cultivares de cana-de-açúcar ao déficit hídrico: relações hídricas, trocas gasosas, fluorescência da clorofila e metabolismo antioxidante.** 2017. Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2017. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/3368>. Acesso em: 23 jan. 2023.

KACIENĚ, G.; MILČĚ, J. Ž. E.; JUKNYS, R. Role of oxidative stress on growth responses of spring barley exposed to different environmental stressors. **Journal of Plant Ecology**, v. 8, n. 6, p. 605-616, 2015. Disponível em:

<https://academic.oup.com/jpe/article/8/6/605/907652?login=false>. Acesso em 02 dez. 2022.

KACZMAREK, J. C.; KOWALSKI, P. S.; ANDERSON, D. G. Advances in the delivery of RNA therapeutics: from concept to clinical reality. **Genome medicine**, v. 9, p. 1-16, 2017. Disponível em: <https://genomemedicine.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13073-017-0450-0>. Acesso em: 22 mar. 2023.

KAPOOR, D. The Impact of drought in plant metabolism: How to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. **Applied Sciences**, v. 10, n. 16, 1-19, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/16/5692>. Acesso em: 14 jan. 2023.

KAPOOR, D. *et al.* Redox homeostasis in plants under abiotic stress: role of electron carriers, energy metabolism mediators and proteinaceous thiols. **Frontiers in Environmental Science**, v. 3, n. 13, p. 1-12, 2015. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2015.00013/full>. Acesso em: 14 jan. 2023.

KEYANTASH, J.; DRACUP, J. A. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 83, n. 8, p. 1167-1180, 2002. Disponível em: https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Quantification_of_Drought_Evaluation_of_Drought_Indices_2002.pdf. Acesso em: 22 fev. 2023.

KIBINZA, S. *et al.* Catalase is a key enzyme in seed recovery from ageing during priming. **Plant Science**, v. 181, n. 3, p. 309-315, 2011. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21763542>. Acesso em: 10 dez. 2022.

KOCH, F. *et al.* Growth and dry matter partition wheat plants in response to seed vigor and water restriction. **Journal of Seed Science**, v. 43, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jss/a/CnKL7yJBTLMMMP7qLrKygsFP/>. Acesso em: 12 abr. 2023.

KOTOB, S.; EL, S. S.; WALLA, D. S. Applications of actosol® humic acid products *In: ASA-CSSA-SSSA Symposium 98-microbial and humic amendments: advances in understanding their effects on soils and plants*. Pittsburg, PA, USA, 2009. Disponível em: <https://a-c-s.confex.com/crops/2009am/webprogram/Paper51996.html>. Acesso em: 12 abr. 2023.

KRUSE, J. Estimating demand for agricultural commodities to 2050. **Global Harvest Initiative Report**, n. 3-16-10, 2011. Disponível em: <https://www.globalharvestinitiative.org/Documents/Kruse%20-%20Demand%20for%20Agricultural%20Commodities.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2023.

KUNZE, W. **Tecnología para Cerveceros y Malteros**. 1 ed. Berlin: Versuchs-und Lehranstalt für Brauerei Berlin, 2006. 1075 p.

KUSAKA, M.; OHTA, M.; FUJIMURA, T. Contribution of inorganic components to osmotic adjustment and leaf folding for drought tolerance in pearl millet. **Physiol.**

- Plant.**, v. 125, p. 474–489, 2005. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1399-3054.2005.00578.x>. Acesso em: 21 dez. 2022.
- LALIĆ, A. *et al.* Učinak vodnoga stresa na svojstva sorti ozimoga ječma u ranim fazama rasta biljke. **Poljoprivreda**, v. 23, n. 1, p. 22-27, 2017. Disponível em: <https://hrcak.srce.hr/182878>. Acesso em: 02 fev. 2023.
- LAMAOU, M. *et al.* Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. **Frontiers in Chemistry**, v. 6, n. 26, 2018. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5827537/>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.
- LAWLOR, D. W.; TEZARA, W. Causes of decreased photosynthetic rate and metabolic capacity in water-deficient leaf cells: a critical evaluation of mechanisms and integration of processes. **Ann. Bot.**, v. 103, p. 561–579, 2009. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2707350/>. Acesso em: 22 dez. 2023.
- LAWLOR, D. W.; CORNIC, G. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. **Plant Cell Environ.**, v. 25, p. 275-294, 2002 Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11841670/>. Acesso em: 14 dez. 2022.
- LEITE, R. da S. Déficit hídrico e sua atenuação em plantas de fisális (*Physalis angulata* L.). 2019. Dissertação, (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais), Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2019. Disponível em: <http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/775?mode=full>. Acesso em: 12 jan. 2023.
- LI, X. *et al.* Metabolic and transcriptomic signatures of rice floral organs reveal sugar starvation as a factor in reproductive failure under heat and drought stress. **Plant, Cell & Environment**, v. 38, n. 10, p. 2171-2192, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25828772/>. Acesso em: 12 jan. 2023.
- LIANG, X. *et al.* Proline mechanisms of stress survival. **Antioxidants & redox signaling**, v. 19, n. 9, p. 998-1011, 2013. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3763223/>. Acesso em: 17 mar. 2023.
- LIMA, J. F. de; PEIXOTO, C. P.; LEDO, C. A. da S. Índices fisiológicos e crescimento inicial de mamoeiro (*Carica papaya* L.) em casa de vegetação. **Ciência e agrotecnologia**, v. 31, p. 1358-1363, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/YS3nvt3tX3D4Pt8JJCrhvHs/?lang=pt>. Acesso em: 12 abr. 2023.
- LISAR, S. Y. S. *et al.* H. (ed). **Water stress**. IRijeka, Croatia: InTech, 2012. p.1-14.
- LIU, H. *et al.* Physiological and comparative proteomic analysis reveals different drought responses in roots and leaves of drought-tolerant wild wheat (*Triticum boeoticum*). **PLoS One**, v. 10, n. 4, p. 0121852, 2015. Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0121852>. Acesso em: 15 jan. 2023.

