



NATÁLIA GUIMARÃES FONLYME

**GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE TRIGO DE
DIFERENTES TAMANHOS SUBMETIDAS AO DÉFICIT
HÍDRICO**

**LAVRAS - MG
2025**

NATÁLIA GUIMARÃES FONLYME

**GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE TRIGO DE DIFERENTES
TAMANHOS SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Profª. Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires
Orientadora

Msa. Gabriela Ribeiro Gontijo
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2025**

*Á Deus e Nossa Senhora, e também minha
família que me apoiou durante todo o trajeto.
Aos meus amigos, professores e apoiadores,
que fizeram dessa jornada algo mais leve,
DEDICO.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e Nossa Senhora, que intercedendo por mim, foram minha fortaleza para chegar até aqui.

Aos meus pais, meus irmãos e familiares, Kélcia, Daniel, Dener, Bruno, Thiago e Lucimar, que realizaram esse sonho junto comigo, me apoiaram direta e indiretamente, sendo ponto de apoio nas horas mais precisas.

À Universidade, que me ofereceu inúmeras oportunidades e aprendizado durante esses 5 anos de graduação..

À minha professora e orientadora, Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires, por incentivar a cada dia continuar e nunca desistir por pequenos obstáculos, sendo meu braço direito durante a realização deste trabalho.

À minha coorientadora e amiga, Ms. Gabriela Ribeiro Gontijo, por auxiliar e assim facilitar a condução desse experimento, sendo assim fundamental para a conclusão do mesmo.

Aos meus amigos, NECANT e amigos sementeiros, por tornarem toda essa jornada mais leve, trazendo alegria e luz para os dias escuros, sendo fonte de distração.

À FAPEMIG, CAPES e CNPq por acreditarem em mim e assim fornecer auxílio fundamental para qualquer atividade realizada. E também à BIOTRIGO Genética, pela doação das sementes e auxílio na realização do projeto.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram durante a minha graduação, seja de forma direta, seja de forma indireta.

Obrigada a todos.

RESUMO

A triticultura no Brasil está concentrada majoritariamente na região sul, contudo, há a necessidade de aumento na produção visando atender a demanda nacional e internacional. Um dos principais fatores que afetam o avanço da triticultura no Brasil são as intempéries climáticas. Visando amenizar tais influências, a utilização de sementes de qualidade e a classificação de sementes por tamanho, podem contribuir para maiores produtividades perante situações extremas. O objetivo no presente trabalho foi avaliar diferentes tamanhos das sementes de trigo e a qualidade fisiológica quando submetidas ao estresse hídrico. Para tal, 10 cultivares de trigo, fornecidas pela BIOTRIGO Genética foram utilizadas. Para cada cultivar, foi feita a classificação em três tamanhos: pequeno (2,25 mm), médio (2,5 mm) e grande (2,75 mm), sendo as sementes submetidas à diferentes potenciais osmóticos simulados por meio de polietilenglicol 6000 (PEG) (0 MPa, -0,3 MPa e -0,6 MPa). Após, as seguintes determinações foram feitas: teste de germinação aos 8 dias, para contabilização de plântulas normais (G%), plântulas anormais (PA%), comprimento de parte aérea, comprimento de parte radicular, comprimento total, matéria fresca da parte aérea, matéria fresca da parte radicular, matéria seca da parte aérea e matéria seca da parte radicular. Os experimentos foram montados com três diferentes classes de tamanho (P, M e G), de forma independente, e os resultados obtidos em todas as avaliações foram submetidos à ANOVA, sendo os tratamentos organizados em um fatorial 3 x 10 (3 potenciais hídricos (0,0 Mpa, -0,3 MPa e -0,6 MPa), com 10 cultivares). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5%. A análise dos dados foi realizada utilizando o programa estatístico R team 2022. De posse dos resultados observa-se que quanto maior o estresse hídrico (0,6 Mpa), menor a qualidade fisiológica da semente, independentemente do tamanho, contudo, as cultivares um, dois, três, quatro e seis apresentaram maior resistência. O sistema de raízes foi menos comprometido pela restrição hídrica do que o desenvolvimento da parte aérea, visto também na avaliação de massa fresca, onde a quantificação da massa fresca da parte radicular foi não significativa. Desta forma concluímos que há tolerância diferencial dentro das cultivares testadas, sendo as que apresentam maior qualidade fisiológica e vigor as cultivares 1,2, 4 e 6.

Palavras-chave: Restrição hídrica; Triticultura; Qualidade Fisiológica; Polietilenoglicol 6000.

ABSTRACT

Wheat farming in Brazil is mainly specialized in the southern region; however, there is a need to increase production to meet national and international demand. One of the main factors that have affected the advancement of wheat farming in Brazil is adverse weather conditions. In order to mitigate such influences, the use of quality seeds and seed classification by size can contribute to higher productivity in extreme situations. The objective of this study was to evaluate different sizes of wheat seeds and their physiological quality when subjected to water stress. For this purpose, 10 wheat cultivars supplied by BIOTRIGO Genética were used. For each cultivar, the seeds were classified into three sizes: small (2.25 mm), medium (2.5 mm) and large (2.75 mm), and the seeds were subjected to different osmotic potentials simulated by means of polyethylene glycol 6000 (PEG) (0 MPa, -0.3 MPa and -0.6 MPa). Afterwards, the following determinations were made: germination test at 8 days, to account for normal seedlings (G%), abnormal seedlings (PA%), shoot length, root length, total length, shoot fresh matter, root fresh matter, shoot dry matter and root dry matter. The experiments were set up with three different size classes (P, M and G), independently, and the results obtained in all evaluations were submitted to ANOVA, with the treatments organized in a 3 x 10 factorial (3 water potentials (0.0 MPa, -0.3 MPa and -0.6 MPa), with 10 cultivars). The treatment means were compared by the Scott-Knott test, at 5%. Data analysis was performed using the R team 2022 statistical program. Based on the results, it was observed that the greater the water stress (0.6 MPa), the lower the physiological quality of the seed, regardless of size. However, cultivars one, two, three, four, and six showed greater resistance. The root system was less compromised by water restriction than the development of the aerial part, also seen in the fresh mass evaluation, where the quantification of the fresh mass of the root part was not significant. Thus, we conclude that there is differential tolerance within the cultivars tested, with cultivars 1, 2, 4, and 6 presenting greater physiological quality and vigor.

Keywords: Water restriction; Wheat cultivation; Physiological quality; Polyethylene glycol 6000.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância econômica da cultura do trigo

2.2 Morfologia e composição química de sementes de trigo

2.3 Aspectos gerais da qualidade de sementes e influência do beneficiamento

2.4 Qualidade de sementes sob déficit hídrico

2.5 Testes para avaliação da qualidade de sementes de trigo

3 MATERIAIS E MÉTODOS

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5 CONCLUSÃO

REFERÊNCIAS

NATÁLIA GUIMARÃES FONLYME

**GERMINAÇÃO E VIGOR DE SEMENTES DE TRIGO DE DIFERENTES
TAMANHOS SUBMETIDAS AO DÉFICIT HÍDRICO**

**GERMINATION AND VIGOR OF WHEAT SEEDS OF DIFFERENT SIZES
SUBJECTED TO WATER DEFICIT**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 22 de janeiro de 2025

Ms. Julia Lima Baute UFLA

MS. Francisco Leandro da Silva UFLA

Dra. Genaina Aparecida de Souza EPAMIG

Prof^a. Dra. Raquel Maria de Oliveira Pires
Orientadora

Msa. Gabriela Ribeiro Gontijo
Coorientadora

LAVRAS – MG
2025

1. INTRODUÇÃO

O trigo está entre os três principais cereais mais produzidos no mundo, juntamente com o milho e arroz. Seu grão é amplamente utilizado, tanto na alimentação humana quanto na alimentação animal. Sendo o seu cultivo, por muito tempo restrito apenas à região Sul do Brasil, principalmente devido a fatores culturais e também edafoclimáticos. Sua produção em 2022, no entanto, atingiu um novo recorde, estimada em 9,5 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 23,7% espalhados por diferentes regiões do país (CONAB, 2022). Em 2024, a área cultivada com cereais de inverno, o trigo ocupou 79,4%, sendo a estimativa de produção de 8,11 milhões de toneladas. (CONAB, 2024).

A produtividade de uma cultura é determinada pela correlação entre a planta, o ambiente de crescimento e as práticas de manejo adotadas (Bianchi *et al.*, 2022). Um dos fatores imprescindíveis que favorecem o aumento da produtividade é o emprego de sementes de alta qualidade, que apresentam pureza física, genética, sanitária e fisiológica (CONAB, 2017; Protić *et al.*, 2019). Sementes vigorosas favorecem desempenho superior de plântulas e consequentemente melhor estabelecimento do estande, em campo, quando em estádios fenológicos iniciais (Marinho *et al.*, 2021).

O tamanho da semente é um importante indicador físico de qualidade e essa característica pode influenciar desde o comportamento fisiológico até o estabelecimento em campo (Adebisi *et al.*, 2013). Estudos apontam que existe uma influência do tamanho da semente no potencial fisiológico do lote (Mut;Akay, 2010; Shahi *et al.*, 2015; Soares *et al.*, 2015). Pesquisas evidenciaram que sementes de maior tamanho apresentaram maior qualidade fisiológica em soja (Coelho *et al.*, 2019), um melhor vigor em sementes de girassol (Nunes *et al.*, 2016), além de fornecerem maior acúmulo de matéria seca e plântulas mais vigorosas de amendoim (Steiner *et al.*, 2019).

A diferença no tamanho das sementes de trigo é devido à sua posição na inflorescência, que é do tipo espiga composta, formada por espiguetas alternadas e opostas (Keler; Martynova, 2021). A classificação e padronização de lotes de sementes de diferentes tamanhos é uma etapa importante realizada na pós-colheita, oferecendo diversos benefícios, como precisão na operação de semeadura, uniformidade na emergência de plântulas e garantia do estande da lavoura. (Bianchi *et al.*, 2022). A classificação durante o processo de beneficiamento não inclui a dimensão física tamanho, sendo assim, um mesmo lote pode

apresentar variações no comprimento, largura e espessura (Demari *et al.*, 2019; Keler; Martynova, 2021). Uma alternativa é a utilização de peneiras para a padronização de sementes de trigo, a fim de permitir separar lotes com características particulares de desempenho no campo.

O estresse hídrico é o fator abiótico que mais afeta a produtividade das culturas agrícolas, provocando alterações no desenvolvimento vegetal com efeitos dependentes do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (Ali; Malik, 2021). O estresse hídrico severo resulta em um desequilíbrio metabólico e consequentemente na redução das atividades enzimáticas, afetando diretamente características favoráveis aos produtores, como a produção de sementes (Maphara *et al.*, 2022).

Uma das técnicas mais utilizadas para determinar a tolerância das plantas aos estresses abióticos é a avaliação da capacidade germinativa sob tais condições. Quando o estresse é controlado, o mais comum é o uso de Polietilenoglicol (PEG), uma solução quimicamente inerte e atóxica, para as sementes e raízes das plantas e utilizada para vários estudos de restrição hídrica em plantas, simulando a seca (Hassanpanah, 2010, Stanton *et al.*, 2012; Soliman; Hendawy, 2013; Maphara *et al.*, 2022).

O efeito do déficit hídrico na redução da qualidade fisiológica das sementes já foi relatado em trigo. Eskandari e Alizadeh-Amraie (2017), encontraram redução na porcentagem de germinação, matéria seca de plântulas, peso de mil sementes e aumento na condutividade elétrica das sementes.

Sementes menores possuem uma relação superfície/volume superior às sementes maiores, o que facilita a obtenção de água para iniciar o processo germinativo, contudo, tendem a apresentar menor quantidade de reservas (Kopper *et al.*, 2010). Em geral, sementes maiores tendem a ser mais nutridas, pois durante o desenvolvimento acumulou maior quantidade de reserva, o que as torna sementes mais vigorosas e capazes de originar plântulas eficientes, com maior probabilidade de sobrevivência, principalmente, sob condições adversas como sob estresse hídrico (Popinigis, 1977; White; González; 1990; Nakawa, 2000; Khadka *et al.*, 2020; Bandurska, 2022).

O efeito do tamanho das sementes é estudado há algum tempo (Carvalho; Nakagawa, 2000; Cardoso, 2004), contudo, trata-se de um tema pertinente, mas não inteiramente elucidado (Malavasi, 2001).

Considerando a escassez de estudos sobre o emprego de polietileno glicol 6000 na indução de déficit hídrico e seus efeitos na germinação e vigor das sementes de diferentes tamanhos, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência do tamanho das sementes de trigo na qualidade fisiológica submetidas à estresse hídrico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância econômica da cultura do trigo

O trigo (*Triticum* spp.) é uma espécie pertencente à família *Poaceae*. É uma gramínea anual e autógama classificada de acordo com sua exigência em fotoperíodo e temperatura, sendo o seu ciclo variável com o genótipo da cultivar e a zona bioclimática (Caierão *et al.*, 2016). Dentre as diversas espécies pertencentes ao gênero *Triticum*, atualmente apenas *T. aestivum* e *T. durum* apresentam importância comercial. Sua domesticação foi iniciada há cerca de 10 mil anos, sendo possível afirmar que para se obter o trigo que atualmente é cultivado, foram necessários milhares de anos de seleção natural e artificial (Borém; Scheeren, 2015).

Assim como os demais cereais de inverno, o cultivo de trigo tem por finalidade a produção de grãos, sendo o segundo cereal mais produzido no mundo (FAO, 2023). Seu grão é rico em carboidratos, vitaminas, gorduras e proteínas, com importante papel socioeconômico, uma vez que é predominantemente utilizado na alimentação humana na forma de farinha para produção de pães, massas, biscoitos e cervejas. Além disso, o cereal faz parte da alimentação animal, como forragem ou farelo, e também na composição de produtos não alimentícios, tais como cosméticos, embalagens e fármacos (Borém; Scheeren, 2015).

O trigo foi introduzido no Brasil, inicialmente no estado de São Paulo, sendo posteriormente expandido para outras regiões do país (Caierão *et al.*, 2016). Por ser uma espécie cultivada na segunda safra do ano, o cereal apresenta grande importância na composição de sistemas de produção agrícola sustentáveis, como uma alternativa para sucessão e rotação de culturas (Borém; Scheeren, 2015). Esse sistema de manejo fornece diversos benefícios às lavouras, tais como palhada de cobertura, manejo de pragas e doenças e menor exposição do solo (Lamas, 2018).

No Brasil o cultivo do trigo é feito durante o inverno, visto que é nessa época que as condições são favoráveis: aproveita-se a diminuição das chuvas para semear; a cultura se desenvolve ainda em período com alguma precipitação e entra na fase reprodutiva e no ponto de colheita nos meses mais secos, o que favorece a colheita e melhora a qualidade do grão. (Syngenta, 2023).

A produção de trigo alcança recorde no Brasil há duas safras, em 2020 e 2021, fazendo com que o país adentra ao mercado de um dos alimentos mais consumidos do mundo. Comparando 2012 com 2022, a produção duplicou no Brasil, significando um avanço histórico para a agricultura nacional, contudo, ainda foi necessário importar 321,4 mil toneladas de trigo em grãos em 2022, para suprir a demanda nacional (Syngenta, 2023).

Em novembro/2023, as adversidades climáticas passaram a ser alvo de preocupação para os produtores, visto que geraram perdas qualitativas e quantitativas para a safra nacional. Dados da Companhia Nacional de Abastecimento, no seu levantamento da safra 2023/2024 estimou a plantação de 3.459,7 mil ha (+11,4%), com produtividade de 2.808 kg/ha (-18,4%) e colhidos 9.633,3 mil toneladas (-9,8%). Ademais, com a redução da produção, foi revisado o quantitativo de importações, passando de 5000 mil toneladas para 5400 mil toneladas. Com as alterações supracitadas, estimou-se encerrar a safra 2023/24 com estoque de passagem de 532,2 mil toneladas (CONAB, 2023).

Em março/2024, diante de todo cenário de adversidade climática, ocorreram apenas negociações pontuais, visto que a ampla oferta de trigo argentino, com preços competitivos, afetou na aquisição frente aos preços brasileiros mais elevados. Apesar da quebra de safra nacional e da escassez na oferta de trigo panificável, os preços nacionais seguem desvalorizados, equiparados à paridade de importação argentina. Em seu levantamento, a CONAB estima que na safra 2024/2025 sejam plantados 3.264,7 mil hectares (-6%), com produtividade de 2.937 kg/ha (28%) e colhidos 9.587,9 mil toneladas (18,4%). Com a queda na produção, comparada aos demais levantamentos, ocorreu o reajuste nos dados de importação, passando de 5.000 para 5.500 mil toneladas, sendo a previsão de encerrar a safra vindoura com 864,6 mil toneladas (CONAB, 2024).

Visando garantir o sucesso na exploração do potencial produtivo, o uso de sementes melhoradas, com alta qualidade e adaptabilidade à diversidade de climas é uma das primeiras medidas a serem analisadas. A semente é matéria prima para o estabelecimento da lavoura e também aquela em que a obtenção está nas tabelas de menores custos dentro de um sistema de

cultivo. A taxa de utilização de sementes de trigo é de 75%, e em 2021, a produção de sementes no país atingiu aproximadamente 226 mil toneladas. (Abrasem, 2022).

Diante do cenário, a produção de sementes de qualidade deve seguir um rígido padrão estabelecido pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) e nas Regras para Análise de Sementes (RAS), como taxa mínima de germinação de 80% e pureza 98%. Portanto, é de extrema importância a realização de pesquisas visando aumentar a qualidade das sementes (Brasil, 2013) e também a produção de trigo no Brasil, realçando não somente a importância do produto final, mas também o uso em rotação de culturas, fornecendo assim um ambiente propício para o desenvolvimento das culturas subsequentes.

2.2 Morfologia e composição química de sementes de trigo

A semente de trigo, cuja classificação botânica é do tipo cariopse, apresenta quatro partes: conjunto pericarpo-tegumento, camada de aleurona, endosperma e embrião (Khalid *et al.*, 2023). O endosperma está envolto pelo pericarpo e constitui a maior parte do conteúdo da semente, tendo função de proteção (Rabieyan *et al.*, 2022). A camada de aleurona concentra as proteínas e minerais importantes no processo germinativo, sendo fonte de aminoácidos (Agarwal *et al.*, 2023). O endosperma possui a função de armazenamento do amido que será utilizado na formação da plântula (Liu *et al.*, 2022). O embrião contém as estruturas essenciais da futura planta, cuja características desejáveis são a estatura baixa, colmo resistente e elevado potencial produtivo (CONAB, 2017).

O formato das sementes varia desde o curto e arredondado, até estreito e comprido, o que pode acarretar em diferenças significativas do seu peso específico (Borém; Scheeren, 2015). Mesmo com o desenvolvimento significativo da cultura, o tamanho das sementes também pode diferir de acordo com sua posição na inflorescência. Sementes na parte do meio da espiga são maiores e mais pesadas que aquelas localizadas nas partes inferior e superior (Keler; Martynova, 2021).

A planta de trigo é uma gramínea, anual, e autógama, apresentando o sistema radicular fasciculado, podendo ocorrer o desenvolvimento de afilhos. As raízes seminais são responsáveis pelo estabelecimento das plântulas, até o momento dessas raízes se tornarem funcionais e então sustentarem a planta. A nutrição da plântula é obtida pelo endosperma da semente (Borém; Scheeren, 2015).

O trigo apresenta colmo oco e cilíndrico, podendo apresentar de quatro a sete entrenós de diferentes comprimentos, variando de acordo com genótipos e também ambiente (Wu *et al.*, 2020). A primeira folha é conhecida como plúmula, e com o decorrer do desenvolvimento, podem originar de cinco a seis folhas que são dispostas de forma alternada, sendo a última folha denominada folha bandeira (Wu *et al.*, 2020; Mohammed *et al.*, 2021). Vale ressaltar que os nutrientes estocados nos colmos e folhas são translocados para as espigas durante o processo de enchimento de grãos (Mohammed *et al.*, 2021).

A inflorescência se apresenta na forma de espiga composta, cujas espiguetas, alternadas e opostas na ráquis, são constituídas de duas a nove flores (Wu *et al.*, 2020). Geralmente as flores superiores são estéreis (Khadka *et al.*, 2020). Cada flor é composta por uma pálea e uma lema, que protegem o gineceu e o androceu, e na fase de antese, após a fecundação, ocorre a extrusão das anteras e se inicia a formação das sementes (Borém Scheeren, 2015).

Durante os processos de formação e maturação das sementes, a ocorrência de modificações favorece o fornecimento de informações importantes para a adoção da tecnologia adequada a ser aplicada (Eichelberger, 2011), dentre elas o tamanho da semente, quantidade de massa seca, teor de água, potencial de germinação e vigor. O conhecimento dessas características é primordial para produção de sementes de alta qualidade e consequente estabelecimento de estande adequado e desejado (Maphara *et al.*, 2022).

2.3 Aspectos gerais da qualidade de sementes e influência do beneficiamento

Diversos aspectos determinam a qualidade de sementes, dentre eles, o fisiológico, o genético, o físico e o sanitário que, em conjunto, são responsáveis pelo desenvolvimento e estabelecimento do estande (Sarma, 2024).