LOPES, J. C.; MACEDO, C. M. P. Germinação de sementes de couve chinesa sob influência do teor de água, substrato e estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 79-85, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbs/a/C3dSpWrRgPN6zBvzJKPChDS/?lang=pt>. Acesso em: 18 jan. 2023.

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

LOUTFY, N. *et al.* Changes in the water status and osmotic solute contents in response to drought and salicylic acid treatments in four different cultivars of wheat (*Triticum aestivum*). **Journal of plant research**, v. 125, n. 1, p. 173-184, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10265-011-0419-9>. Acesso em 02 dez. 2022.

LUAN, S. Signalling drought in guard cells. **Plant, cell & environment**, v. 25, n. 2, p. 229-237, 2002. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/lepse/imgs/conteudo_thumb/Signalling-drought-in-guard-cells.pdf. Acesso em: 02 mar. 2023.

MALONE G, *et al.* diferencial de isoenzimas durante o processo de germinação de sementes de arroz em grandes profundidades de semeadura. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, p. 61-67, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228509704_Expressao_diferencial_de_iseoenzimas_durante_o_processo_de_germinacao_de_sementes_de_arroz_em_grandes_profundidades_de_semeadura. Acesso em: 13 jan. 2023.

MARAFON, A. C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático**. Aracaju: Embrapa, 2012. 31p. Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2012/doc_168.pdf. Acesso em: 14 abr. 2023.

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

MAROK, M. A. *et al.* 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, n. 7, p. 633-645, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23541087/>. Acesso em: 18 jan. 2023.

MARTINS, G. A. Avaliação de características de estômatos de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) com uso da geoestatística. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/handle/1/2090>. Acesso em: 14 fev. 2023.

MARTIN-STPAUL, N.; DELZON, S.; COCHARD, H. Plant resistance to drought

depends on timely stomatal closure. **Ecology letters**, v. 20, n. 11, p. 1437-1447, 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ele.12851>. Acesso em: 22 mar. 2023.

MEDEIROS, D. S. *et al.* Desempenho fisiológico de sementes de gergelim submetidas a estresse hídrico em diferentes temperaturas. **Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, p. 3069-3076, 2015. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744151043.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.

MEIER, I. C. *et al.* The deep root system of *Fagus sylvatica* on sandy soil: structure and variation across a precipitation gradient. **Ecosystems**, v. 21, p. 280-296, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10021-017-0148-6>. Acesso em: 12 mar. 2023.

MEJRI, M. *et al.* Comparative effect of drought duration on growth, photosynthesis, water relations, and solute accumulation in wild and cultivated barley species. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 179, n. 3, p. 327-335, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/299081491_Comparative_effect_of_drought_duration_on_growth_photosynthesis_water_relations_and_solute_accumulation_in_wild_and_cultivated_barley_species. Acesso em: 18 jan. 2023.

MELO, E. F. *et al.* Anatomic and physiological modifications in seedlings of *Coffea arabica* cultivar siriema under drought conditions. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 1, p. 25-33, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/Br7Sv6KWxyW9KrxR564YXvz/abstract/?lang=en>. Acesso em: 23 fev. 2023.

MENG, S. *et al.* Nitrogen uptake and metabolism of *Populus simonii* in response to PEG-induced drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 123, p. 78-87, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098847215300332>. Acesso em: 23 jan. 2023.

MHAMDI, A. *et al.* Catalase function in plants: a focus on *Arabidopsis* mutants as stress-mimic models. **Journal of experimental botany**, v. 61, n. 15, p. 4197-4220, 2010. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/61/15/4197/436494>. Acesso em: 21 dez. 2022.