A qualidade da semente e o alto rendimento são aspectos diretamente relacionados. É através da qualidade que obtemos maiores taxas de emergência e uniformidade de germinação, originando assim, plântulas com alto vigor e desempenho em campo (Rosa *et al.*, 2017). Lotes de sementes que detêm de um assertivo controle de qualidade formam estandes de plantas mais vigorosas do que aqueles em que o controle não foi eficaz, e que por sua vez, acarretam no crescimento de plântulas fracas e com baixa capacidade competitiva em campo (Tavares *et al.*, 2013; Krzyzanowski *et al.*, 2018; Bagateli *et al.*, 2019). Essas características,

especialmente o vigor, estão também relacionadas com o tamanho da semente no processo de desenvolvimento da plântula (Eichelberger, 2016).

O tamanho de uma semente é um importante indicador físico de qualidade, visto que influencia na quantidades de amido e outras reservas de energia, fator que pode afetar a taxa de germinação, emergência, crescimento inicial das plântulas e o desempenho da cultura no campo (Adebisi *et al.*, 2013; Shahi *et al.*, 2015). Em geral, sementes maiores são mais nutridas durante sua formação, com embriões bem formados e com mais reservas (Bianchi *et al.*, 2022), além de apresentarem maiores taxas de crescimento, sobrevivência de plântulas e desempenho no campo, do que sementes pequenas (Ambika *et al.*, 2014).

Pode-se afirmar que a padronização de sementes a fim de se obter maior homogeneidade do lote e uniformidade no desenvolvimento da lavoura se torna algo essencial (Fazel - Niari *et al.*, 2022). Para isso, deve-se levar em consideração os cuidados obtidos durante o beneficiamento de sementes, uma vez que este processo é responsável pela qualidade final do lote (Nerling *et al.*, 2014).

O beneficiamento de sementes consiste em um conjunto de operações que visa caracterizar um lote de sementes a partir da limpeza, padronização e embalagem de forma adequada para o armazenamento e distribuição (Fazel - Niari *et al.*, 2022). Durante o processo, é de suma importância que se realize corretamente qualquer etapa, visando sempre manter a qualidade das sementes, a qual já foi construída em campo, e também assegurar que os lotes estejam de acordo com os padrões mínimos para comercialização.

Uma das finalidades do beneficiamento é classificar a semente por tamanho (França-Neto *et al.*, 2016). A utilização de peneiras para padronizar sementes de trigo permite separar lotes com características específicas de desempenho em campo (Demari *et al.*, 2019). A escolha da peneira deve ser de acordo com a espessura e diâmetro das sementes, que pode variar conforme a cultivar e a presença de impurezas e de outras sementes no lote (Eichelberger, 2011). A etapa de classificação resulta em um insumo mais homogêneo, o que facilita e melhora a precisão da semeadura, uniformidade na emergência e o estabelecimento do estande, além de ser mais atrativo comercialmente (Peske; Labbé, 2012). Sementes homogêneas podem otimizar o uso dos recursos necessários para manejo de uma lavoura, como o processo de semeadura, enquanto a heterogeneidade do tamanho das sementes pode dificultar operações essenciais, além de acarretar em uma diferença acentuada no crescimento e desenvolvimento das plantas (Kashkool, 2021).

Na cultura do trigo, não há uma padronização de sementes estabelecida para a comercialização, sendo assim, dentro de um mesmo lote e entre diferentes genótipos, as sementes variam em comprimento, largura e espessura (Demari *et al.*, 2019). Tal variação pode proporcionar desuniformidade no estande inicial, o que pode causar heterogeneidade no vigor e tamanho das plântulas na lavoura, que competirão de forma diferente por recursos do ambiente, tais como luz, nutrientes e água.

2.4 Qualidade de sementes sob déficit hídrico

O fator primordial para o desenvolvimento e crescimento da planta é a água, destacando-se ao mesmo tempo como mais abundante e o mais restritivo, atuando na indução de processos físicos e bioquímicos e consequente expansão dos tecidos e desenvolvimento vegetal. A limitação de água nos estádios iniciais de desenvolvimento da plântula pode resultar em decréscimo na produção, pois pode vir a afetar a atividade fotossintética e assim reduzir a produção de fotoassimilados que são utilizados nos processos físico-químicos. (Pedroso *et al.*, 2009).

As sementes, ao serem dispersas, estão sujeitas a um conjunto de fatores que afetam a sua germinação e desenvolvimento. Raramente as condições encontradas no solo são ideais, como é o caso dos solos secos. Portanto, é de suma importância o entendimento acerca dos mecanismos que conferem, à algumas sementes, a capacidade de germinação e sobrevivência sob condições de estresse hídrico e, conseqüentemente, vantagens ecológicas em relação a outras que são sensíveis à seca (Rosa *et al.*, 2005).

Potenciais hídricos negativos, no início da germinação, afetam negativamente a absorção de água pelas sementes, podendo inviabilizar o processo germinativo. O déficit hídrico resulta na redução do crescimento, por limitar a expansão e o alongamento celular, ocasionado pelo decréscimo da turgescência (Taiz *et al.*, 2021). De acordo com o desenvolvimento e crescimento das plantas sob condições de estresse hídrico, a tendência é desenvolver um sistema radicular eficiente e exploratório, visando assegurar um fornecimento de água contínuo para atender os processos essenciais para sua sobrevivência (Al- Karaki *et al.*, 2007).

Com o objetivo de simular condições de deficiência hídrica durante a fase inicial de desenvolvimento de uma semente, trabalhos têm sido conduzidos em condições de laboratório avaliando as bases fisiológicas como pré-requisito para condições de campo (Tonin *et al.*,

2000). Tais situações de estresse hídrico podem ser simuladas utilizando-se diversas soluções osmóticas, dentre estas, pode-se citar o polietileno glicol [HOCH₂ (6CH₂CH₂) N OH] e o manitol (C₆H₁₄O₆), seguindo quantidades específicas, para cada um destes agentes osmóticos, de acordo com a literatura comumente usada (Souza; Cardoso, 2000; Pour-Aboughadareh *et al.*, 2020; Lei Chu *et al.*, 2021).

O uso do Manitol e polietilenoglicol como agentes osmóticos para simular condições de déficit hídricos se deve ao fato de que são compostos quimicamente inertes e não tóxicos (Parmar; Moore, 1968), contudo, Slavik (1974), concluiu que o manitol pode penetrar nas sementes durante a germinação, mostrando inclusive fitotoxicidade.

Não somente para a taxa de germinação, mas também para a análise de vigor, a submissão das sementes ao estresse osmótico em condições de laboratório é uma forma eficiente de analisar a qualidade da semente, uma vez que aquelas com maior vigor seriam mais tolerantes às condições de estresse criadas no substrato (Santos *et al.*, 1996; Piana; Silva, 1998). No estudo realizado por Young *et al.* (1983), os autores observaram que em condições de déficit hídrico, o comprimento e a espessura das plântulas são reduzidos. Mesmo fato comprovado por Silva (1989), onde a baixa disponibilidade de água reduziu o comprimento das plântulas de milho.

No entanto, são escassos os relatos na literatura sobre a avaliação da qualidade fisiológica de sementes de trigo, de diferentes tamanhos, sob condição de estresse hídrico induzido. Essas informações podem ser úteis para aumentar a eficiência da etapa de classificação por tamanho realizada durante o beneficiamento na pós colheita.

2.5 Testes para avaliação da qualidade de sementes de trigo

Durante toda a cadeia produtiva, a atenção quanto à qualidade da semente é de suma importância, visto que qualquer dano pode comprometer a futura plântula. Sendo assim, avaliações do potencial fisiológico por meio de testes de germinação e vigor, são fundamentais em programas de controle de qualidade de sementes (Sponchiado *et al.*, 2014). Tais análises devem ser eficientes e capazes de permitir a caracterização de lotes, possibilitando de forma eficaz a comercialização do produto.

Nos programas de controle de qualidade, as informações geradas nos laboratórios de análise de sementes devem detectar com precisão as diferenças entre os lotes testados, por meio de testes fisiológicos (Marcos Filho, 2015). As condições proporcionadas nos testes de

qualidade, como o teste de germinação padrão, são ideais para a espécie, ao contrário das situações vistas em campo, sejam elas condições ambientais, como déficit hídrico, ou até mesmo ataque de pragas e doenças, o que pode limitar a emergência da futura plântula (Eichelberger, 2011).

O vigor de uma semente é conceituado pela International Seed Testing Association (ISTA) como a capacidade da semente de apresentar potencial para uma emergência rápida e uniforme, e de desenvolver plântulas normais sob condições adversas do ambiente. Sementes com alto vigor apresentam maior capacidade de resistência às condições adversas do ambiente e resultam no crescimento rápido e uniforme de plântulas (Bazzo *et al.*, 2021).

A escolha dos testes ideais baseia-se no objetivo da análise, visto isso, a caracterização dos lotes deve ser baseada nos resultados obtidos por um conjunto de testes que possuem princípios intimamente relacionados a tal objetivo (Marcos Filho, 2015). Ressalta-se que o desenvolvimento de estudos para a adequação de metodologias é indispensável no controle de qualidade, uma vez que o vigor das sementes tem influência direta na capacidade de armazenamento e estabelecimento de plântulas em campo (Marcos Filho, 2015).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório Central de Pesquisa em Sementes (LCPS), do Departamento de Agricultura, da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, MG.

Foram utilizadas sementes de trigo, fornecidas pela Biotrigo Genética. Após o recebimento, as sementes foram armazenadas em câmara fria até a realização dos testes. Inicialmente, as sementes foram uniformizadas por tamanho, em um jogo de peneira de crivo oblongo de 2.25 (P), 2.5 (M) e 2.75 (G) de diâmetro (mm). Para a caracterização inicial dos materiais, o teste de umidade foi realizado (U%).

Para tal, foram utilizadas duas repetições com 20 sementes dispostas em latas de alumínio esterilizadas e pesadas em balança para a determinação do seu peso úmido. Posteriormente, foram levadas em estufa a 105 °C por 24 horas. Após esse período, as latas foram pesadas novamente e feito o cálculo para a determinação de acordo com as prescrições das Regras para Análises de Sementes (BRASIL, 2009):

$$\% \text{ de Umidade (U)} = \frac{100 (P-p)}{\quad} \quad (4.1)$$

P-t

em que: P = peso inicial, peso do recipiente e sua tampa mais o peso da semente úmida;

p = peso final, peso do recipiente e sua tampa mais o peso da semente seca;

t = tara, peso do recipiente com sua tampa.

Após analisar esses parâmetros, foram executadas as análises de qualidade fisiológica descritas a seguir:

Para o teste de germinação (G%), utilizou-se para cada tratamento quatro repetições de 25 sementes, semeadas em rolo de papel germitest umedecidos com água destilada. O volume de água (ml) utilizado foi referente a 2,5 vezes o peso do papel seco (g) (Brasil, 2009). Nos tratamentos com a utilização do Polietileno Glicol (PEG 6000), o mesmo foi dissolvido junto ao volume de água previamente calculado, sendo 143,18 g/l para a concentração de -0,3 MPa e 213,64 g/l para a concentração -0,6 MPa. O cálculo da quantidade de PEG 6000, adicionada para a obtenção das tensões de água utilizadas no umedecimento do substrato, foi realizado utilizando-se a equação proposta por Michel e Kaufmann (1973), e pelos procedimentos adotados por Villela *et al.* (1991), Braccini (1996) e Braccini *et al.* (1998), ou seja:

$$\Psi_{os} = -(1,18 \times 10^{-2}) C - (1,18 \times 10^{-4}) C^2 + (2,67 \times 10^{-4}) CT + (8,39 \times 10^{-7}) C^2 \quad (4.2)$$

em que: Ψ_{os} = potencial osmótico (bar);

C = concentração do agente osmótico (gramas de PEG 6000 L⁻¹ de água);

T = temperatura (°C).

Os rolos foram mantidos em germinadores previamente esterilizados e configurados para a temperatura de 20 °C ± 2 °C e fotoperíodo de 12h de luz e 12h de escuro de acordo com as prescrições das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). A avaliação ocorreu no oitavo dia após a semeadura, determinando-se a porcentagem de plântulas normais, anormais.

Para a avaliação de comprimento da raiz (CR), Comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento total de plântula (CT), foram utilizadas as plântulas normais avaliadas no teste de germinação. Com o auxílio de uma régua graduada em milímetros, fez-se a medição da parte aérea, parte radicular e plântula total.

Para a avaliação da massa fresca de raiz (MFR g) e massa fresca da parte aérea (MFPA g) foram utilizadas as plântulas normais avaliadas no teste de germinação. Com um bisturi, fez-se a separação da parte aérea das raízes e pesou-se as mesmas separadamente, armazenando-as em sacos de papel. Posteriormente, realizou-se a avaliação da massa seca de raiz (MSR g) e massa seca da parte aérea (MSPA g). As estruturas armazenadas permaneceram em estufa de circulação forçada de ar à 65 °C até atingir o peso constante. Após esse período, pesou-se novamente para a determinação do peso de matéria seca das mesmas.

Os experimentos foram montados com três diferentes classes de tamanho (P, M e G), de forma independente, e os resultados obtidos em todas as avaliações foram submetidos à ANOVA, sendo os tratamentos organizados em um fatorial 3 x 10 (3 potenciais hídricos (0,0 Mpa controle, -0,3 MPa e -0,6 MPa) x 10 cultivares). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. A análise dos dados foi realizada utilizando o programa estatístico R team 2022.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O teor de água das sementes variou de 10,2% e 12,9%, intervalo ideal para o armazenamento de trigo em câmara fria. Portanto, não houve diferença significativa, nesse parâmetro, para as sementes analisadas, nas quais analisou as qualidades fisiológicas de sementes normais, anormais, comprimento de parte aérea, comprimento de parte radicular, comprimento médio total, matéria seca da parte aérea, matéria seca da parte radicular, matéria fresca da parte aérea e matéria fresca da parte radicular, onde observou-se interação significativa entre cultivar e potenciais hídricos impostos pelo PEG 6000. Para a validação de testes fisiológicos em sementes, é fundamental a uniformidade no valor do teor de água (Bisognin et al., 2016), pois determina a viabilidade da semente e é de fundamental importância para a conservação da qualidade da mesma.

5.1 Sementes de tamanho P (< 2,5mm) submetidas a três diferentes potenciais hídricos simulados por polietilenoglicol 6000

Observamos interação significativa entre os fatores cultivares e potenciais hídricos impostos pelo PEG, para as variáveis plântulas normais, anormais, CMPA, CMPR, CMT, MFPA, MSPA e MSPR, portanto fizemos o desdobramento. No teste de germinação, em relação à porcentagem de sementes normais (Figura 1), observa-se que somente nas sementes que foram tratadas com a concentração de PEG 6000 que impõe o potencial hídrico de $-0,6\text{MPa}$ houve diferença significativa na germinação das diferentes cultivares testadas (Figura 1). Os resultados evidenciaram que as cultivares 1, 2, 3, 4 e 6 apresentaram maior porcentagem de germinação mesmo sob potencial hídrico de $-0,6\text{MPa}$, enquanto as cultivares 5, 7, 8, 9 e 10 apresentaram menor germinação.

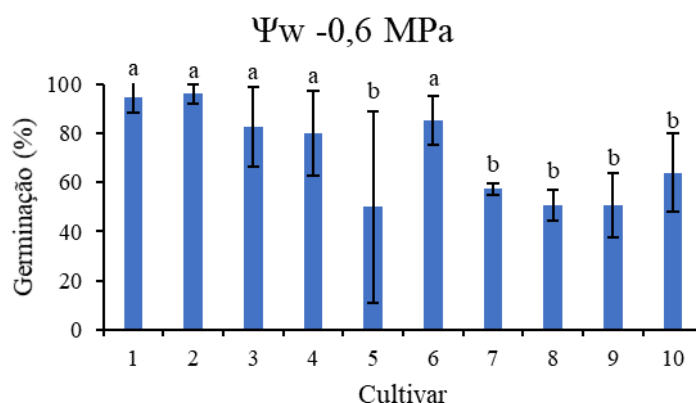


Figura 1: Desdobramento da variável sementes normais das diferentes cultivares dentro da dose de PEG $-0,6^*$ Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, $n=3$. *única dose que apresentou diferença significativa comparando cultivares.

A germinação de uma semente está relacionada com todo o ciclo de vida de uma planta (Mondal; Bose, 2018). O processo de germinação ocorre quando há condições de igualdade entre as forças associadas a este processo, ou seja, quando a força do crescimento potencial do embrião se iguala e supera a força contrária imposta pelas barreiras físicas que impedem a germinação (Bewley et al., 2013). O teste de germinação é um parâmetro importante da qualidade fisiológica das sementes sob condições ótimas de ambiente (Brasil, 2009b).

Nos dias atuais, o estresse abiótico pela seca é o que mais limita a germinação, o crescimento e o desenvolvimento das culturas. A redução na germinação das sementes sob baixos potenciais osmóticos, se deve à redução na disponibilidade de água necessária para a ativação e manutenção do metabolismo das sementes, afetando o potencial de crescimento do embrião (BEWLEY et al., 2013). Beckert et al. (2000), relataram que o processo de embebição das sementes menores é mais rápido e intenso devido ao seu tamanho, o que proporciona maior superfície de contato com o solo, e que, em condições de déficit hídrico, as mesmas conseguem se sobressair dentre as demais por necessitar de menores quantidades de água para ativação de todo o processo metabólico relacionado à germinação.

Ainda com relação às sementes normais, como já mencionado, observou-se que houve interação significativa entre os diferentes potenciais hídricos testados e as cultivares 5, 7, 8, 9 e 10, sendo assim, realizou-se o desdobramento dos fatores (Figura 2). As sementes das cultivares 5, 7, 8 e 10, nos potenciais de 0MPa e -0,3MPa apresentaram maior porcentagem de germinação, enquanto que em -0,6MPa apresentaram resultados inferiores.

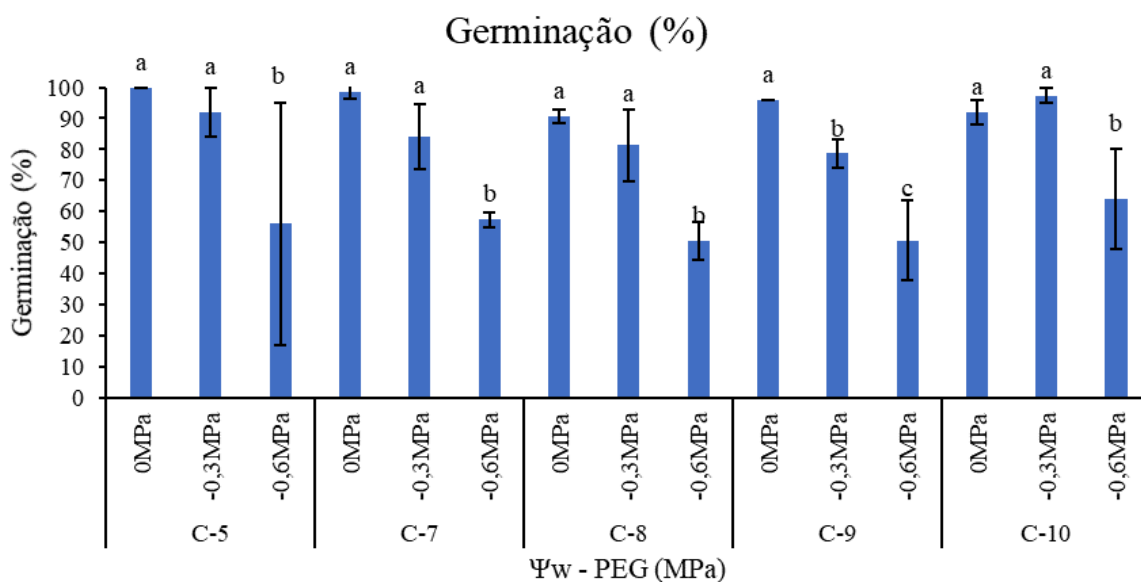


Figura 2: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para sementes normais no teste de germinação de trigo (tamanho P) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Como já mencionado, o PEG 6000 reduz o potencial hídrico do meio e a energia livre da água (Taiz, 2017), disponibilizando menos água para o processo germinativo. Sabe-se que

o processo de germinação das sementes ocorre pela interação de duas forças opostas, a força de potencial de crescimento do embrião, que favorece a germinação, e a força que atua no enfraquecimento do tecido que circunda o embrião (tegumento e endosperma). A entrada de água afeta a atividade de enzimas hidrolíticas que agem quebrando as ligações das moléculas de celulose e lignina, favorecendo este enfraquecimento (Pereira Roque *et al.* 2024). Além das enzimas hidrolíticas, a água também ativa enzimas de quebra de reserva como a α -amilase. Com a redução da entrada de água, a atividade enzimática é reduzida, acarretando em menor quebra de reservas, resultando em menor afrouxamento da barreira mecânica, que impede a germinação da semente e menor fornecimento de energia para o crescimento do embrião (Pereira Roque *et al.* 2024).

Ao avaliar sementes que originaram plântulas anormais, percebe-se que as concentrações de -0,3MPa e -0,6MPa de PEG 6000 apresentaram diferença significativa. Em ambos os potenciais hídricos, as cultivares 7, 8 e 9 apresentaram maior porcentagem de plântulas anormais (Figura 3).

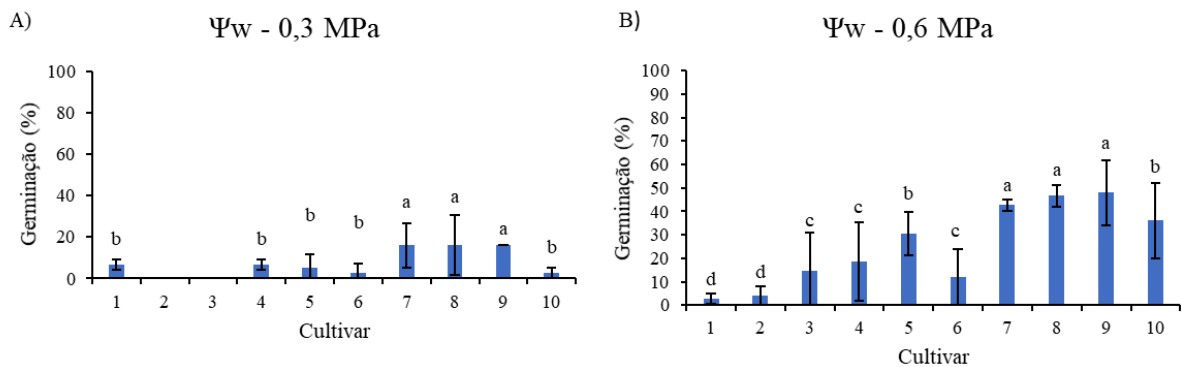


Figura 3: Desdobramento da variável sementes anormais das diferentes cultivares dentro das doses de PEG -0,6 e -0,3. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

O que se espera é que as sementes germinam e emergem em condições favoráveis para a espécie. Porém, quando em condições desfavoráveis, a germinação e o estabelecimento das plântulas são afetados negativamente. As porcentagens de plântulas anormais estão diretamente relacionadas com a ação fisiológica do polietilenoglicol, devido à menor absorção de água pelas sementes, redução do potencial osmótico da solução e diminuição do gradiente de potencial hídrico no sistema substrato-semente (Torres et al., 1998). Efeitos adversos de

concentrações crescentes de polietilenoglicol na germinação também foram encontrados por Braccini et al. (1998) e Tonin et al. (2000).

Também houve interação significativa entre os diferentes potenciais hídricos testados (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa) e as cultivares 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 10, para plântulas anormais, sendo assim, realizou-se o desdobramento dos fatores (Figura 4). Para todas as cultivares, o potencial de -0,6MPa apresentou maior porcentagem de anormalidades, enquanto 0MPa se destacou pela menor presença de anormalidade.

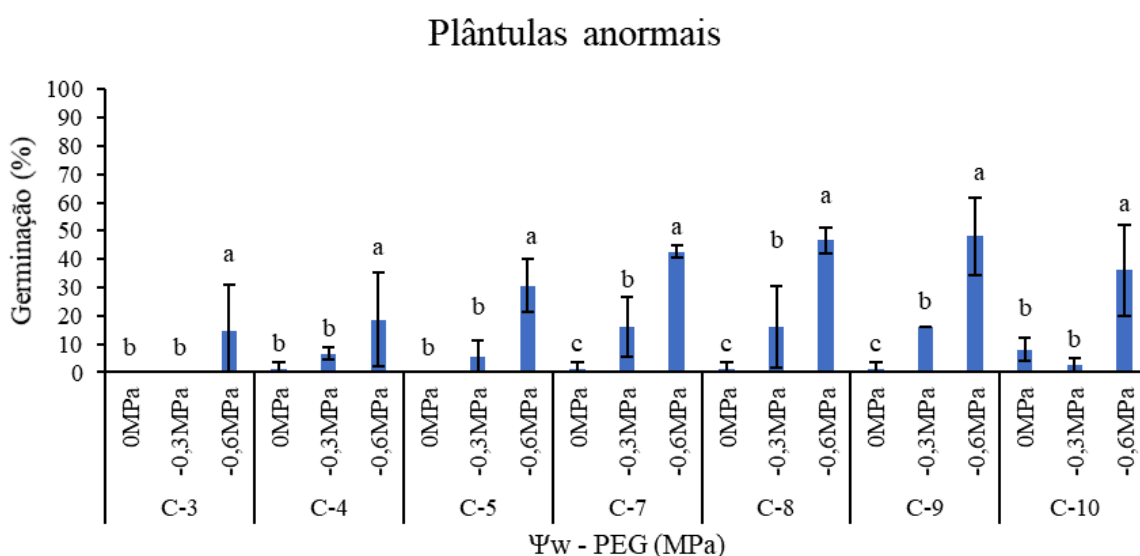


Figura 4: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para sementes anormais no teste de germinação de trigo (tamanho P) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

As anormalidades podem ser explicadas pela diminuição no metabolismo das sementes em função da menor disponibilidade de água para a mobilização das reservas e translocação dos produtos metabolizados, sendo estes processos caracterizados por Bewley e Black (1994) por um padrão trifásico da germinação para maioria das espécies. Como dito anteriormente, a redução do potencial hídrico do meio causado pela adição do PEG 6000, acarreta em menor disponibilidade de água, o que afeta o processo germinativo e também desenvolvimento da plântula, gerando assim as anormalidades constatadas no presente trabalho (Bewley et al., 2013).

Para o comprimento de parte aérea, notou-se que todos os potenciais osmóticos apresentaram diferença significativa. As cultivares 1 e 2 apresentaram maior comprimento quando em potencial 0MPa, já a cultivar 3 apresentou maior comprimento sob -0,3MPa. Contudo, ao serem submetidas ao menor potencial, juntamente com a cultivar 7 e 8, foram as que mais responderam negativamente. As demais cultivares apresentaram resultados semelhantes, em potenciais mais próximos de zero apresentaram maior comprimento, e quando submetidas ao menor potencial hídrico, reduziram o tamanho. A cultivar 5 se sobressaiu dentre as demais quando em -0,6MPa (Figura 5).

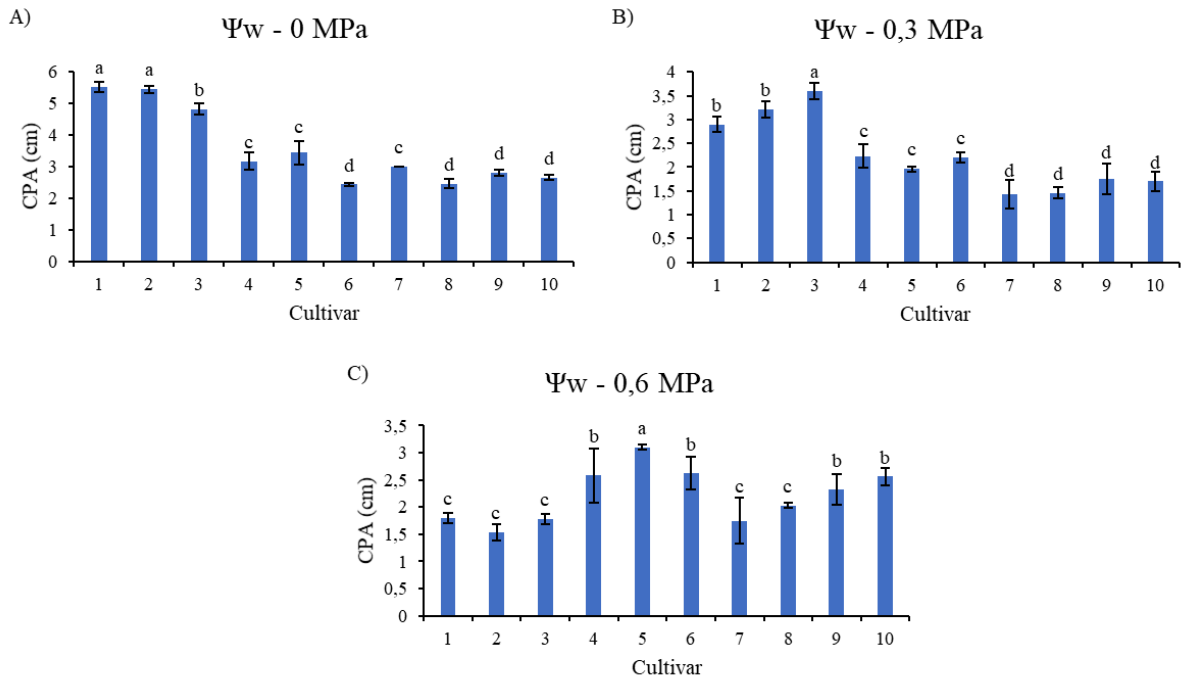


Figura 5: Desdobramento da variável comprimento da parte aérea das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

O desdobramento dos fatores estudados permitiu concluir que, com exceção das cultivares 5 e 10, as demais apresentaram maior comprimento de parte aérea quando submetidas a 0MPa. (Figura 6).

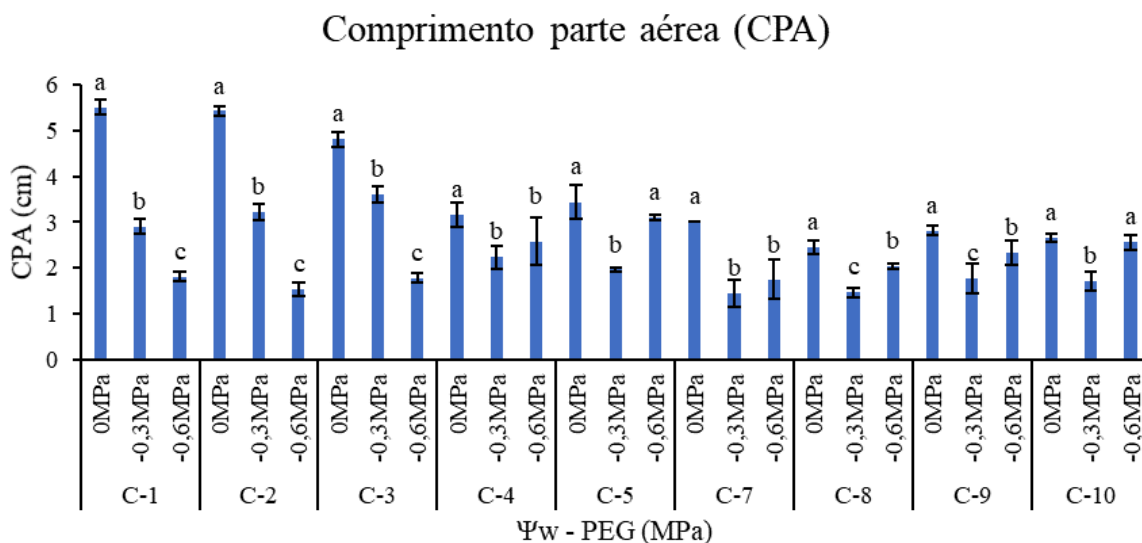


Figura 6: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para comprimento de parte aérea no teste de germinação de trigo (tamanho P) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Ao analisar o comprimento radicular, observa-se diferença significativa em todos os potenciais hídricos. As cultivares 1, 2, 3 apresentaram comportamento estável, enquanto as demais, desenvolveram raízes menores a 0 e -0,3 Mpa e ao serem submetidas a -0,6MPa, responderam positivamente ao estresse, aumentando o comprimento radicular, com maiores médias nas cultivares 5, 6 e 9 (Figura 7).

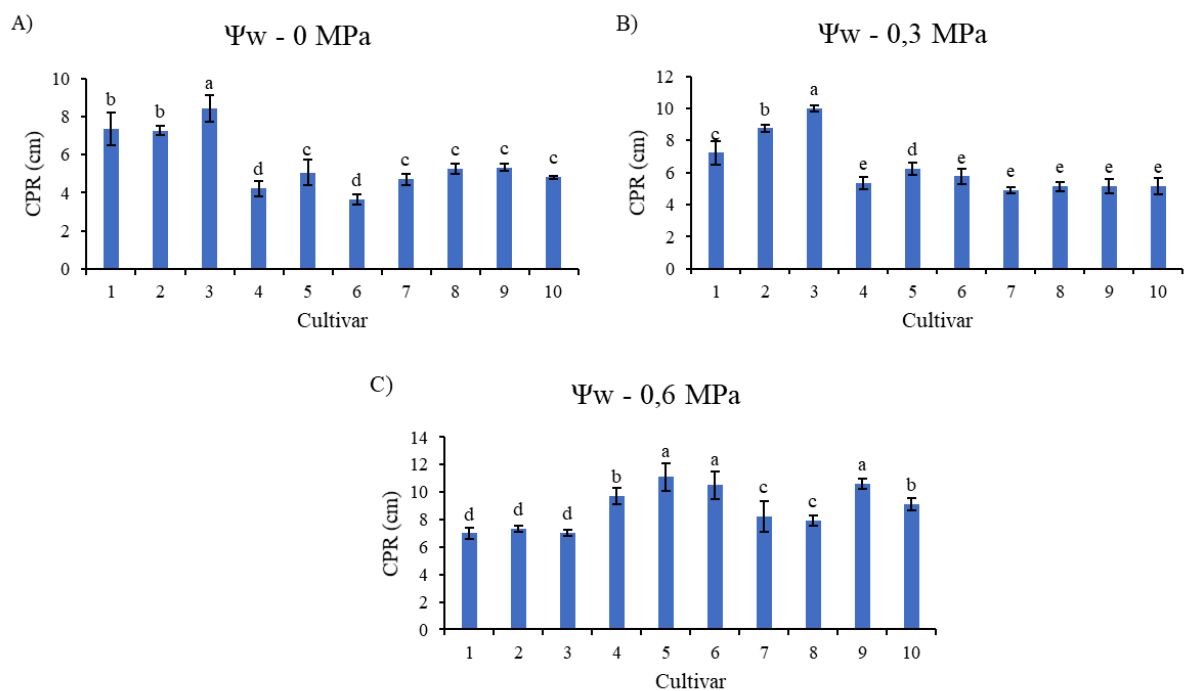


Figura 7: Desdobramento da variável comprimento da parte radicular das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Também houve interação significativa entre os fatores avaliados para CPR, (Figura 8). As cultivares 2 e 3 apresentaram maior comprimento de raízes quando em -0,3MPa, diferente das demais cultivares, que apresentaram resultados superiores quando em -0,6MPa (Figura 8).

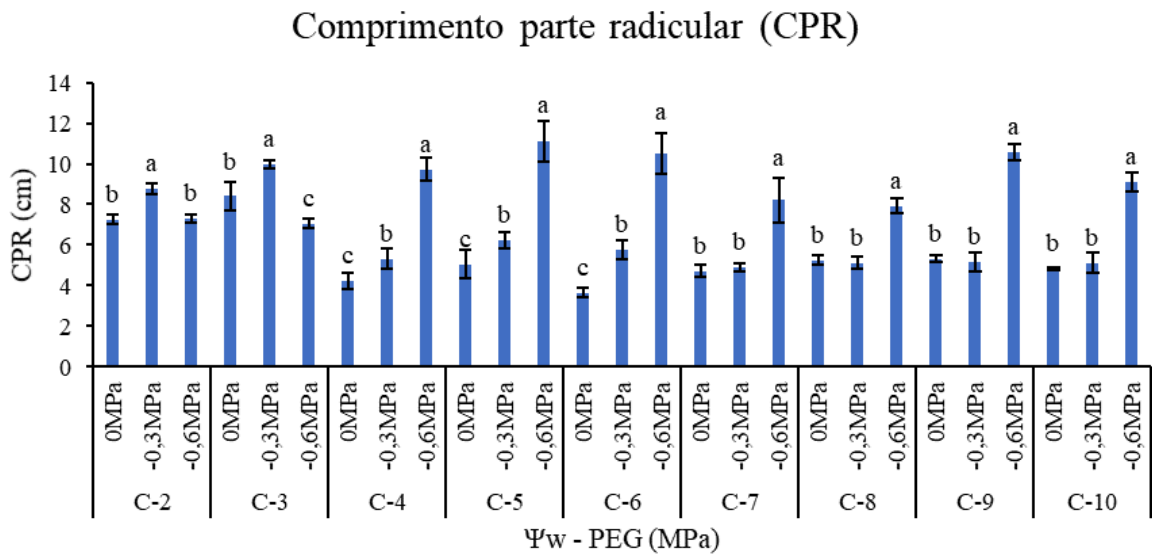


Figura 8: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para comprimento da parte radicular no teste de germinação de trigo (tamanho P) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Para a variável comprimento total (CMT), também foi possível verificar diferenças significativas em todos os três potenciais. Sendo que quando em 0MPa as cultivares 1, 2 e 3 originaram plântulas de maior comprimento total, em -0,3MPa a cultivar 3 se destacou, enquanto que em -0,6MPa, as cultivares 4, 5 e 6 se sobressaíram (Figura 9).

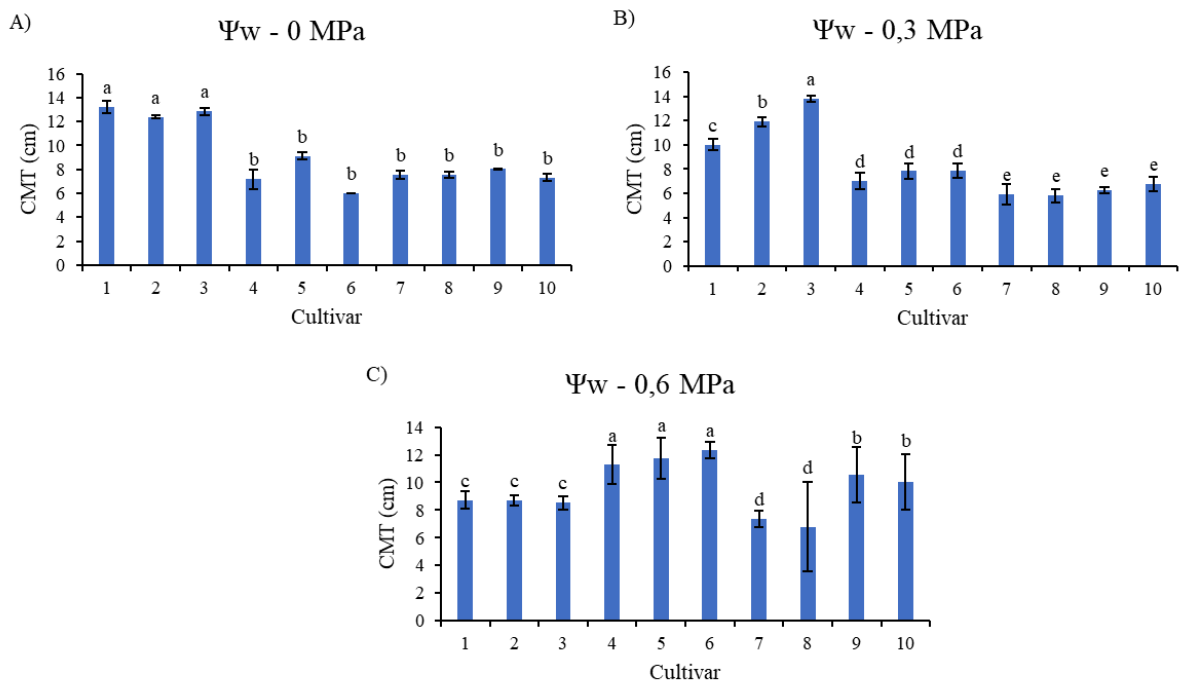


Figura 9: Desdobramento da variável comprimento médio total das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Ao desdobrar, após averiguar a interação entre as concentrações de PEG 6000 e as cultivares 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9 e 10, concluiu-se que a cultivar 1 apresentou melhor resultado quando em 0MPa, as cultivares 2 e 3 apresentaram plântulas de maior comprimento total quando foram submetidas a 0MPa e -0,3MPa, diferentemente das cultivares 4, 5, 6, 9, 10, que apresentaram tal superioridade quando em -0,6MPa (Figura 10).

Comprimento médio total (CMT)

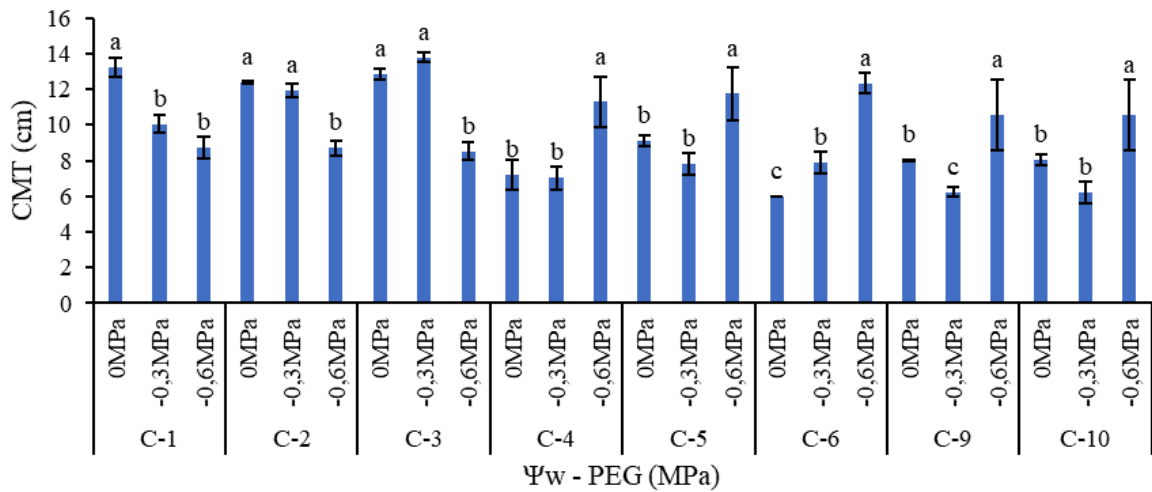


Figura 10: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para comprimento médio total no teste de germinação de trigo (tamanho P) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, $n=3$.