MILAD, S. I.; WAHBA, L. E.; BARAKAT, M. N. Identification of RAPD and ISSR markers associated with flag leaf senescence under water-stressed conditions in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 3, p. 337-343, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/228506325_Identification_of_RAPD_and_ISSR_markers_associated_with_flag_leaf_senescence_under_water-stressed_conditions_in_wheat_Triticum_aestivum_L. Acesso em: 23 fev. 2023.

MINELLA, E. (Ed). **Indicações técnicas para a produção de cevada cervejeira nas safras de 2015 e 2016**. 1. ed. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355291/1729833/2015-2016->

Indicacoes+de+cevada.pdf/ea1bd9f8-2687-48ae-a341-b0ad3c1d220f. Acesso em: 09 mar. 2023.

MITTLER R. ROS are good. **Trends Plant Sci.**, v. 22, n. 11-19, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27666517/>. Acesso em: 21 mar. 2023.

MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in plant science**, v. 7, n. 9, p. 405-410, 2002. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/plant-science/fulltext/S1360-1385\(02\)02312-9?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS1360138502023129%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/trends/plant-science/fulltext/S1360-1385(02)02312-9?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS1360138502023129%3Fshowall%3Dtrue). Acesso em 02 dez. 2022.

MITTLER, R. *et al.* ROS signaling: the new wave?. **Trends in plant science**, v. 16, n. 6, p. 300-309, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21482172/>. Acesso em: 13 jan. 2023.

MONTEITH, J. L. Light interception and radiative exchange in crop stands. *In*: EASTIN, J. D. *et al.* (eds.). **Physiological aspects of crop yield**. Madison: American society of Agronomy, 1969. p.89-111. Disponível em: <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1186&context=agronomyf> acpub. Acesso em: 13 abr. 2023.

MORAIS, T. **O que é malte?** Disponível em: <https://nacaocerqueira.com.br/noticias/o-que-e-malte-2/>. Acesso em: 16 dez. 2022.

MORALES, M.; MUNNÉ-BOSCH, S. Malondialdehyde: Facts and artifacts. **Plant physiology**, v. 180, n. 3, p. 1246-1250, 2019. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31253746/>. Acesso em: 23 dez. 2022.

MORO, A. L.; BROETTO, F.; MORO, E. Respostas antioxidativas, fisiológicas e produtiva de arroz cultivado sob deficiência hídrica e adubação silicatada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 5, p. 3013-3028, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/177653>. Acesso em: 15 mar. 2023.

MOURADI, M. *et al.* Osmopriming improves seeds germination, growth, antioxidant responses and membrane stability during early stage of Moroccan alfalfa populations under water deficit. **Chilean journal of agricultural research**, v. 76, n. 3, p. 265-272, 2016. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-58392016000300002. Acesso em: 22 jan. 2023.

MUNNS, R. *et al.* New phenotyping methods for screening wheat and barley for beneficial responses to water deficit. **Journal of experimental botany**, v. 61, n. 13, p. 3499-3507, 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20605897/>. Acesso em: 12 fev. 2023.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annu. Rev. Plant Biol.**, v. 59, p. 651-681, 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18444910/>. Acesso em: 08 abr. 2023.

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

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and cell physiology**, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981. Disponível em: <https://academic.oup.com/pcp/article-abstract/22/5/867/1835201>. Acesso em: 09 jan. 2023.

NASIRZADEH, L. *et al.* Changes in antioxidant enzyme activities and gene expression profiles under drought stress in tolerant, intermediate, and susceptible wheat genotypes. **Cereal Research Communications**, v. 49, p. 83-89, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42976-020-00085-2>. Acesso em: 12 jan. 2023.

NEZHADAHMADI, A.; PRODHAN, Z. H.; FARUQ, G. Drought tolerance in wheat. **The Scientific World Journal**, 2013. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24319376/>. Acesso em: 13 mar. 2023.

NGUYEN, V. T. *et al.* Influence of pyrolysis temperature on polycyclic aromatic hydrocarbons production and tetracycline adsorption behavior of biochar derived from spent coffee ground. **Bioresource Technology**, v. 284, p. 197-203, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852419304584>. Acesso em: 23 jan. 2023.

NIKOLAEVA, M. K. *et al.* Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 57, p. 87-95, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1134/S1021443710010127>. Acesso em: 22 mar. 2023.

NING, L. *et al.* Variability and mechanisms of megadroughts over eastern China during the last millennium: A model study. **Atmosphere**, v. 10, n. 1, p. 7, 2018. Disponível em: Acesso em: 17 fev. 2023.

NOBRE, R. G. *et al.* Emergência, crescimento e produção da mamoneira sob estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 76-85, 2013. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/1/7>. Acesso em: 11 mar. 2023.

OMID, A.; FARZAD, S. Z. Osmo and hydro priming improvement germination characteristics and enzyme activity of Mountain Rye (*Secale montanum*) seeds under drought stress. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v. 8, n. 4, p. 253-261, 2012. Disponível em: <https://cyberleninka.ru/article/n/osmo-and-hydro-priming-improvement-germination-characteristics-and-enzyme-activity-of-mountain-rye-secale-montanum-seeds-under-drought>. Acesso em: 25 jan. 2023.

PAIVA, D. W. *et al.* Parceria interinstitucional público-privada na pesquisa agropecuária: o caso da cevada cervejeira. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v.

23, n. 2/3, p. 235-251, 2006. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=BR2021108704>. Acesso em: 19 dez. 2022.

PASSIOURA, J. B. Phenotyping for drought tolerance in grain crops: when is it useful to breeders? **Functional Plant Biology**, v. 39, n. 11, p. 851-859, 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32480835/>. Acesso em: 12 jan. 2023.

PEDÓ, T. *et al.* Princípios fisiológicos na produção de sementes. *In*: SCHUCH, L. O. *et al.* **Sementes**: Produção, qualidade e inovações tecnológicas. Pelotas, Editora e Gráfica Universitária, 2013. 571p.

PEIXOTO, C. P. **Princípios de fisiologia vegetal**: teoria e prática. 1. Ed. Rio de Janeiro, 2020. 257 p.

PER, T. S. *et al.* Approaches in modulating proline metabolism in plants for salt and drought stress tolerance: Phytohormones, mineral nutrients and transgenics. **Plant physiology and biochemistry**, v. 115, p. 126-140, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28364709/>. Acesso em: 12 mar. 2023.

PEREIRA, M. R. R. *et al.* Estresse hídrico induzido por soluções de PEG e de NaCl na germinação de sementes de nabiça e fedegoso. **Bioscience Journal**, v. 30, p. 687-696, 2014. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/18049>. Acesso em: 09 jan. 2023.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. **Sementes**: Fundamentos Científicos e Tecnológicos. 3 ed. Pelotas: Editora Universitária/UFPel, 2019. 573p.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of experimental botany**, v. 62, n. 3, p. 869-882, 2011. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Photosynthesis-and-drought%3A-can-we-make-metabolic-Pinheiro-Chaves/51e27f17e5606ff7bda879160dc762d2d9eb4136>. Acesso em: 16 jan. 2023.

PINHEIRO, L. G. S.; BRASIL, V. C. B.; GHESTI, G. F. Caracterização do malte produzido com cevada do cerrado brasileiro. **Revista Latino Americana de Cerveja**, v. 1, n. 1, p. 63-72, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/21655>. Acesso em: 22 jan. 2023.

PINHERO, R. G. *et al.* Changes in activities of antioxidant enzymes and their relationship to genetic and paclobutrazol-induced chilling tolerance of maize seedlings. **Plant physiology**, v. 114, n. 2, p. 695-704, 1997. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12223737/>. Acesso em: 15 dez. 2022.

POLLE, A. Dissecting the superoxide dismutase-ascorbate-glutathione-pathway in chloroplasts by metabolic modeling. Computer simulations as a step towards flux analysis. **Plant physiology**, v. 126, n. 1, p. 445-462, 2001. Disponível em: <https://academic.oup.com/plphys/article/126/1/445/6110010>. Acesso em: 22 mar. 2023.

PORTO, P. de D. **Tecnologia de fabricação de malte**: uma revisão. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em:

<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/56455#:~:text=Este%20trabalho%20prop%C3%B5e%20uma%20revis%C3%A3o,de%20qualidade%20do%20malte%20pronto.>

Acesso em: 02 dez. 2022.

POTTERS, G.; HORMANS, N.; JANSEN, M. A. K. The cellular redox state in plant stress biology—a charging concept. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 5, p. 292-300, 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20137959/>.

Acesso em: 13 mar. 2023.

PRYOR, R. J.; DAVISON, N. J.; CLOSE, D. C. Waterlogging duration; Interspecific comparison of *Leptospermum scoparium* (Forst et Forst.f.), *Acacia melanoxylon* (R. Br.), *Nothofagus cunninghamii* (Hook.) and *Eucalyptus abliqua* (L'Herit). **Austral Ecology, Adelaide**, v. 31, n. 4, p. 408-416, 2006. Disponível em:

<https://pubag.nal.usda.gov/catalog/378050> Acesso em: 24 abr. 2023.

RACCHI, M. L. Antioxidant defenses in plants with attention to *Prunus* and *Citrus* spp. **Antioxidants**, v. 2, n. 4, p. 340-369, 2013. Disponível em:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4665512/>. Acesso em: 14 fev. 2023.

RADFORD, P. J. Growth analysis formulae: their use and abuse. **Crop Science**, v. 7, n. 3, p. 171-175, 1967. Disponível em:

<https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1967.0011183X00070030001x>. Acesso em: 13 abr. 2023.

RADHAMANI, T. *et al.* Response to water stress in castor (*Ricinus communis* L.) genotypes under in vitro conditions. **J. Cereal. oil seeds**, v. 3, p. 56–58, 2012.

Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/JCO/article-full-text-pdf/8E9F646326>. Acesso em: 14 dez. 2022.