Durante a exposição a estresses abióticos, as plantas exibem diferentes respostas nos níveis molecular, celular e da planta inteira, incluindo alterações fisiológicas, morfológicas e de desenvolvimento, bem como alterações na via metabólica (Roychoudhury et al. 2013). Portanto, o aumento do crescimento das raízes sob estresse hídrico pode melhorar a absorção de água e nutrientes, e é um mecanismo típico de tolerância das plantas sob condições de seca (Acosta-Motos et al. 2017).

Ao analisar os efeitos do estresse hídrico no crescimento das plântulas, observou-se que, na maioria das cultivares, quanto maior a restrição hídrica imposta às sementes, mais graves foram os prejuízos causados ao desenvolvimento das plântulas. De acordo com Moraes e Menezes (2003), se o hipocótilo e a radícula forem proporcionalmente afetados, não haverá mudança significativa na proporção hipocótilo/radícula entre os diferentes tratamentos.

São escassos os trabalhos que buscaram avaliar o potencial osmótico induzido por polietilenoglicol 6000 na cultura do trigo. Em outras culturas, como feijão, constatou-se que, nas mesmas condições de déficit, o crescimento radicular foi maior até o nível de -0,4 MPa (Meneses et al., 2007, Aazami et al., 2010). Em feijão e beterraba, quando as plântulas foram submetidas ao efeito de PEG 6000, as mesmas apresentaram grande efeito na diminuição de germinação (Sadeghian & Yavari, 2004). Também foi verificado, para a cultura da beterraba, diminuição severa no crescimento das mesmas. Níveis maiores que -0,4 MPa resultaram em

plântulas menores e menos vigorosas, comprometendo seu estabelecimento em condições de campo (Meneses et al., 2007).

Na avaliação da massa fresca, somente a parte aérea apresentou diferença significativa, em todos os três potenciais. Quando em 0MPa, somente as cultivares 1 e 2 apresentaram maior acúmulo de massa, enquanto que em -0,3MPa foram as cultivares 2 e 3, já em -0,6MPa, somente as cultivares 7, 8 e 9 acumularam menor quantidade de massa fresca (Figura 11).

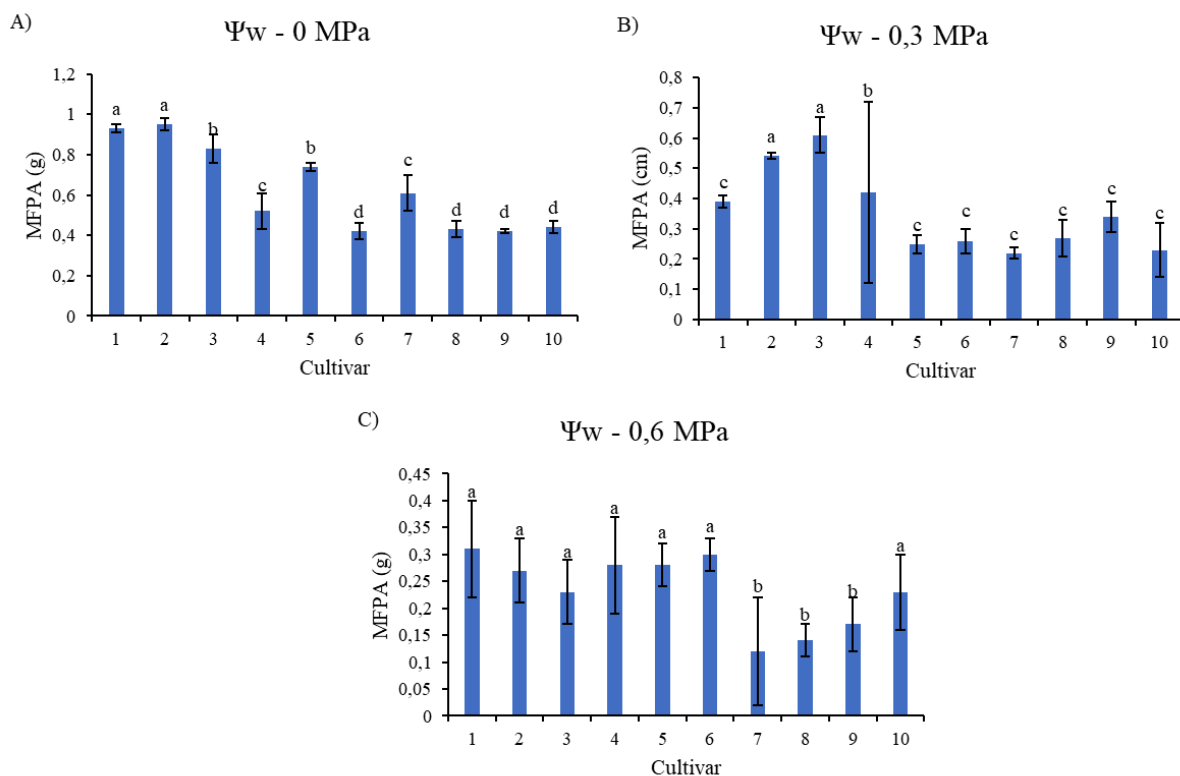


Figura 11: Desdobramento da variável massa fresca da parte aérea das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Média \pm dp, n=3.

O desdobramento dos fatores permitiu concluir que todas as cultivares, exceto a cultivar 4 e 9 apresentaram maior acúmulo de massa fresca da parte aérea quando em 0MPa. A cultivar 4 e 9 obtiveram resultados positivos tanto quando em 0MPa quanto em -0,3MPa. Também foi possível observar que a concentração de -0,6MPa foi negativa para todas as cultivares (Figura 12).

Massa fresca parte aérea (MFPA)

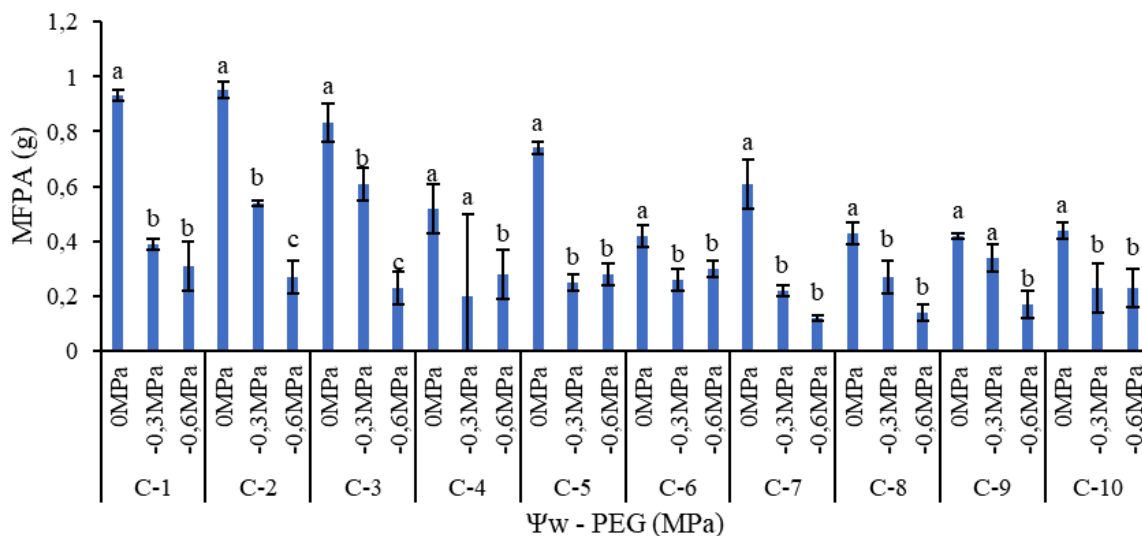


Figura 12: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para massa fresca da parte aérea no teste de germinação de trigo (tamanho P) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Na avaliação de massa seca da parte aérea, todos os potenciais testados (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa) afetaram o comportamento desta variável. No potencial de 0MPa, cultivares 1, 2, 3 e 5 apresentaram maior acúmulo de massa, enquanto que em -0,3MPa destacou-se as cultivares 2 e 3, já em -0,6MPa foram as cultivares 2, 4, 5 e 6 (Figura 13).

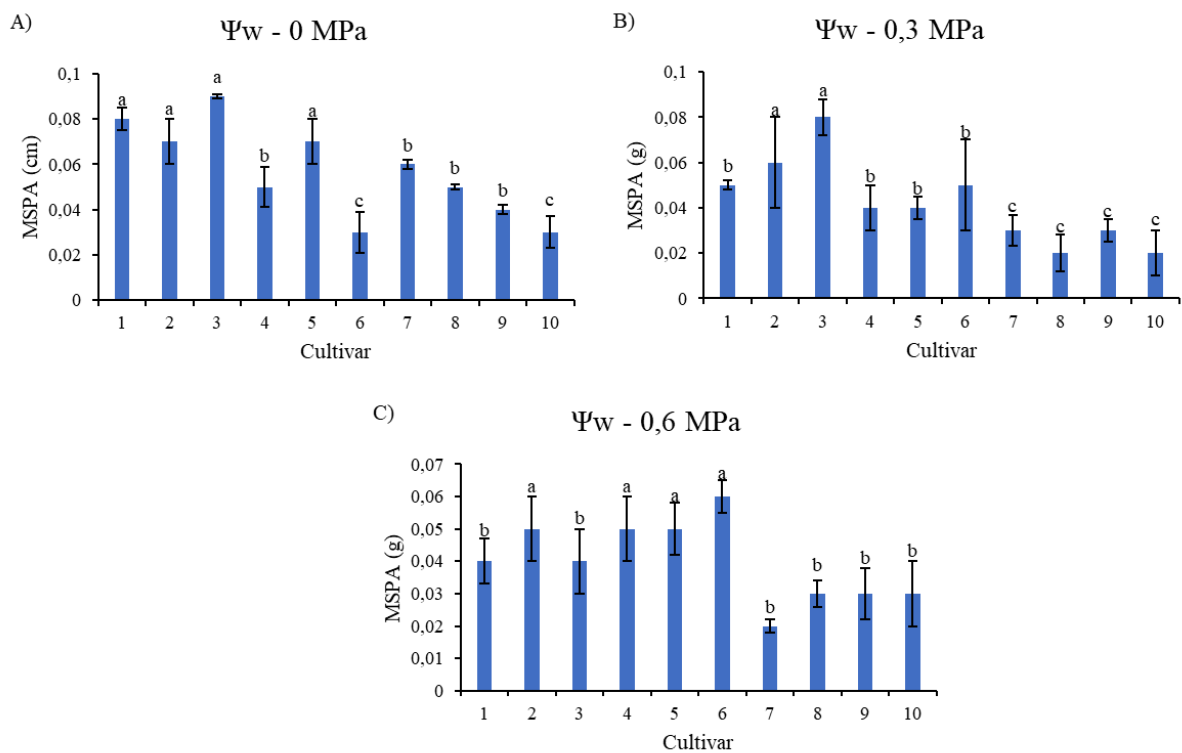


Figura 13: Desdobramento da variável massa seca da parte aérea das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

O desdobramento dos fatores estudados (Figura 14), permitiu verificar que as cultivares 1, 5, 7 e 8 apresentaram maior acúmulo de massa quando em 0MPa, diferente da cultivar 3, que apresentou resultados positivos em 0MPa e -0,3MPa, e a cultivar 6, que foi positiva em -0,3MPa e -0,6MPa.

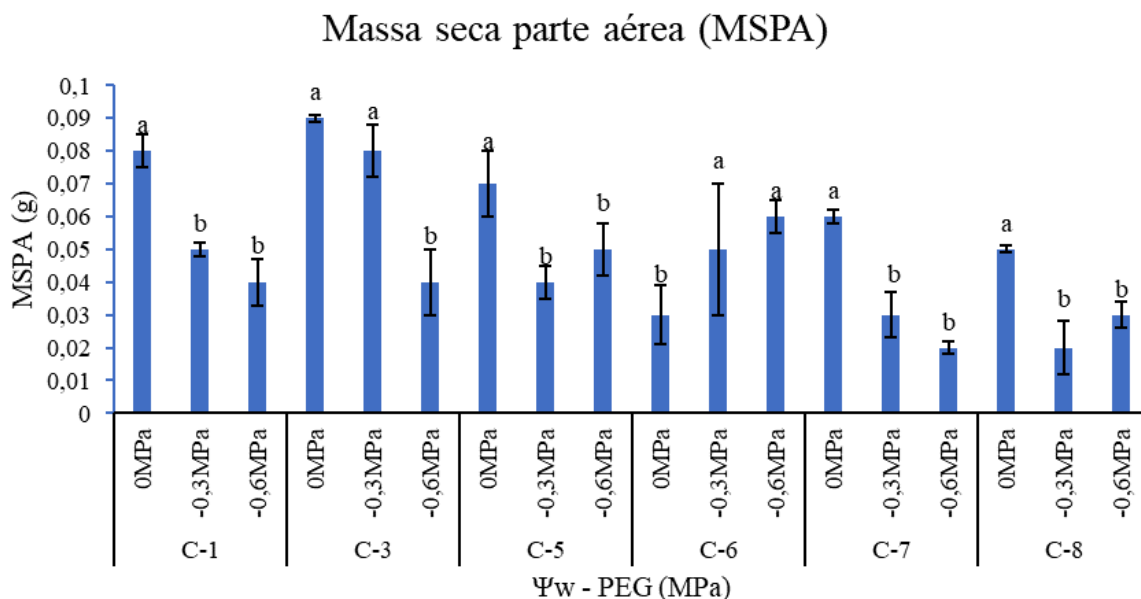


Figura 14: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para massa seca da parte aérea no teste de germinação de trigo (tamanho P) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Por fim, também houve diferença significativa na massa seca da parte radicular. Na concentração 0MPa, as cultivares 1, 2, 3, 5 e 8 foram as que apresentaram maior acúmulo de massa na raiz, já em -0,3MPa destacou-se a 2 e 3, enquanto que em -0,6MPa, foram as cultivares 2, 4, 5 e 6 (Figura 15).

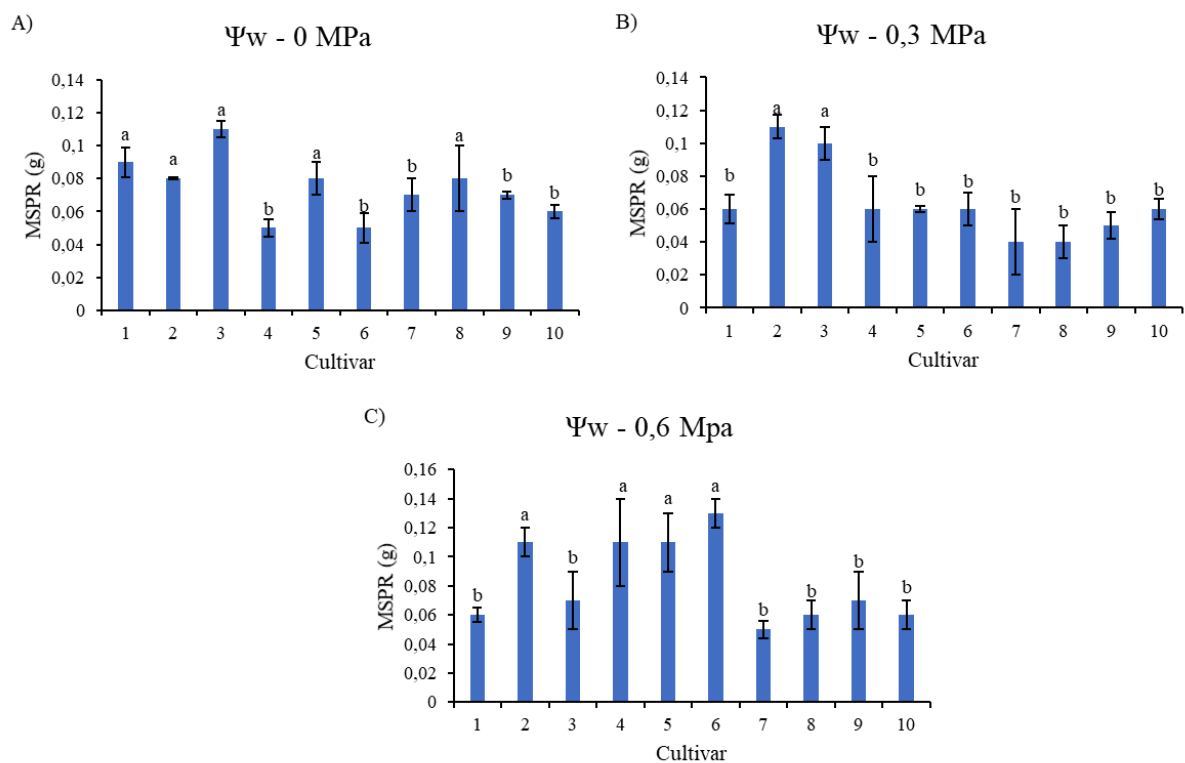


Figura 15: Desdobramento da variável massa seca da parte radicular das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

A massa seca da raiz também apresentou interação entre as cultivares e os potenciais hídricos. Ao realizar o desdobramento, observa-se que as cultivares 1 e 8 apresentaram maior acúmulo quando em 0MPa, a cultivar 3 em 0MPa e também -0,3MPa, já as cultivares 4, 5 e 6 apresentaram melhor comportamento quando em -0,6MPa (Figura 16).

Massa seca parte radicular (MSPR)

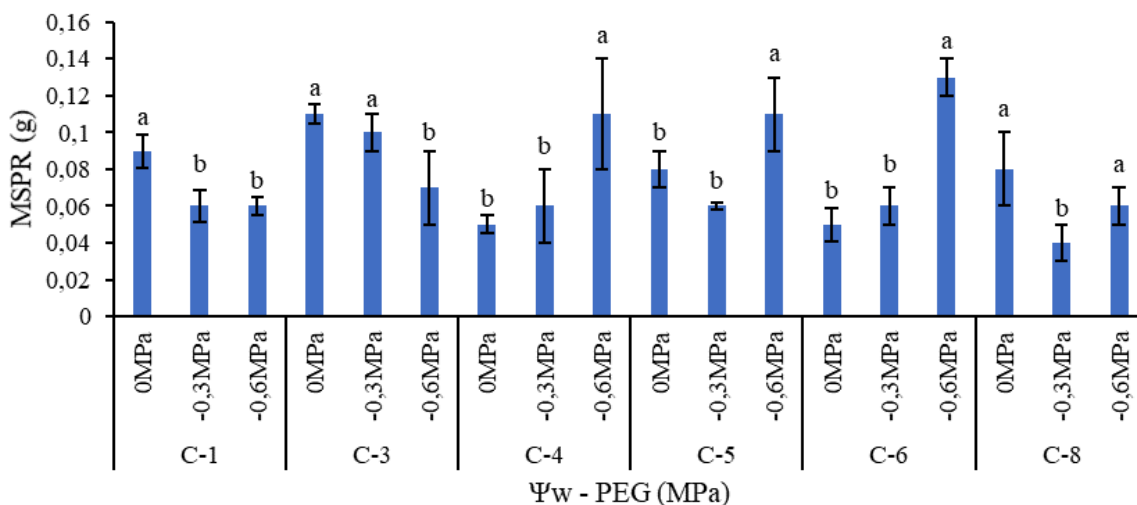


Figura 16: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para massa seca da parte radicular no teste de germinação de trigo (tamanho P) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

De modo geral, sementes mais vigorosas formam plântulas com maior acúmulo de massa seca (MARCOS FILHO, 2015). O vigor de sementes está associado diretamente com diversas variáveis, como a massa seca, comprimento de plântulas e a taxa de mobilização de reservas. Uma semente com maior potencial fisiológico possui maior capacidade de aproveitamento de reservas, formando plântulas maiores e com mais matéria seca (PADILHA et al., 2022).Tendo isso em vista, torna-se justificável a classificação de sementes por tamanho, uma vez que a avaliação de massa seca e comprimento de plântulas permite diferenciar potencial de lotes e estimar seu desempenho inicial em campo.

5.2 Sementes de tamanho M ($> 2,5\text{mm}$ e $< 2,75\text{mm}$) submetidas a três diferentes potenciais hídricos simulados por polietilenoglicol 6000

Observamos interação significativa entre os fatores cultivares e potenciais hídricos impostos pelo PEG, para as variáveis plântulas normais, anormais, CMPA, CMPR, CMT, MFPA, MFPR e MSPR, portanto fizemos o desdobramento. Na avaliação das sementes normais, observa-se que somente a concentração de polietilenoglicol que impõe o potencial

hídrico de -0,6MPa apresentou diferença significativa na germinação das diferentes cultivares testadas (Figura 17). Os resultados evidenciaram que as cultivares 1, 2, 4, 5 e 6 apresentaram maior porcentagem de germinação mesmo sob potencial hídrico negativo, enquanto as cultivares 3, 7, 8, 9 e 10 apresentaram menor germinação sob as mesmas condições.