RAJALA, A. *et al.* Drought effect on grain number and grain weight at spike and spikelet level in six-row spring barley. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 2, p. 103-112, 2011. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1439-037X.2010.00449.x>. Acesso em: 23 jan. 2023.

RAMOS JUNIOR, E. U. *et al.* Crescimento de plantas de cobertura sob déficit hídrico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 47-56, 2013. Disponível em:

<https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/9495>. Acesso em: 25 jan. 2023.

RAO, D. E.; CHAITANYA, K. V. Photosynthesis and antioxidative defense mechanisms in deciphering drought stress tolerance of crop plants. **Biologia Plantarum**, v. 60, n. 2, p. 201-218, 2016. Disponível em:

http://bp.ueb.cas.cz/artkey/bpl-201602-0001_photosynthesis-and-antioxidative-defense-mechanisms-in-deciphering-drought-stress-tolerance-of-crop.php. Acesso em: 24 fev. 2023.

REDDY, A. R.; CHAITANYA, K. V.; VIVEKANANDAN, M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal of plant physiology**, v. 161, n. 11, p. 1189-1202, 2004. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15602811/>. Acesso em: 12 abr. 2023.

RICHARDS, F. J. The quantitative analysis of growth. In: STEWARD, F. C. (Ed). **Plant physiology**. New York: Academic Press, 1969. p.3-76 Disponível em: <https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=184566>. Acesso em: 12 abr. 2023.

RIZZA, F. *et al.* Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. **Crop science**, v. 44, n. 6, p. 2127-2137, 2004. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci2004.2127>. Acesso em: 23 fev. 2023.

RODRIGUES, J. D.; URCHEI, M. A. Efeitos de potenciais de água no solo, em diferentes estádios fenológicos da cultura da cevada (*Hordeum vulgare* L.). **Scientia Agrícola**, v. 51, p. 533-540, 1994. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sa/a/jXc3ND79LXB7gytqnB7T3FF/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 02 abr. 2023.

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A química da cerveja. **Revista Química Nova. São Paulo**, v. 37, p. 98-105, 2015. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc37_2/05-QS-155-12.pdf. Acesso em: 02 abr. 2023.

ROSSINI, M. *et al.* Assessing canopy PRI from airborne imagery to map water stress in maize. **ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing**, v. 86, p. 168-177, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271613002244>. Acesso em: 12 mar. 2023.

SAEIDI, M.; ABDOLI, M. Effect of drought stress during grain filling on yield and its components, gas exchange variables, and some physiological traits of wheat cultivars. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 17, n. 4, p. 885-898, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/278375505_Effect_of_Drought_Stress_during_Grain_Filling_on_Yield_and_Its_Components_Gas_Exchange_Variables_and_Some_Physiological_Traits_of_Wheat_Cultivars. Acesso em: 22 mar. 2023.

SALAMONI, A.T. **Apostila de aulas teóricas de Fisiologia Vegetal**. Santa Maria: Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, 2008. 62 p. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4086253/mod_resource/content/1/Apostila%20-%20Fisiologia%20Vegetal.pdf. Acesso em: 12 dez. 2022.

SALEEM, M. F. *et al.* Understanding and mitigating the impacts of drought stress in cotton-a review. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v. 53, n. 3, 2016.

Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/306327696_Understanding_and_mitigating_the_impacts_of_drought_stress_in_cotton-_A_review. Acesso em: 12 abr. 2023.

SALES, S. **O culto do pão...** Dissertação (Mestrado em Animação Artística) – Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2010. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/4297>. Acesso em: 02 dez. 2022.

SALLAM, A. *et al.* Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research. **International journal of molecular sciences**, v. 20, n. 13, p. 3137, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/20/13/3137>. Acesso em 02 dez. 2022.

SAMARAH, N. H. Effects of drought stress on growth and yield of barley. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 25, v. 1, p.145-149, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/41713983_Samarah_NH_Effects_of_drought_stress_on_growth_and_yield_of_barley_Agron_Sustain_Dev_25_145-149. Acesso em:13 jan. 2023.

SAMARAH, N. H. *et al.* The effect of late-terminal drought stress on yield components of four barley cultivars. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 195, n. 6, p. 427-441, 2009. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1439-037X.2009.00387.x>. Acesso em: 23 jan. 2023.

SANTISREE, P.; BHATNAGAR-MATHUR, P.; SHARMA, K. K. NO to drought-multifunctional role of nitric oxide in plant drought: do we have all the answers? **Plant Science**, v. 239, p. 44-55, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26398790/>. Acesso em: 02 abr. 2023.

SANTOS, A. B. A. D.; KLAR, A. E.; JADOSKI, C. J. Parâmetros fisiológicos de cultivares de cevada sob déficits hídricos. **Irriga**, v. 13, n. 4, p. 438-448, 2008. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3382>. Acesso em: 15 abr. 2023.

SARKER, U.; OBA, S. Catalase, superoxide dismutase and ascorbate-glutathione cycle enzymes confer drought tolerance of *Amaranthus tricolor*. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 16496, 2018. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30405159/>. Acesso em: 20 jan. 2023.