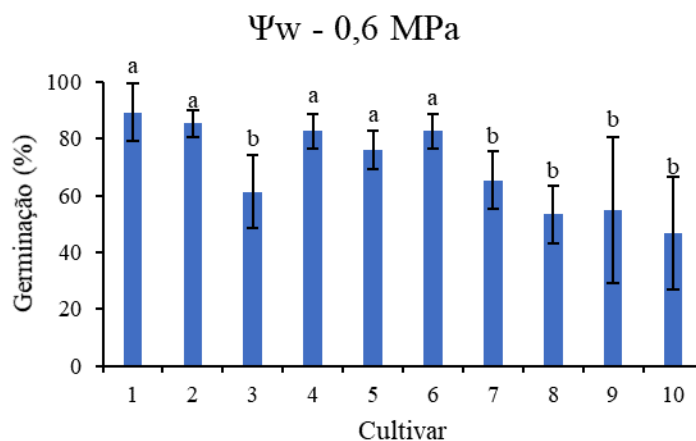


Figura 17: Desdobramento da variável sementes normais das diferentes cultivares dentro da dose de PEG -0,6* Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3. *única dose que apresentou diferença significativa comparando cultivares.

Como citado anteriormente, a germinação de uma semente está relacionada com todo o ciclo de uma planta (Mondal; Bose, 2018). A redução na germinação das sementes sob estresse hídrico se deve à redução na disponibilidade de água necessária para a ativação e manutenção do metabolismo das sementes (Bewley et al. 2013; Bianchi et al., 2022). O PEG funciona reduzindo a energia livre da água, tornando o meio mais negativo, o que gera diminuição do potencial hídrico e conseqüente menor disponibilização de água para a semente durante o processo de germinação (Taiz, 2017).

Na variável germinação, observou-se a presença de interação significativa entre os diferentes potenciais hídricos e as cultivares 3, 7, 8, 9 e 10, sendo assim, realizou-se o desdobramento dos fatores (Figura 18). Para todas as cultivares, os potenciais de 0MPa e -0,3MPa apresentaram maior porcentagem de germinação nas sementes testadas, enquanto -0,6MPa apresentou resultados inferiores.

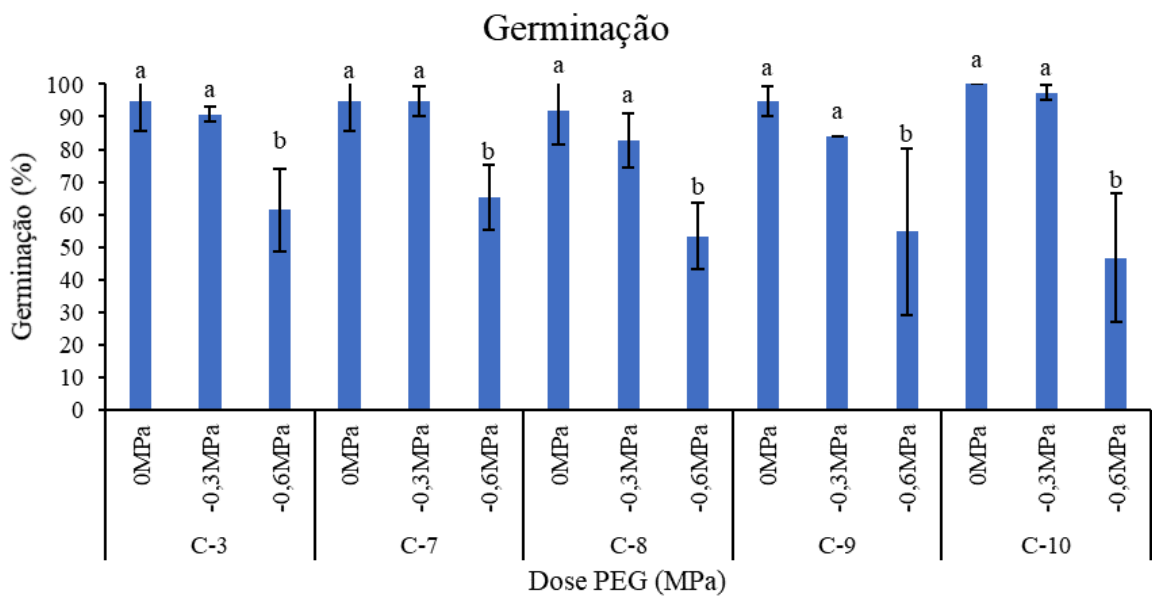


Figura 18: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para sementes normais no teste de germinação de trigo (tamanho M) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, $n=3$.

A presença da barreira mecânica que circunda o embrião dificulta o processo germinativo, principalmente quando a semente se encontra sob estresse abiótico. A adição de PEG faz com que o potencial osmótico do meio se torne mais negativo, limitando a quantidade de água necessária para o início do processo germinativo e afrouxamento da barreira mecânica que impede a germinação (Pereira Roque *et al.* 2024). Estudos anteriores relataram que o estresse osmótico induzido pelo PEG atrasa o início da germinação, levando à redução na porcentagem de germinação (Raza *et al.* 2012).

Para plântulas anormais, somente a concentração -0,6MPa de PEG 6000 apresentou diferença significativa entre as cultivares testadas. Os resultados mostraram que as cultivares 8, 9 e 10 apresentaram maior porcentagem de plântulas anormais, diferentemente das demais, que apresentaram menor porcentagem de tais plântulas (Figura 19).

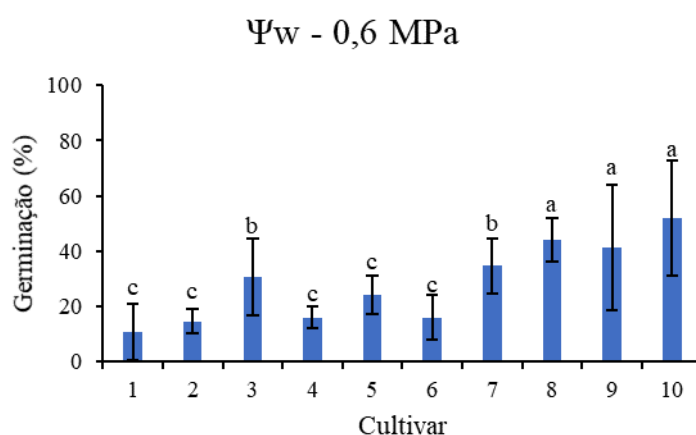


Figura 19: Desdobramento da variável sementes anormais das diferentes cultivares dentro da dose de PEG -0,6* Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3. *única dose que apresentou diferença significativa comparando cultivares.

Sob condições desfavoráveis, como a induzida neste trabalho, as sementes apresentam maior dificuldade de germinação e posterior estabelecimento e formação de estandes. Segundo Sharma (1973, 1976), citado por Torres et al. (1999), a redução do potencial osmótico induzido pela adição do PEG 6000, provoca impedimento no movimento de água pela diminuição do potencial hídrico e conseqüente velocidade de germinação e crescimento das raízes, o que justifica a aparição de sementes anormais.

Na avaliação de plântulas anormais, houve interação significativa entre os diferentes potenciais hídricos testados (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa) e as cultivares 3, 5, 7, 8, 9 e 10, sendo assim, realizou-se o desdobramento dos fatores (Figura 20). Para todas as cultivares, o potencial de -0,6MPa apresentou maior porcentagem de anormalidades, enquanto nas demais concentrações a presença foi diminuta.

Plântulas Anormais

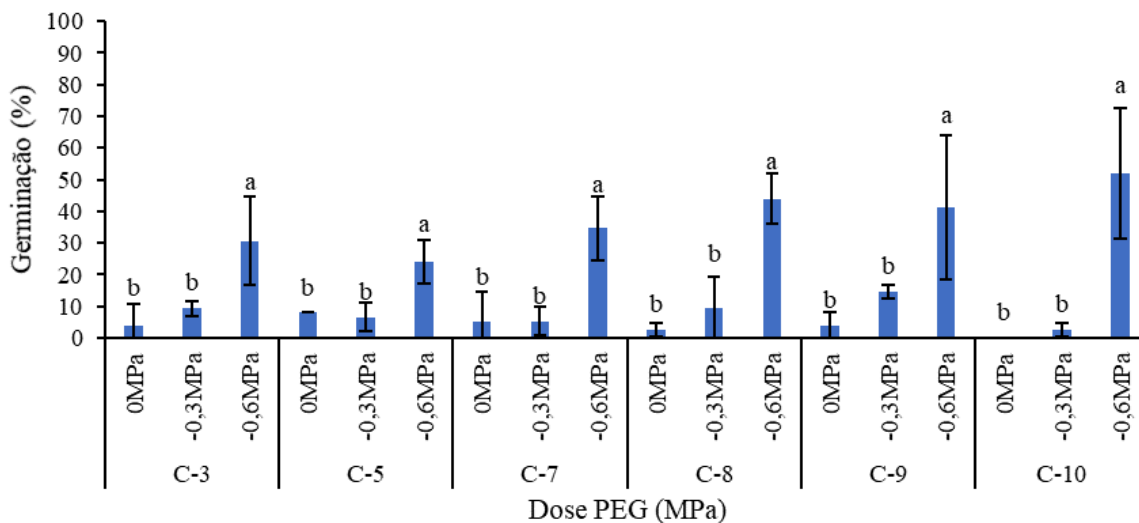


Figura 20: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para sementes anormais no teste de germinação de trigo (tamanho M) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, $n=3$.

Segundo Perez (1988), as espécies comportam-se de acordo com a condição de estresse induzido. A resposta a essa condição de estresse depende não só da constituição genética, mas, também, da condição fisiológica da semente (TORRES et al., 1999). A diminuição no metabolismo da semente, oriunda do déficit hídrico, afeta diretamente na mobilização de reservas, acarretando assim em possíveis anormalidades que afetarão a futura planta (Bewley e Black, 1994).

Na avaliação do comprimento de parte aérea, todos os potenciais osmóticos apresentaram diferença significativa na germinação das cultivares testadas. A cultivar 1 apresentou maiores comprimentos quando submetida aos potenciais de 0MPa e -0,3MPa. Quando o potencial imposto é de -0,6MPa, as cultivares 4, 5, 6 e 9 responderam de forma superior às demais cultivares, próximo aos resultados obtidos em 0MPa contudo superiores aos obtidos em -0,3MPa (Figura 21).

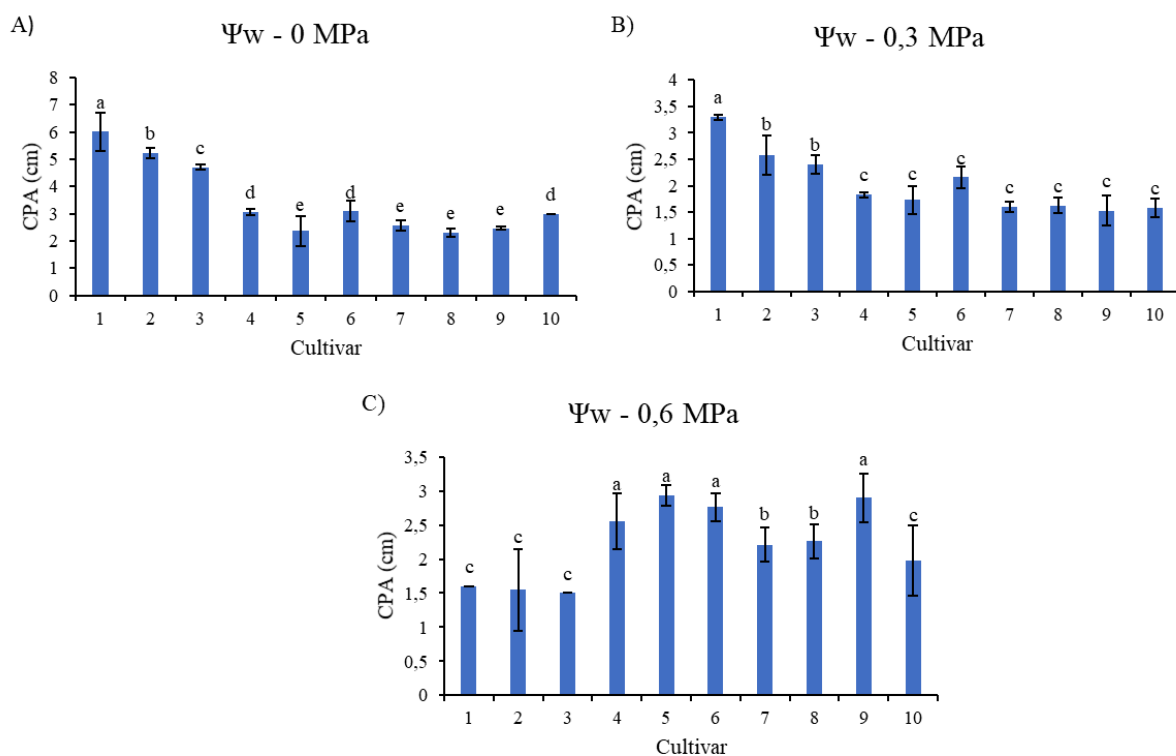


Figura 21: Desdobramento da variável comprimento da parte aérea das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Ao analisar a interação entre os fatores estudados, foi possível concluir que, as cultivares 1, 2, 3, 4 e 10 se sobressaíram positivamente, quanto ao CPA, quando em 0MPa, já a cultivar 5 teve seu melhor desempenho quando em -0,6MPa. Quanto às cultivares 6, 7, 8 e 9, tanto o potencial de 0MPa quanto o de -0,6MPa se mostraram eficientes no comprimento da parte aérea (Figura 22).

Comprimento parte aérea (CPA)

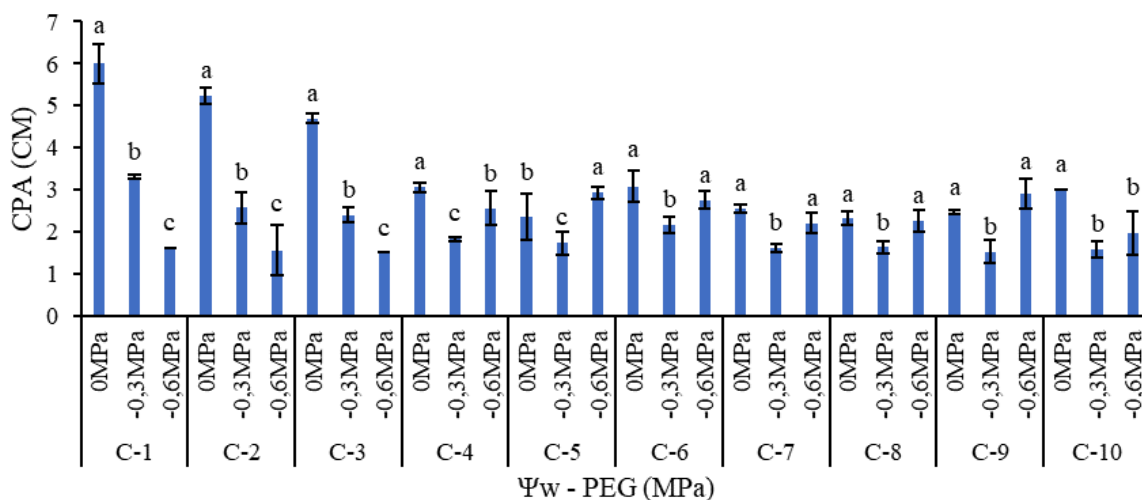


Figura 22: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para comprimento da parte aérea no teste de germinação de trigo (tamanho M) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, $n=3$.

Para o comprimento radicular, observou-se diferença significativa em todos os potenciais hídricos. A cultivar 3 apresentou resultados semelhantes e também superiores quando em déficit de 0MPa e -0,3MPa. A cultivar 1 se destacou quando em -0,3MPa. Já quando em 0,6MPa, a cultivar 5 foi a que apresentou maior comprimento de parte radicular, superiores quando submetida a 0MPa e -0,3MPa (Figura 23).

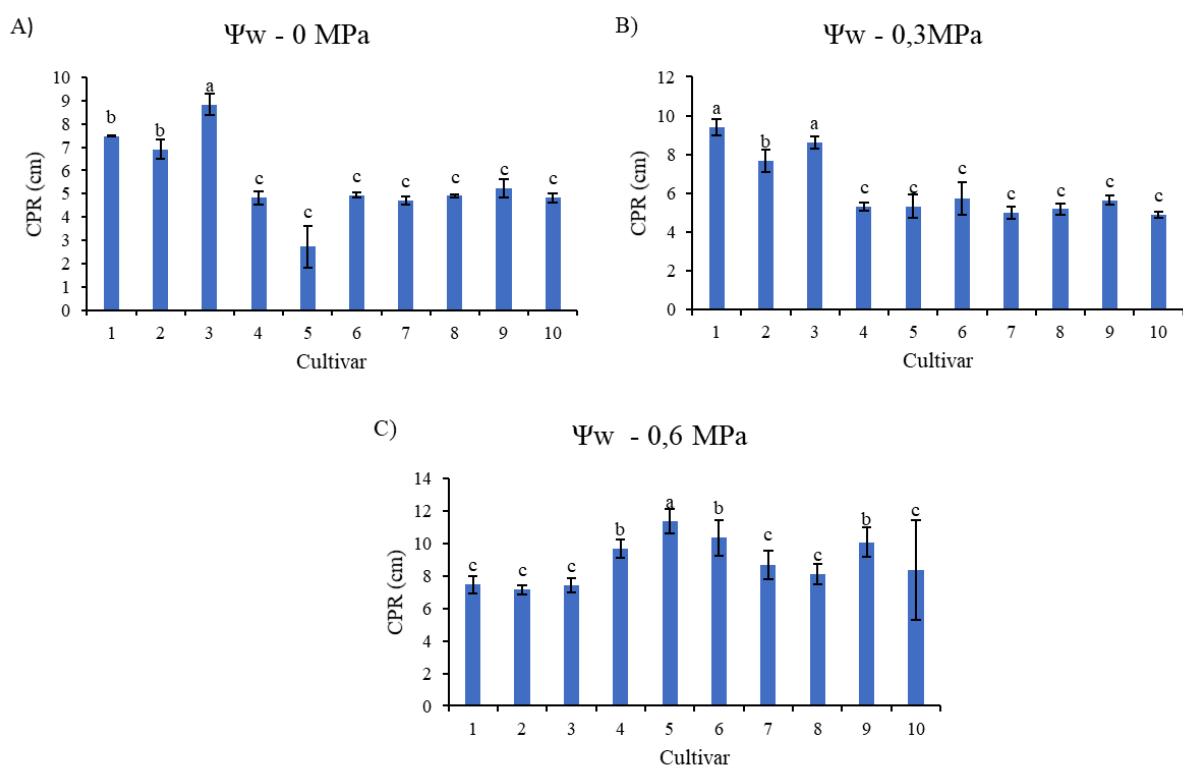


Figura 23: Desdobramento da variável comprimento da parte radicular das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

O desdobramento dos fatores demonstrou que a cultivar 1 apresentou maior proporção de comprimento quando em -0,3MPa, diferente das demais cultivares (4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10) que apresentaram resultados positivos quando em -0,6MPa (Figura 24).

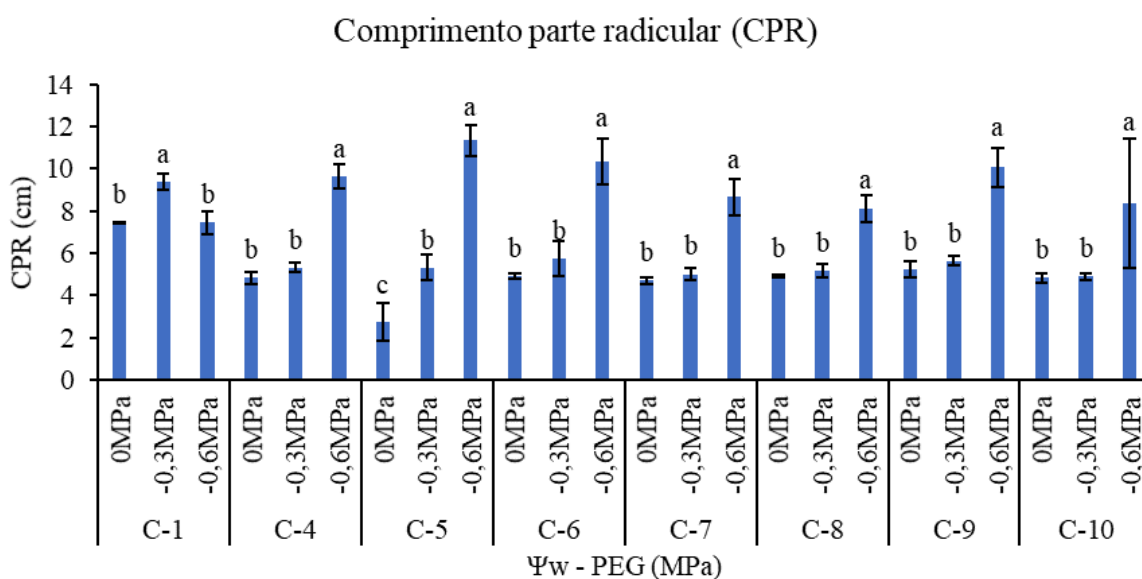


Figura 24: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para comprimento da parte radicular no teste de germinação de trigo (tamanho M) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Para a variável comprimento total, também foi possível verificar diferenças significativas em todos os três potenciais. Sendo que quando em 0MPa as cultivares 1, 2 e 3 originaram plântulas de maior comprimento total, em -0,3MPa a cultivar 1 se destacou, enquanto que em -0,6MPa, as cultivares 4, 5, 6 e 9 se sobressaíram com resultados superiores quando foram submetidas a 0MPa e -0,3MPa (Figura 25).

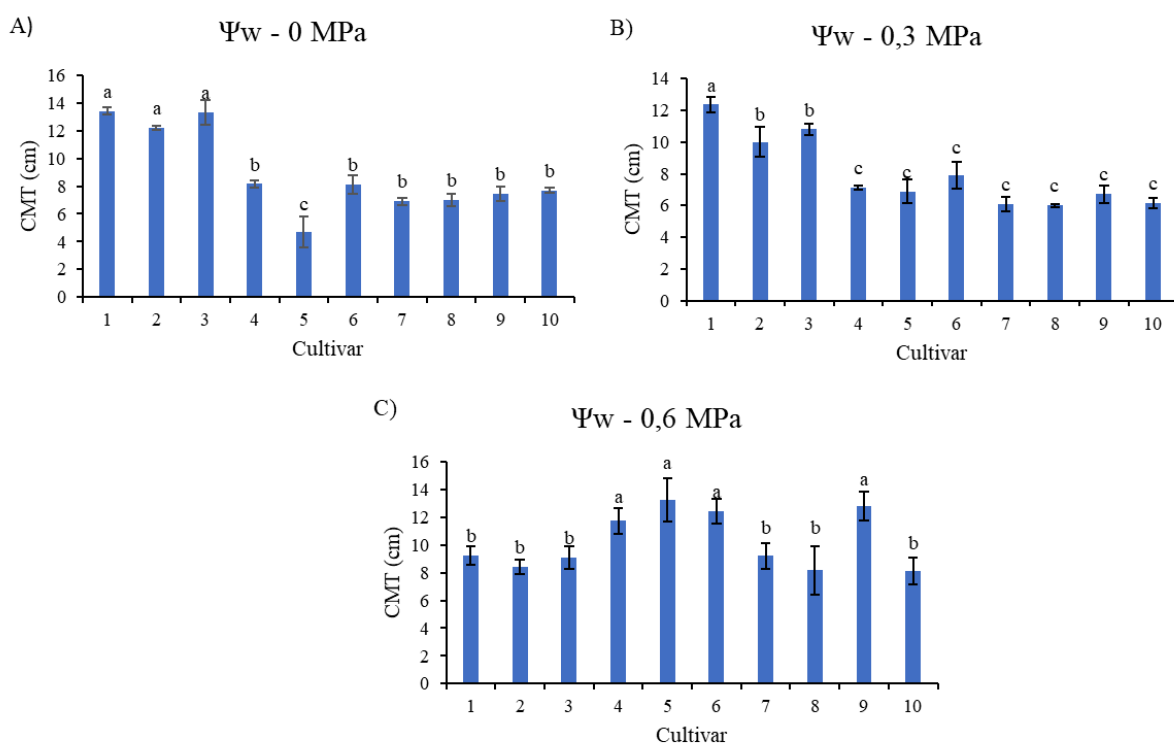


Figura 25: Desdobramento da variável comprimento médio total das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Ao desdobrar, após averiguar a interação entre as concentrações de PEG 6000 e todas as cultivares, concluiu-se que a cultivar 2 e 3 apresentaram melhores resultados quando em 0MPa, a cultivar 1 apresentou plântulas de maior comprimento total quando foi submetida a 0MPa e -0,3MPa, a cultivar 10 apresentou plântulas de maior comprimento total quando foi submetida a 0MPa e -0,6MPa, diferentemente das cultivares 4, 5, 6, 7, 8 e 9, que apresentaram tal superioridade quando em -0,6MPa (Figura 26).

Comprimento médio total (CMT)

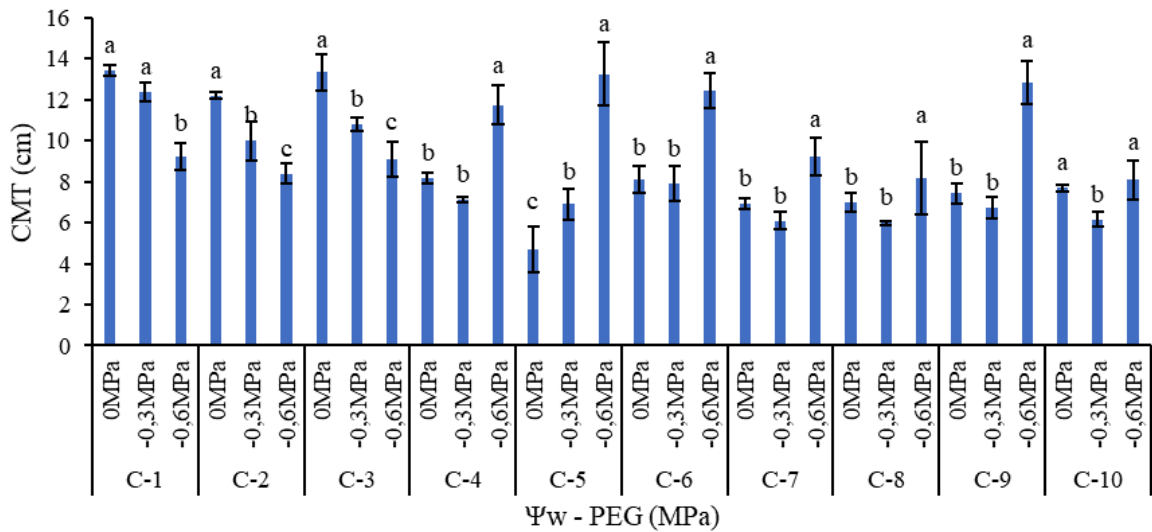


Figura 26: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para comprimento médio total no teste de germinação de trigo (tamanho M) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média $\pm dp$, $n=3$.

Outros estudos observaram reduções significativas no comprimento da parte aérea de variedades de trigo no estágio de plântula sob estresse induzido por polietilenoglicol (Khakwani *et al.* 2011; Almaghrabi, 2012). O estresse citado anteriormente diminui a pressão de turgor e reduz a divisão celular, resultando em baixo crescimento da parte aérea (Lagerwerff *et al.* 1961). O comprimento reduzido da raiz também pode estar associado à diminuição do turgor relativo e à desidratação do protoplasma, que está associado à perda de pressão de torção e à redução da expansão e divisão celular como um mecanismo de enfrentamento para a sobrevivência sob déficit hídrico (Kumari *et al.* 2014). Quando as plantas são expostas ao estresse induzido pelo PEG 6000, as raízes laterais formam mais pelos radiculares (Wang *et al.* 2013). As plantas usam a flexibilidade de suas fibras radiculares para aumentar o nível inicial de absorção de água e nutrição sob condições estressantes (Brown *et al.* 2013).

Na avaliação da massa fresca da parte aérea notou-se diferença significativa em todos os três potenciais. Quando em 0MPa, somente as cultivares 1 e 2 apresentaram maior acúmulo de massa, enquanto que em -0,3MPa e -0,6MPa foi somente a cultivar 1 que mostrou significativa em acúmulo de massa fresca (Figura 27).

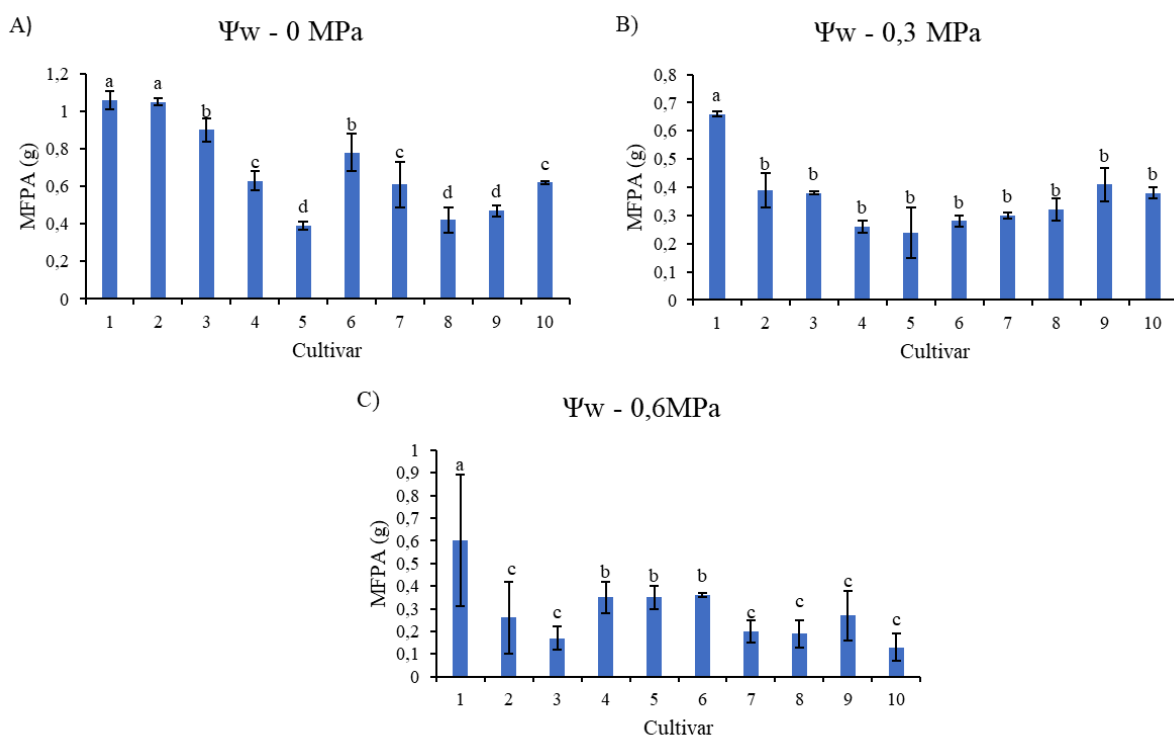


Figura 27: Desdobramento da variável massa fresca da parte aérea das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Realizando o desdobramento, devido a presença de interação significativa entre cultivar e potencial hídrico, concluiu-se que todas as cultivares, exceto a cultivar 8 e 9 apresentaram maior acúmulo de massa fresca da parte aérea quando em 0MPa. As cultivares 8 e 9 obtiveram resultados positivos tanto quando em 0MPa quanto em -0,3MPa. É possível observar que a concentração de -0,6MPa foi negativa para todas as cultivares (Figura 28).

Massa fresca parte aérea (MFPA)

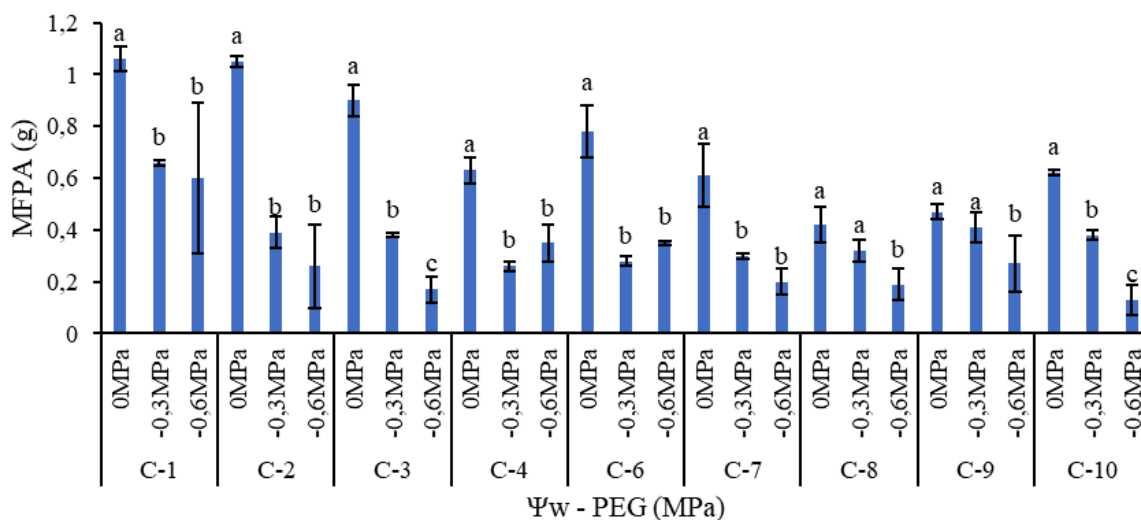


Figura 28: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para massa fresca da parte aérea no teste de germinação de trigo (tamanho M) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Já quanto à massa fresca da parte radicular, todos os potenciais testados (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa) foram significativos. No potencial de 0MPa, cultivares 1, 2, e 3 apresentaram maior acúmulo de massa, enquanto que em -0,3MPa destacou-se as cultivares 1, 2, 3, 7 e 8, já em -0,6MPa foram as cultivares 1, 2, 4, 5 e 6 (Figura 29).

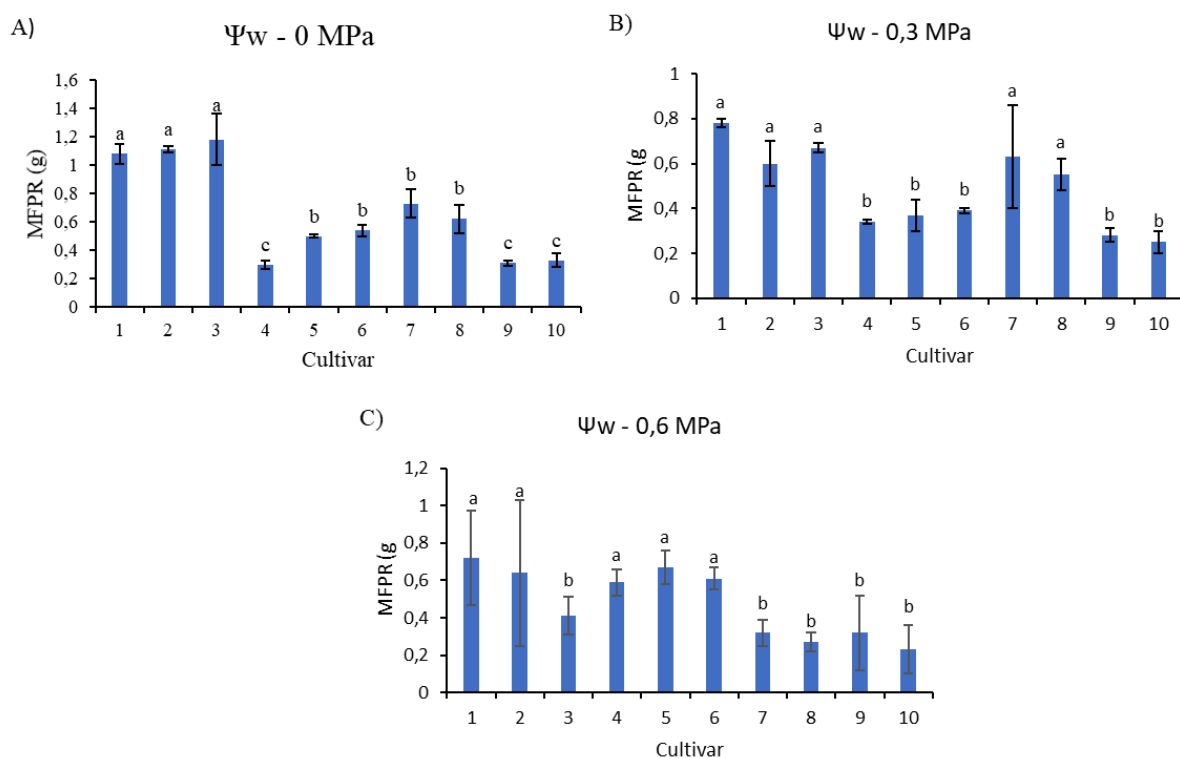


Figura 29: Desdobramento da variável massa fresca da parte radicular das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Média \pm dp, n=3.

Pelo desdobramento dos fatores, devido a interação entre eles, verifica-se que as cultivares 1, 2 e 3 apresentaram maior acúmulo de massa quando em 0MPa, diferente da cultivar 5, que apresentou resultados positivos em -0,6MPa e a cultivar 7 e 8, que foi positiva em 0MPa e -0,3MPa (Figura 30).

Massa fresca parte radicular (MFPR)

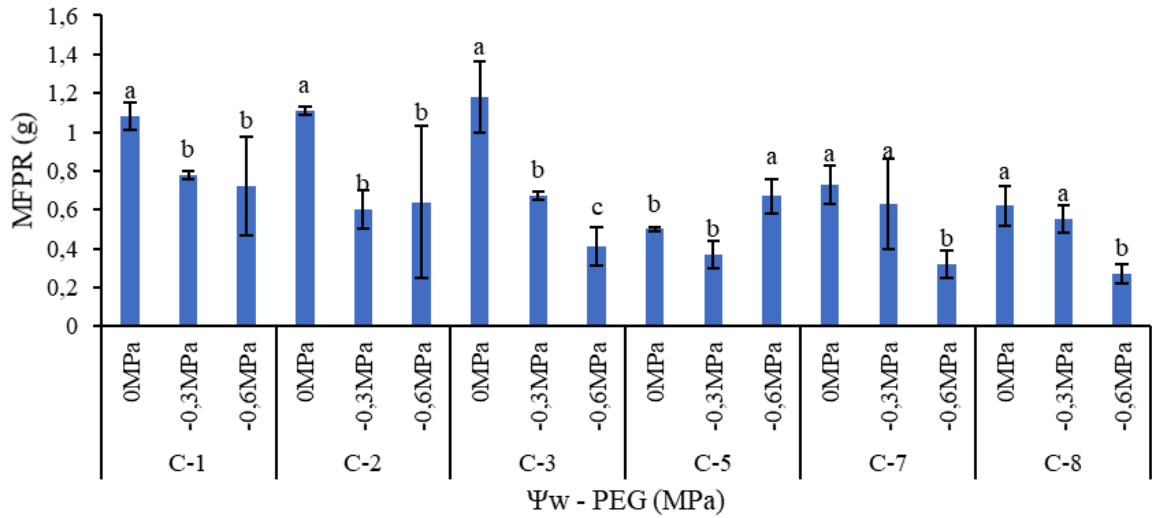


Figura 30: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para massa fresca da parte radicular no teste de germinação de trigo (tamanho M) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Por fim, a massa seca da parte radicular, também apresentou diferença significativa entre os potenciais testados. Na concentração 0MPa e -0,3MPa, as cultivares 1, 2, e 3 foram as que apresentaram maior acúmulo de massa na raiz, já em -0,6MPa, foram as cultivares 2, 4, 5 e 6 (Figura 31).

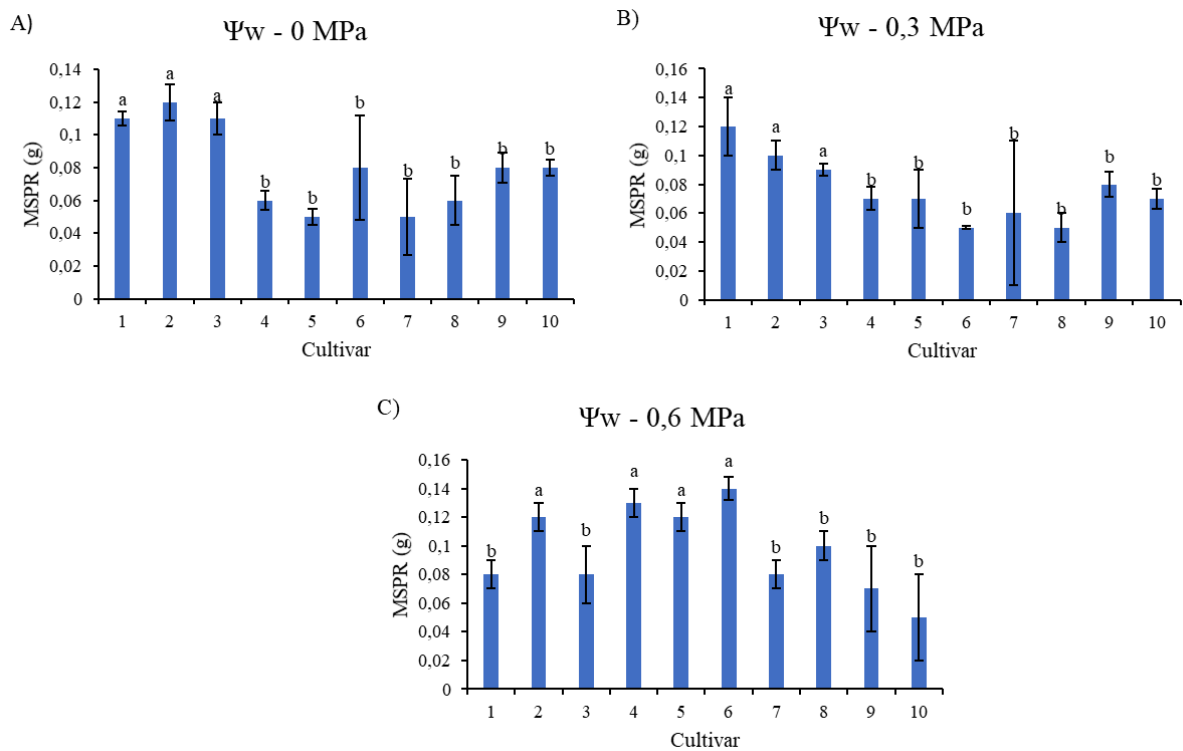


Figura 31: Desdobramento da variável massa seca da parte radicular das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Para a variável massa seca da raiz, houve interação entre as cultivares 4, 5, 6 e 8, e os potenciais hídricos. Para todas as cultivares citadas, os resultados foram positivos quando em -0,6MPa, ou seja, obteve maior acúmulo de massa seca na raiz sob tal potencial (Figura 32).