SAUSEN, T. L.; ROSA, L. M. G. Crescimento e limitações à assimilação de carbono em *Ricinus communis* (Euphorbiaceae) sob condições de estresse hídrico do solo. **Acta Botanica Brasilica**, v. 24, p. 648-654, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abb/a/R7zfqMBjsXzQBxN8GmDYzQf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 09 dez. 2022.

SEKI, M. *et al.* Regulatory metabolic networks in drought stress responses. **Current opinion in plant biology**, v. 10, n. 3, p. 296-302, 2007. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17468040/>. Acesso em: 12 fev. 2023.

SEWELAM, N.; KAZAN, K.; SCHENK, P. M. Global plant stress signaling: reactive oxygen species at the cross-road. **Frontiers in plant science**, v. 7, p. 187, 2016. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00187/full>. Acesso em: 18 dez. 2022.

SHAO, H. B. *et al.* Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes rendus biologiques**, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18280987/>. Acesso em: 22 mar. 2023.

SHARMA, P. *et al.* Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of botany**, v. 2012, 2012. Disponível em: <https://downloads.hindawi.com/archive/2012/217037.pdf>. Acesso em 02 dez. 2022.

SHARMA, P. *et al.* Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of Botany**, p. 1-26, 2012. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/jb/2012/217037/>. Acesso em:

SHIGEOKA, S. *et al.* Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. **Journal of experimental botany**, v. 53, n. 372, p. 1305-1319, 2002. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/53/372/1305/644123>. Acesso em: 08 abr. 2023.

SIDDIQUI, M. H. *et al.* Morphological and physiological characterization of different genotypes of faba bean under heat stress. **Saudi journal of biological sciences**, 22, n. 5, p. 656-663, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319562X15001357>. Acesso em: 13 mar. 2023.

SILVA, K. I. *et al.* Short-term physiological changes in roots and leaves of sugarcane varieties exposed to H₂O₂ in root medium. **Journal of Plant Physiology**, v. 177, p. 93-99, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25703773/>. Acesso em:

SILVA, L. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; AMORIM NETO, M. da S. **Análise do crescimento de comunidades vegetais**. Campina Grande: Embrapa, 2000. 18 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/271624>. Acesso em: 15 abr. 2023.

SILVA, M. A. *et al.* Use of physiological parameters as fast tools to screen for drought tolerance in sugarcane. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 3, p. 193-201, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202007000300003>. Acesso em: 10 dez. 2022.

SILVA, M. A. V. *et al.* Resposta estomática e produção de matéria seca em plantas jovens de aroeira submetidas a diferentes regimes hídricos. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 335-344, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/vnVw63vggRkRWHNVR5FXDYJ/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 12 dez. 2022.

SILVA, M L. M. da *et al.* Germinação de sementes de *Chorisia glaziovii* O. Kuntze submetidas ao estresse hídrico em diferentes temperaturas. **Ciência Florestal**, v. 26, p. 999-1007, 2016. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cflo/a/mc5BjP7YBtSrJWk5yHHdKhs/abstract/?lang=pt>.

Acesso em: 12 jan. 2023.

SINGH, M. *et al.* Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 14, p. 407-426, 2015. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11157-015-9372-8>. Acesso em: 23 abr. 2023.

SINMONTACCHI, M. *et al.* Plant survival in a changing environment: the role of nitric oxide in plant responses to abiotic stress. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, 977, 2015. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2015.00977/full>. Acesso em: 18 jan. 2023.

SIPOS, P.; NÁBRÁDI, A.; GYŐRI, Z. Examination of chemical composition and calorific value of cereal straw. **Acta Agronomica Hungarica**, v. 58, n. 1, p. 97-101, 2010. Disponível em: <https://akjournals.com/view/journals/014/58/1/article-p97.xml>. Acesso em: 22 abr. 2023.

SREENIVASULU, K. *et al.* Effect of dietary ligands and food matrices on zinc uptake in Caco-2 cells: implications in assessing zinc bioavailability. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 22, p. 10967-10972, 2008. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18947232/>. Acesso em: 02 fev. 2023.

STRECK, E. V. *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. Palloti, 2008. 222 p.

SUZUKI, N. *et al.* ROS and redox signalling in the response of plants to abiotic stress. **Plant, cell & environment**, v. 35, n. 2, p. 259-270, 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21486305/>. Acesso em: 14 jan. 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TANCREDO, J. T. **Estudo de caso de melhoria na etapa de secagem de uma maltaria no RS**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2015. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/127806>. Acesso em: 22 dez. 2022.

TANG, Y. *et al.* Implications of terminal oxidase function in regulation of salicylic acid on soybean seedling photosynthetic performance under water stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 112, p. 19-28, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28024235/>. Acesso em: 23 mar. 2023.