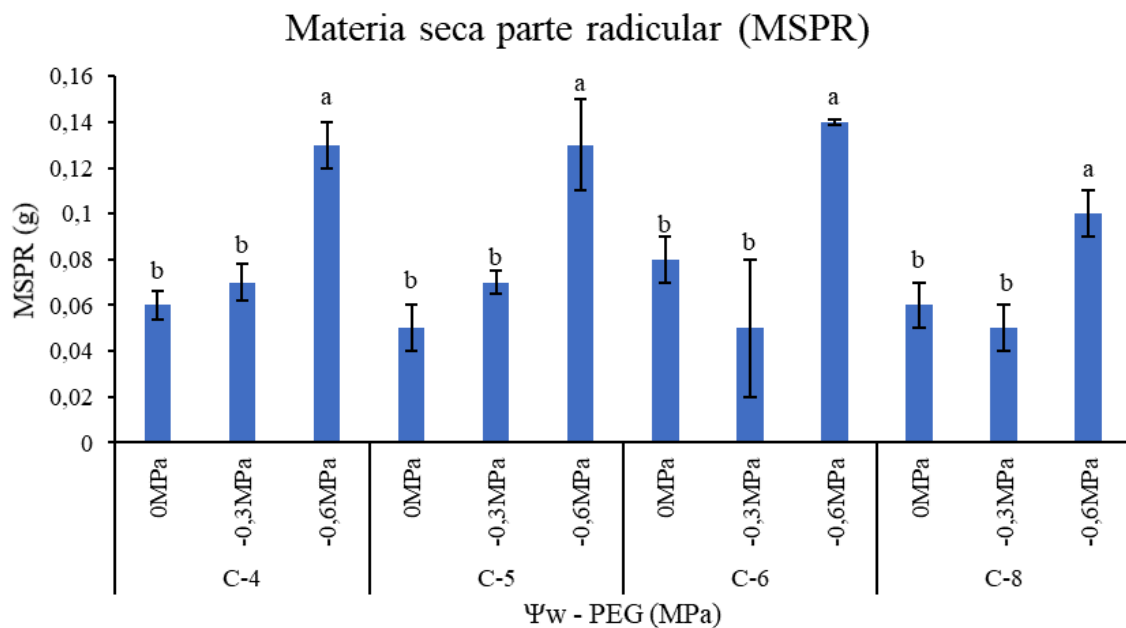


Figura 32: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para massa seca da parte radicular no teste de germinação de trigo (tamanho M) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

As reservas da semente são responsáveis pelo crescimento inicial da plântula, e isso pode ter um efeito direto no acúmulo de matéria seca no período após sua emergência (MARCOS FILHO, 2005). Diversos trabalhos relatam diferenças no peso de massa seca de plântulas de acordo com o tamanho de sementes. Demari et al. (2021) também observaram menor peso de massa seca da parte aérea de plântulas para as sementes de trigo de menor tamanho, em todas as cultivares avaliadas. Para Shahi et al. (2015), os valores de massa seca de raiz e parte aérea de plântulas de trigo foram inferiores na classe de sementes de menor tamanho, para todas as variedades.

Já em outros trabalhos, foi relatado a relação entre crescimento de plântula e acúmulo de massa. Robin et al. (2021) observou que o estresse osmótico causado pelo PEG reduziu a altura da planta em até 14% e o peso seco do broto em até 30%, indicando que tanto o comprimento da folha quanto a deposição de matéria seca na planta foram afetados, além de que o peso seco das raízes sob estresse e condições normais mostrou que o estresse do PEG reduz significativamente a formação de novas raízes.

5.3 Sementes de tamanho G (> 2,75mm) submetidas a três diferentes potenciais hídricos simulados por polietilenoglicol 6000

Observamos interação significativa entre os fatores cultivares e potenciais hídricos impostos pelo PEG, para as variáveis plântulas normais, anormais, CMPA, CMPR, CMT, MFPA, MFPR, MSPA e MSPR, portanto fizemos o desdobramento. No teste de germinação, para sementes normais (Figura 33), observa-se que somente a concentração de polietilenoglicol que impõe o potencial hídrico de -0,6MPa apresentou diferença significativa na germinação das diferentes cultivares testadas. Os resultados evidenciaram que as cultivares 1, 2, 4, 5, 6 e 7 apresentaram maior porcentagem de germinação mesmo sob potencial hídrico de -0,6MPa imposto pelo PEG 6000, enquanto as cultivares 3, 8, 9 e 10 apresentaram menor germinação sob as mesmas condições.

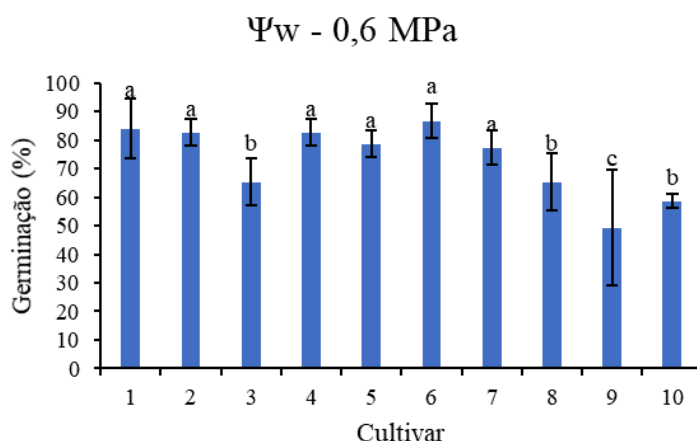


Figura 33: Desdobramento da variável sementes normais das diferentes cultivares dentro da dose de PEG -0,6* Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3. *única dose que apresentou diferença significativa comparando cultivares.

A redução tanto na germinação como no vigor das sementes quando o potencial osmótico torna-se mais negativo, provavelmente, se deve à menor absorção de água pelas sementes, pois o aumento da concentração osmótica provoca diminuição do gradiente hídrico no sistema solo-semente (TORRES et al., 1999). Resultados semelhantes foram obtidos por Torres (1997), que trabalhando com sementes de sorgo, também observou redução na qualidade fisiológica das sementes em função do estresse hídrico. Isto confirma o relato de Carvalho e Nakagawa (2000), os quais afirmam que a germinação, que é caracterizada como

um processo irreversível, pode ser considerada como um dos estádios mais críticos durante o ciclo de vida da planta.

Ainda na germinação, observou-se que houve interação significativa entre os diferentes potenciais hídricos testados e as cultivares 2, 3, 4, 7, 8, 9 e 10, sendo assim, realizou-se o desdobramento dos fatores (Figura 34). Para todas as cultivares, o potencial de -0,6MPa apresentou menor porcentagem de germinação nas sementes testadas.

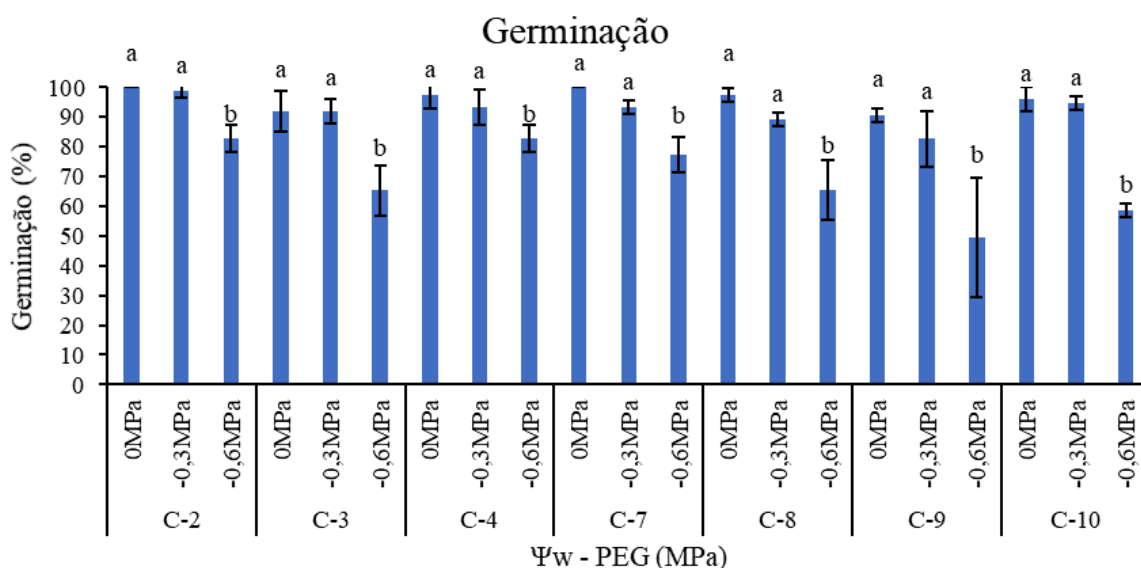


Figura 34: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para sementes normais no teste de germinação de trigo (tamanho G) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

A germinação é uma importante característica de qualidade das sementes e é o estágio mais sensível ao estresse do ambiente. A redução do metabolismo das sementes ocorre em função da menor disponibilidade de água para mobilização das reservas e translocação dos produtos metabolizados (Braccini *et al.*, 1996). Em trabalho com trigo, Giroto *et al.* (2012) observaram que em -0,8MPa as sementes de trigo não germinaram, somente emitiram uma pequena radícula. Braccini *et al.* (1996), trabalhando com sementes de soja, verificaram redução na porcentagem de germinação, à medida que os potenciais osmóticos das soluções de PEG e manitol tornaram-se mais negativos, e verificaram, ainda, que o PEG foi o agente osmótico que promoveu maior decréscimo na germinação. As taxas de germinação das sementes, no laboratório e no campo, estão ligadas e são relatadas como características

influenciadas pelo genótipo, ambiente e efeitos do processamento das sementes (Apostolides; Goulash, 1998).

Ao avaliar sementes que originaram plântulas anormais, percebeu-se que a concentração de $-0,6\text{MPa}$ de PEG 6000 apresentou diferença significativa na germinação das diferentes cultivares testadas. Os resultados mostraram que as cultivares 9 e 10 apresentaram maior porcentagem de plântulas anormais, enquanto as demais cultivares originaram menores porcentagens (Figura 35).

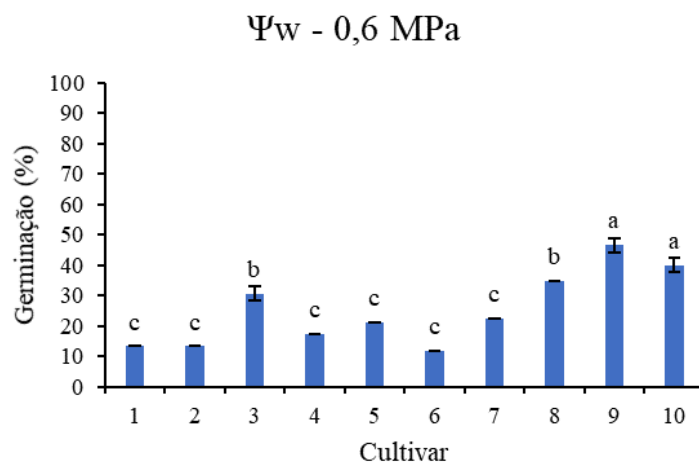


Figura 35: Desdobramento da variável sementes anormais das diferentes cultivares dentro da dose de PEG $-0,6^*$ Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, $n=3$. *única dose que apresentou diferença significativa comparando cultivares.

Foi notável a presença de interação significativa entre os diferentes potenciais hídricos testados (0MPa , $-0,3\text{MPa}$ e $-0,6\text{MPa}$) e as cultivares 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 10 (Figura 36). Para todas as cultivares, o potencial de $-0,6\text{MPa}$ apresentou maior porcentagem de anormalidades, enquanto 0MPa se destacou pela mínima presença das mesmas.

Plântulas anormais

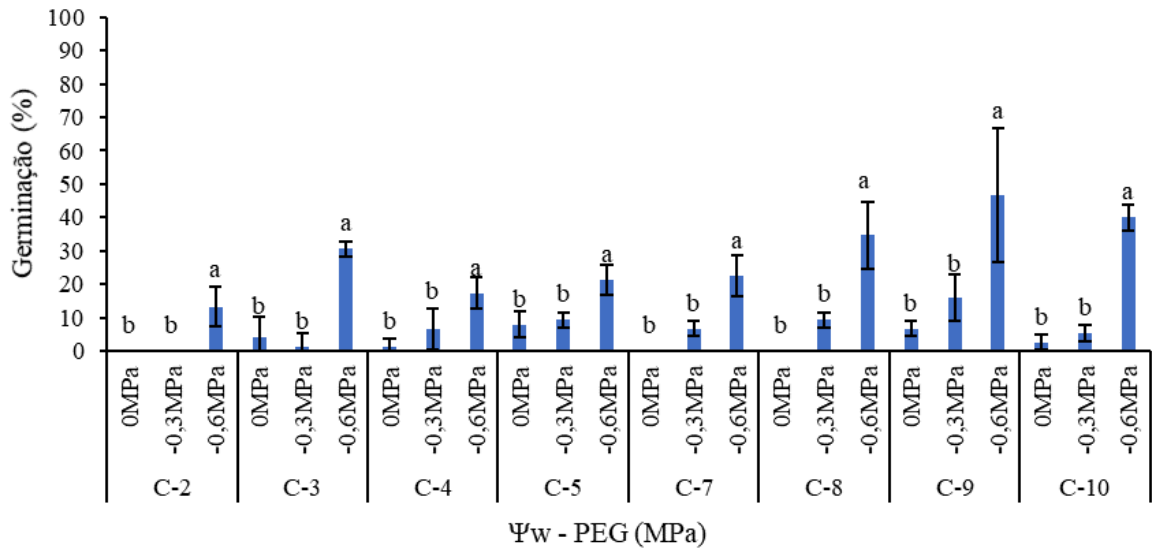


Figura 36: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para sementes anormais no teste de germinação de trigo (tamanho G) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, $n=3$.

A germinação e o desenvolvimento das plântulas ocorrem adequadamente em condições ambientais favoráveis, enquanto em condições desfavoráveis, como a presença de polietilenoglicol (PEG), esses processos são negativamente afetados. O PEG reduz a absorção de água pelas sementes, aumentando a concentração osmótica e diminuindo o gradiente hídrico entre o solo e a semente, o que prejudica a germinação. Estudos de Torres et al. (1998), Braccini et al. (1998) e Tonin et al. (2000) corroboram esses efeitos adversos. A menor disponibilidade de água compromete o metabolismo das sementes, dificultando a mobilização das reservas e a translocação dos produtos metabolizados, o que resulta em plântulas anormais, conforme descrito por Bewley e Black (1994) no modelo trifásico da germinação.

Para o comprimento de parte aérea, notou-se que todos os potenciais osmóticos apresentaram diferença significativa na germinação das diferentes cultivares. A cultivar 2 apresentou maior comprimento quando em potencial de -0MPa e -0,3MPa, já a cultivar 1 apresentou maior comprimento quando em potencial -0,3MPa somente. Quando em -0,6MPa, a cultivar 6 se destacou (Figura 37).

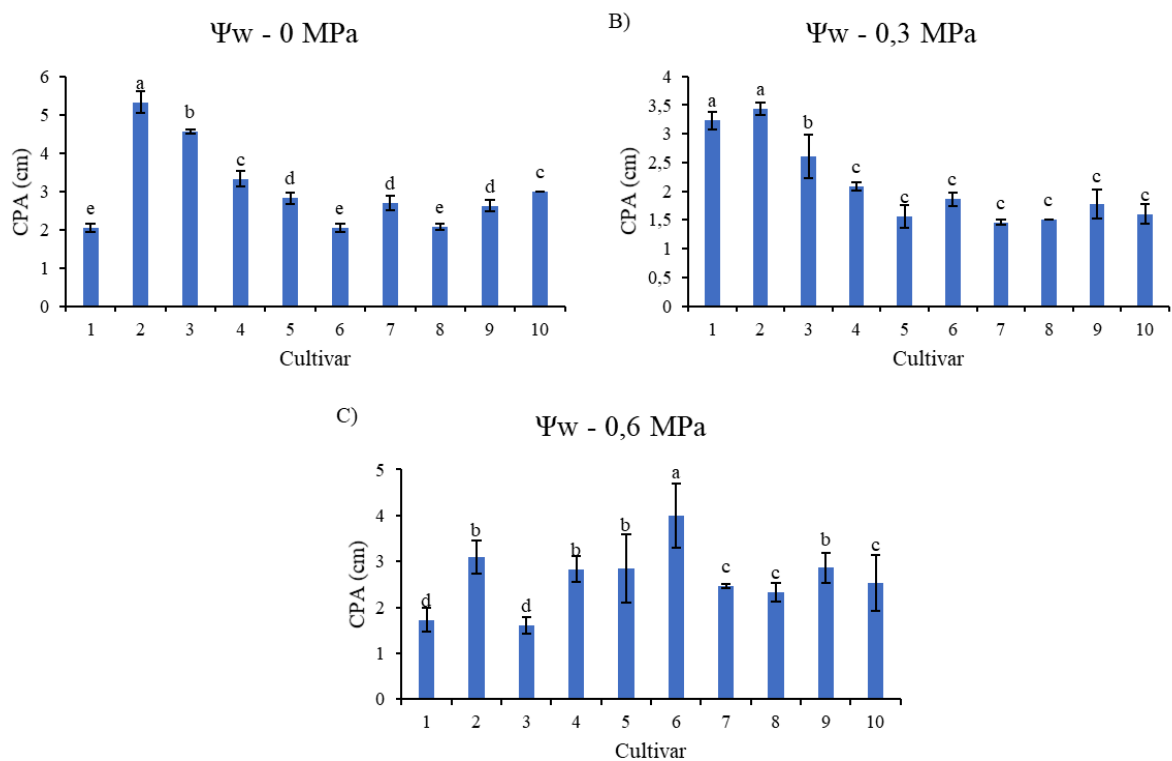


Figura 37: Desdobramento da variável comprimento da parte aérea das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Devido a presença de interação entre os potenciais hídricos e todas as cultivares, realizou-se o desdobramento (Figura 38), sendo assim, foi possível concluir que, para a cultivar 1 o melhor potencial imposto foi -0,3MPa, para as cultivares 2, 3 e 4 foi o potencial de 0MPa, para as cultivares 5, 7, 8, 9 e 10 foram 0MPa e também -0,6MPa e para a cultivar 6 foi somente o -0,6MPa.

Comprimento parte aérea (CPA)

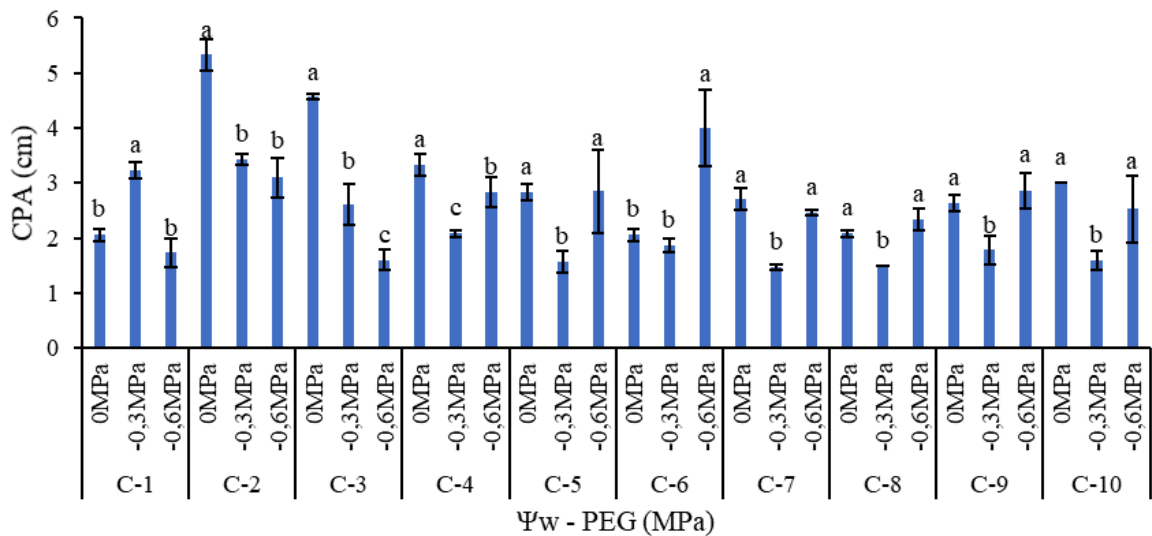


Figura 38: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para comprimento da parte aérea no teste de germinação de trigo (tamanho G) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, $n=3$.

Ao analisar o comprimento radicular, observou-se diferença significativa em todos os potenciais hídricos. A cultivar 3 foi superior quando em -0MPa, já para os demais potenciais, a cultivar 2 foi a que apresentou maior comprimento de raiz. As demais cultivares apresentaram menores resultados quando em 0MPa, mas quando submetidas ao maior déficit, se expressaram melhor quanto ao comprimento da raiz (Figura 39).