TATAGIBA, S. D. *et al.* Determinação da máxima capacidade de retenção de água

no substrato para produção de mudas de eucalipto em viveiro. **Floresta**, v. 45, n. 4, p. 745-754, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/38334>. Acesso em: 12 dez. 2022.

TAVARES, L.L.S.; SAYD, R. Avaliação de genótipos elite de cevada cervejeira no cerrado do distrito federal. *In*: 17 SIMPÓSIO DE TCC E 14 SEMINÁRIO DE IC DO CENTRO UNIVERSITÁRIO ICESP. 2019. Disponível em: http://nippromove.hospedagemdesites.ws/anais_simposio/arquivos_up/documentos/artigos/0de0db73b1217219900195a0a3404a0f.pdf. Acesso em: 23 mar. 2023.

TEIXEIRA, D. T. F. *et al.* Alterações no metabolismo do nitrogênio em plantas de noni sob duas condições hídricas. **Enciclopédia biosfera**, v. 11 n. 22, 2015. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/1452>. Acesso em: 15 jan. 2023.

THAMEUR, A.; LACHIHEB, B.; FERCHICHI, A. Drought effect on growth, gas exchange and yield, in two strains of local barley Ardhaoui, under water deficit conditions in southern Tunisia. **Journal of Environmental Management**, v. 113, p. 495-500, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479712002939>. Acesso em: 14 dez. 2022.

THIESEN, L. A. *et al.* Correlação de Pearson entre pigmentos fotossintetizantes e fitomassa de plantas de *Aloysia triphylla*. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 3, p. 249- 257, 2017. Disponível em: <http://www.ead.codai.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1450>. Acesso em: 15 dez. 2022.

THOMÉ, R. D. **Parâmetros genéticos, adaptabilidade e estabilidade de genótipos de cevada irrigada no Cerrado do Distrito Federal**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2020. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/39756/1/2020_RodolfoDiasThom%C3%A9.pdf. Acesso em: 18 dez. 2022.

TOLFO, M. M. *et al.* Cevada: alternativa de inverno para região celeiro. **Salão do Conhecimento**, v. 6, n. 6, 2020. Disponível em: <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaocohecimento/article/view/18388>. Acesso em: 19 ja. 2023.

ULLRICH, S. E. **Barley: production, improvement, and uses**. John Wiley & Sons, 2010.

UNISDR, U. N. *et al.* **Drought risk reduction framework and practices: Contributing to the implementation of the Hyogo framework for action**. ISDR, 2009. 214 p. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/11541_DroughtRiskReduction2009library.pdf. Acesso em: 22 fev. 2023.

USDA. **Barley 2021**. Disponível em:

<https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=043000>
0. Acesso em: 10 dez. 2022

VASSILEVA, V. *et al.* Long-term field drought affects leaf protein pattern and chloroplast ultrastructure of winter wheat in a cultivar manner. **J. Agron. Crop Sci.**, v. 198, p. 104–117, 2012. Disponível em:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1439-037X.2011.00492.x>. Acesso em: 19 dez. 2022.

VELIKOVA, V.; YORDANOV, I.; EDREVA, A. J. P. S. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant science**, v. 151, n. 1, p. 59-66, 2000. Disponível em:
http://directory.umm.ac.id/Data%20Elmu/jurnal/P/PlantScience/PlantScience_Elsevier/Vol151.Issue1.2000/5250.pdf. Acesso em: 13 jan. 2023.

VILARINHO, A. A. Indicações técnicas para produção de cevada cervejeira nas safras 2023 e 2024. Brasília: Embrapa, 2022. 88p.

WANG, J. Y. *et al.* Effects of drought stress on morphological, physiological and biochemical characteristics of wheat species differing in ploidy level. **Functional Plant Biology**, v. 44, n. 2, p. 219-234, 2016. Disponível em:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32480559/>. Acesso em: 13 fev. 2023.

WANG, W. H. *et al.* Regulation of the calcium-sensing receptor in both stomatal movement and photosynthetic electron transport is crucial for water use efficiency and drought tolerance in Arabidopsis. **J. Exp. Bot.** v. 65, p. 223–234, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24187420/>. Acesso em: 13 fev. 2023.

WANI, A. S. *et al.* Salt-induced modulation in growth, photosynthesis and antioxidant system in two varieties of Brassica juncea. **Saudi journal of biological sciences**, v. 20, n. 2, p. 183-193, 2013. Disponível em:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3730539/>. Acesso em: 27 fev. 2023.

WIEGMANN, M. *et al.* Wild barley serves as a source for biofortification of barley grains. **Plant Science**, v. 283, p. 83-94, 2019. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168945218311920>. Acesso em: 17 fev. 2023.

WU, G. *et al.* Isolation, Chromosomal Localization, and Differential Expression of Mitochondrial Manganese Superoxide Dismutase and Chloroplastic Copper/Zinc Superoxide Dismutase Genes in Wheat. **Plant Physiology**, v. 120, p. 513-520, 1999. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10364402/>. Acesso em: 12 mar. 2023.

XIE, W. *et al.* Decreases in global beer supply due to extreme drought and heat. **Nature Plants**, v. 4, n. 1, p. 964-973, 2018. Disponível em:
https://www.nature.com/articles/s41477-018-0263-1.epdf?referrer_access_token=9lnetKYfmrxyiuekl6ntRgN0jAjWel9jnR3ZoTv0MFW

GRMBT-

Y7TXCsg2nTbgiHBH3wdVB7ZnVN5ZcSlp9Bukw3dEICoj0ccJo70YXsaXSG8M6Md4zUTRvswyo7Wc437XKns4qeUwBXiyB-Uwl3VYp9HhsL7V6ufklQ5XyL0Fniw5eG45QJdJqavKsbIsN0NpcCWAvhXJUgfBcsJeqOVtFOGawXy0SIU8CKk-T4z4IHofukBbuJx2CNI8fFXA6qAmGdN1Grhglvaq0eq2Q%3D%3D&tracking_referrer=derstandard.at. Acesso em: 15 abr. 2023.

XIONG, Y. C. *et al.* Evolution mechanism of non-hydraulic root-to-shoot signal during the anti-drought genetic breeding of spring wheat. **Environmental and experimental botany**, v. 59, n. 2, p. 193-205, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223460804_Evolution_mechanism_of_non-hydraulic_root-to-shoot_signal_during_the_anti-drought_genetic_breeding_of_spring_wheat. Acesso em: 14 fev. 2023.

YANG, J.; ZHANG, J. Crop management techniques to enhance harvest index in rice. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 12, p. 3177–3189, 2010. Disponível em: <https://academic.oup.com/jxb/article/61/12/3177/425540>. Acesso em: 18 abr. 2023.

YANWEN, G. *et al.* Differentiate responses of tetraploid and hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) to moderate and severe drought stress: a cue of wheat domestication. **Plant Signaling & Behavior**, v. 16, n. 1, p. 1839710, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33126814/>. Acesso em: 15 fev. 2023.

YEMM, E. W.; COCKING, E. C.; RICKETTS, R. E. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, n. 948, p. 209-214, 1955. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1955/an/an9558000209>. Acesso em: 24 mar. 2023.

YIGIT, N. *et al.* Determination of the effect of drought stress on the seed germination in some plant species. **Water stress in plants**, v. 43, p. 62, 2016. Disponível em: <https://www.intechopen.com/chapters/50584>. Acesso em: 14 jan. 2023.

ZHANASSOVA, K. *et al.* ROS status and antioxidant enzyme activities in response to combined temperature and drought stresses in barley. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 43, p. 1-12, 2021. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11738-021-03281-7>. Acesso em: 13 jan. 2023.

ZHANG, F. *et al.* Seed priming with polyethylene glycol induces physiological changes in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) seedlings under suboptimal soil moisture environments. **PLoS One**, v. 10, n. 10, p. e0140620, 2015. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0140620>. Acesso em: 24 mar. 2023.

ZHANG, H. *et al.* Improvement in estimation of soil water deficit by integrating airborne imagery data into a soil water balance model. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 10, n. 3, p. 37-46, 2017. Disponível

em: <https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/3081>. Acesso em:

ZHANG, J.; NGUYEN, H.T.; BLUM, A. Genetic analysis of osmotic adjustment in crop plants. *Journal. Of Experimental. Botany*, v. 50, p. 291-302, 1999. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/23695652>. Acesso em: 14 dez. 2022.

ZHANG, Z. *et al.* Expression of ethylene response factor JERF1 in rice improves tolerance to drought. *Planta*, v. 232, p. 765-774, 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20574667/>. Acesso em: 14 dez. 2022.

ZHAO, J. *et al.* Difference in response to drought stress among Tibet wild barley genotypes. *Euphytica*, v. 172, p. 395-403, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/226005887_Difference_in_response_to_drought_stress_among_Tibet_wild_barley_genotypes. Acesso em: 25 mar. 2023.

ZHOU, L. *et al.* Comparison of remotely sensed and meteorological data-derived drought indices in mid-eastern China. *International journal of remote sensing*, v. 33, n. 6, p. 1755-1779, 2012. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2011.600349?journalCode=res20>. Acesso em: 15 jan. 2023.

ZHOU, M. X. Barley production and consumption. *In: Genetics and Improvement of Barley Malt Quality*. Springer, 2009. p. 1-17. 04 jan. 2023.

ZIVCAK, M.; BRESTIC, M; SYTAR, O. Osmotic adjustment and plant adaptation to drought stress. *In: ZIVCAK, M.; BRESTIC, M; SYTAR, O. Drought Stress Tolerance in Plants. Physiology and Biochemistry*, 2016. p. 105-143. 22 jan. 2023.

ZSCHOERPER, O, P. **Curso de cervejeiro e malteador**. AMBEV. Porto Alegre: Ambev, 2009. 71 p.