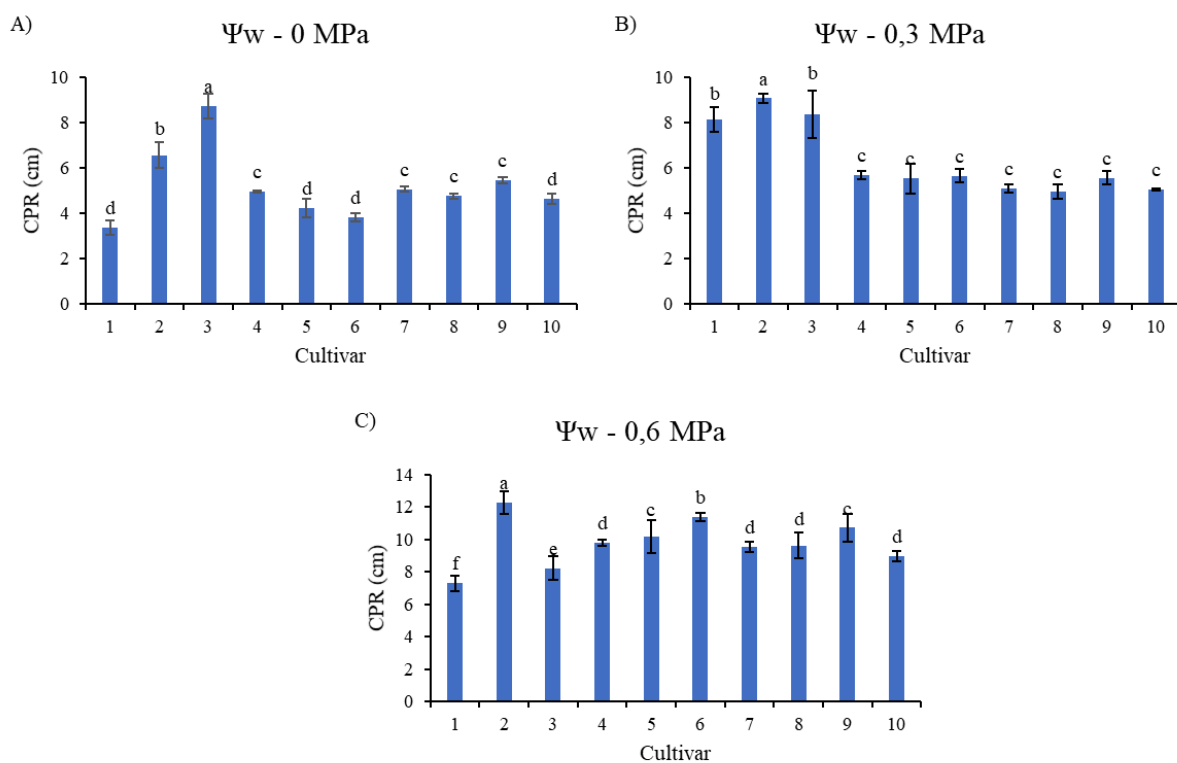


Figura 39: Desdobramento da variável comprimento da parte radicular das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Mais uma vez a interação significativa entre os fatores cultivar e potencial hídrico permitiu observar que, com exceção da cultivar 1, as demais cultivares apresentaram maior proporção de comprimento quando em -0,6MPa, a cultivar 1 foi superior quando em -0,3Mpa (Figura 40).

Comprimento parte radicular (CPR)

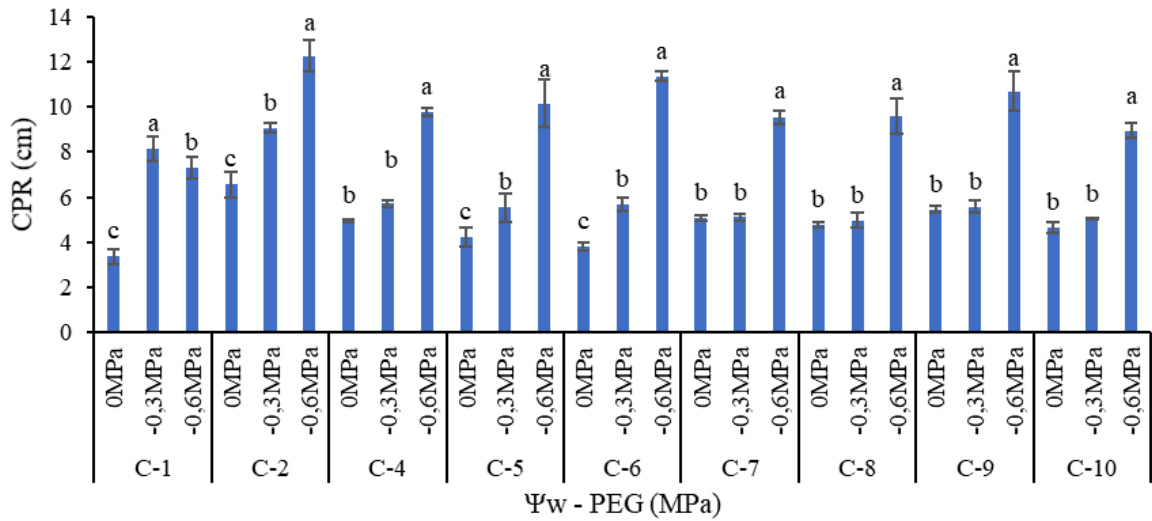


Figura 40: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para comprimento da parte radicular no teste de germinação de trigo (tamanho G) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Para a variável comprimento total, também foi possível verificar diferenças significativas em todos os três potenciais. Sendo que quando em 0MPa a cultivar 3 se destacou, enquanto que as cultivares 1, 2 e 3 originaram plântulas de maior comprimento total em -0,3MPa, já as cultivares 2 e 6 se sobressaíram sob -0,6MPa (Figura 41).

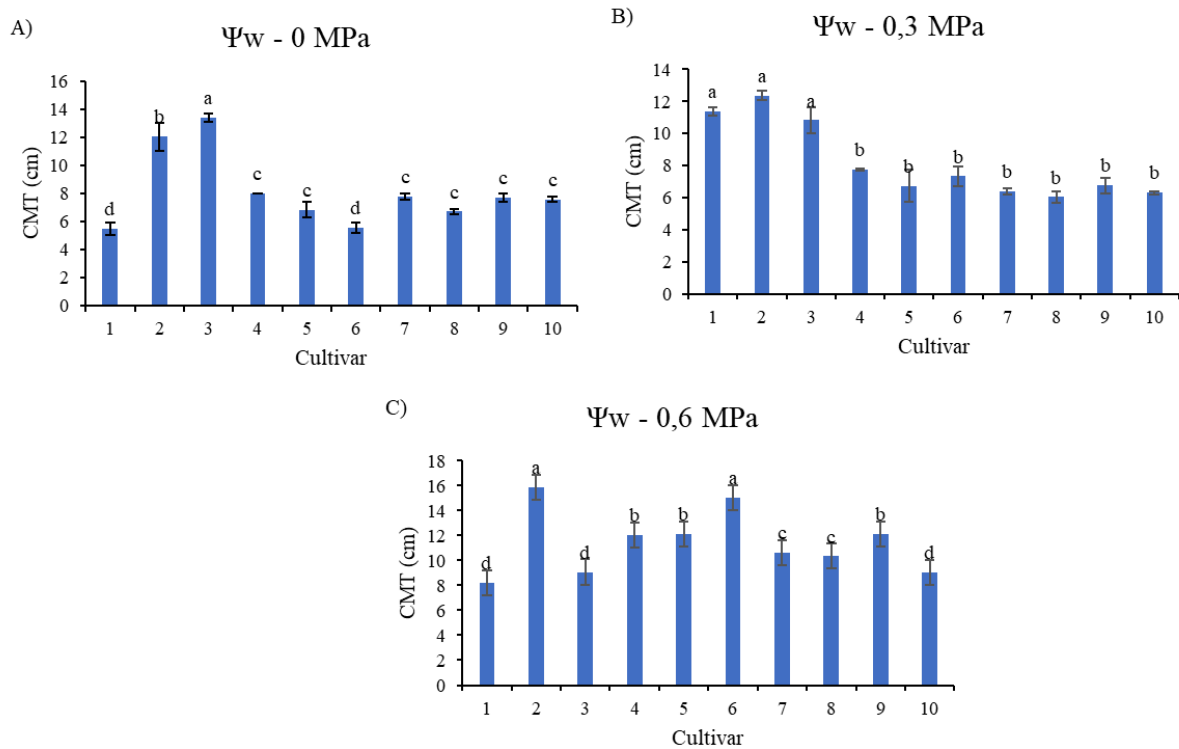


Figura 41: Desdobramento da variável comprimento médio total das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

O desdobramento dos fatores permitiu concluir-se que a cultivar 1 apresentou melhor resultado quando em -0,3MPa, a cultivar 3 apresentou plântulas de maior comprimento total quando foram submetidas a 0MPa, diferentemente das demais cultivares, que apresentaram tal superioridade quando em -0,6MPa (Figura 42).

Comprimento médio total (CMT)

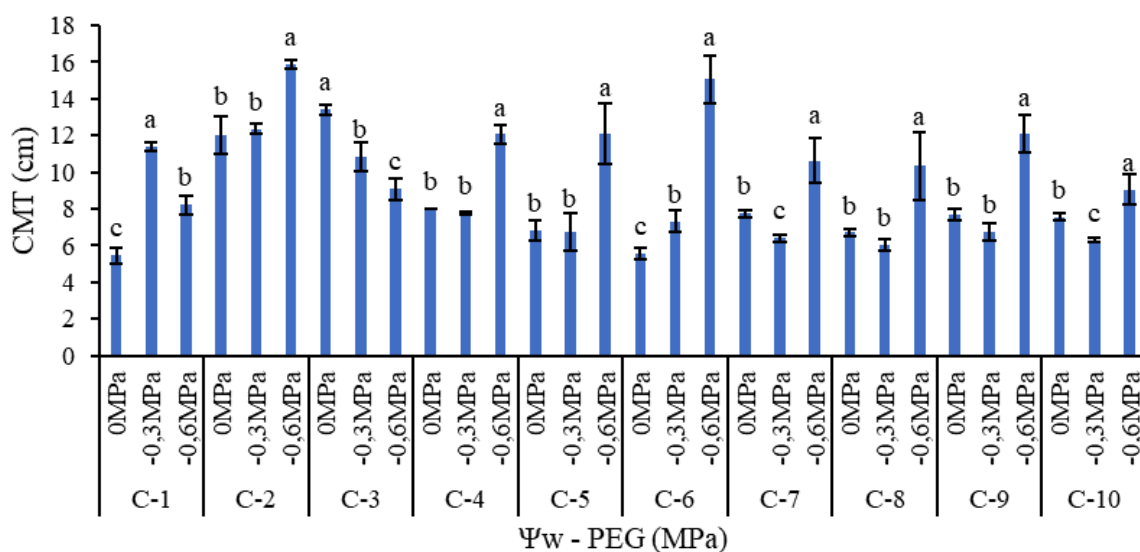


Figura 42: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para comprimento médio total no teste de germinação de trigo (tamanho G) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, $n=3$.

A rápida germinação e estabelecimento de plantas favorecem o desenvolvimento de estruturas vegetativas, pois, segundo Vieira; Carvalho (1994), sementes de alto vigor conseguem mobilizar com maior rapidez suas reservas energéticas, proporcionando maior crescimento inicial e desenvolvimento. A redução do crescimento das plântulas é o primeiro sinal mensurável em condições de estresse hídrico, como evidenciado por Taiz e Zeiger (2013). O estresse hídrico prejudica o crescimento das plântulas (Ionov et al., 2013) e acarreta na redução do comprimento devido à diminuição na turgidez celular, provocada pela interrupção na síntese de proteínas (Medeiros et al., 2015).

O sistema radicular desempenha um papel crucial na absorção de água e nutrientes, além de ser fundamental para a resistência à seca (Ding et al., 2013). Quanto maior o sistema radicular das plantas, maior é a tolerância das mesmas a condições de estresse hídrico, podendo, este caráter ser utilizado com eficiência para predizer genótipos tolerantes à condição de déficit hídrico (Dhanda; Sethi; Behl, 2004).

Na avaliação da massa fresca da parte aérea, houve diferença significativa em todos os três potenciais. Quando em 0MPa e -0,6MPa, somente a cultivar 2 apresentou maior acúmulo de massa, enquanto que em -0,3MPa foi a cultivar 1 (Figura 43).

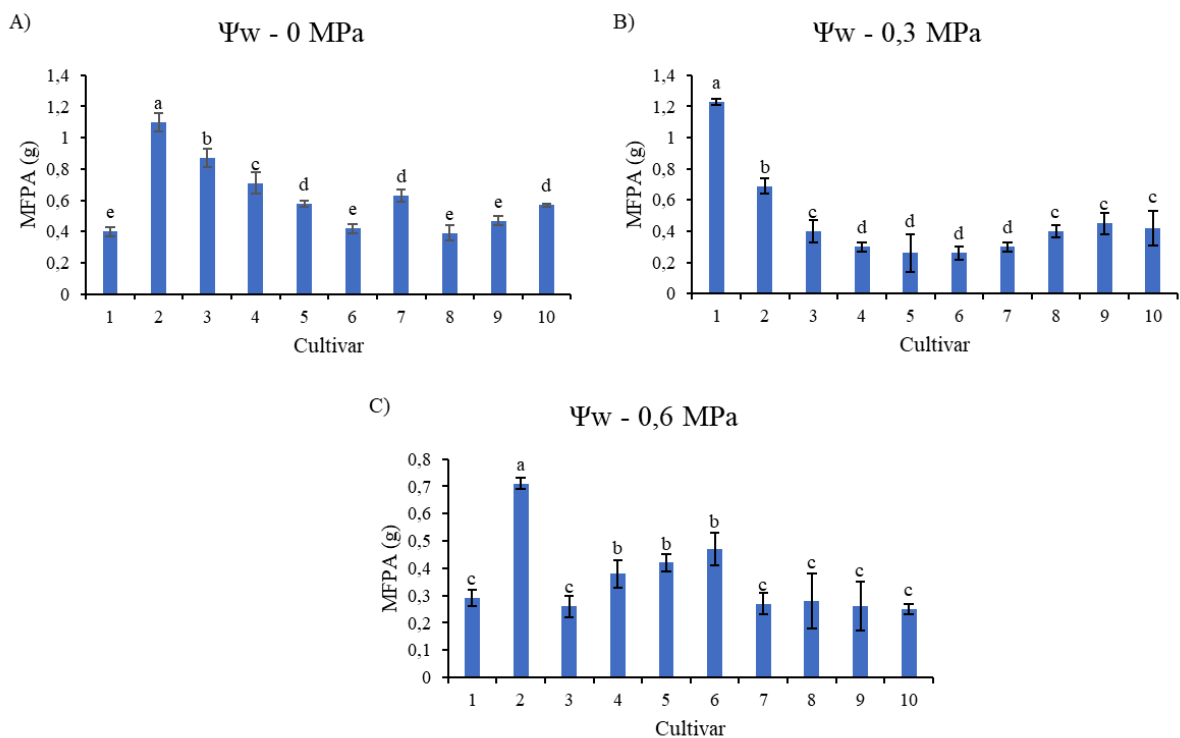


Figura 43: Desdobramento da variável massa fresca da parte aérea das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Média \pm dp, n=3.

Realizando o desdobramento, verifica-se que a cultivar 1 apresentou melhores resultados quando em -0,3MPa, as cultivares 2, 3, 4, 5 e 7 quando em 0MPa, as cultivares 8, 9 e 10 em 0MPa e -0,3MPa, já a cultivar 6 em 0MPa e -0,6MPa (Figura 44).

Massa fresca parte aérea (MFPA)

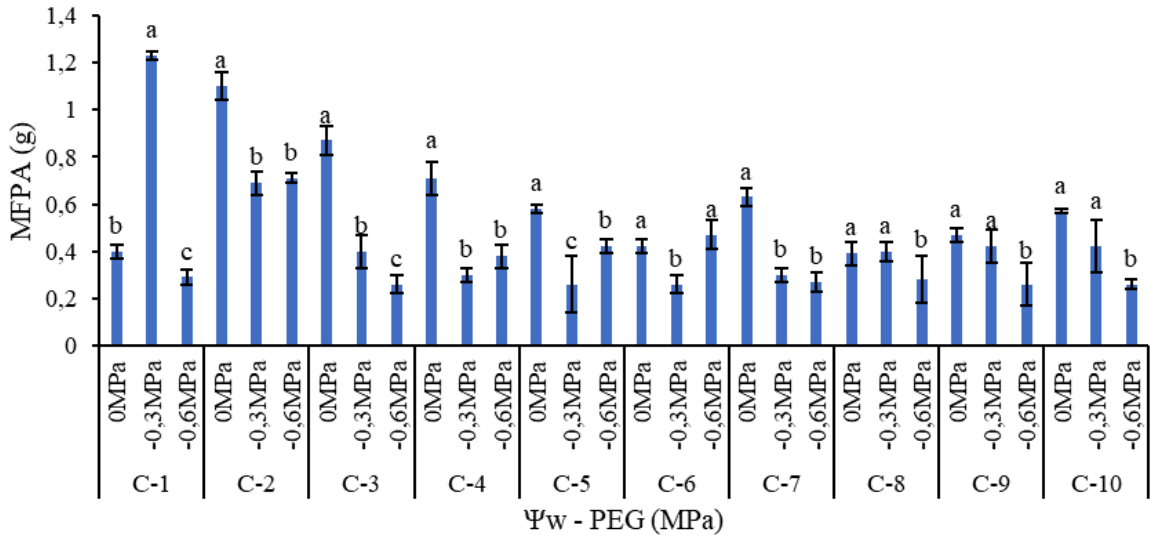


Figura 44: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para massa fresca da parte aérea no teste de germinação de trigo (tamanho G) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Para a massa fresca da parte radicular houve diferença significativa em todos os três potenciais. Quando em 0MPa somente a cultivar 3 apresentou maior acúmulo de massa, enquanto que em -0,3MPa foi a cultivar 1, já em -0,6MPa foi a cultivar 2 (Figura 45).

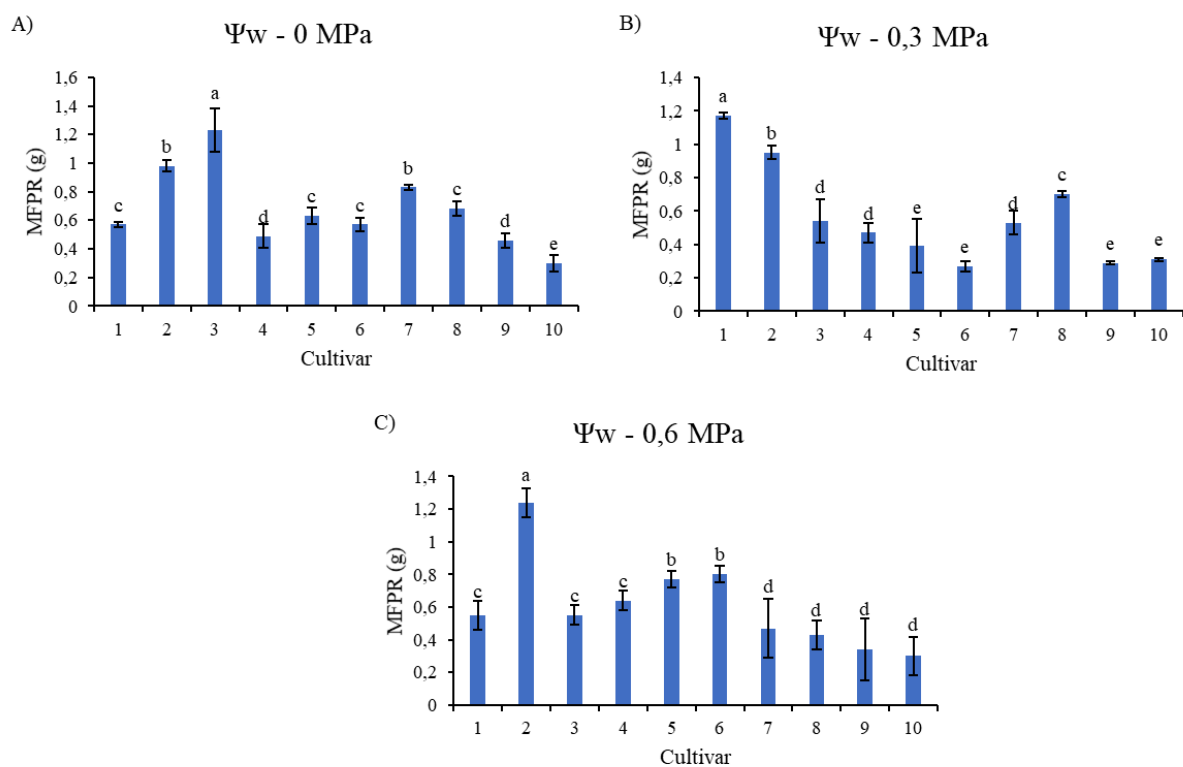


Figura 45: Desdobramento da variável massa fresca da parte radicular das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Realizando o desdobramento, concluiu-se que a cultivar 1 apresentou melhores resultados quando em -0,3MPa, as cultivares 2, 4 e 6 quando em -0,6MPa, as cultivares 3 e 7 em 0MPa, a cultivar 5 em 0MPa e -0,6MPa, já a cultivar 8 em 0MPa e -0,3Mpa (Figura 46).

Massa fresca parte radicular (MFPR)

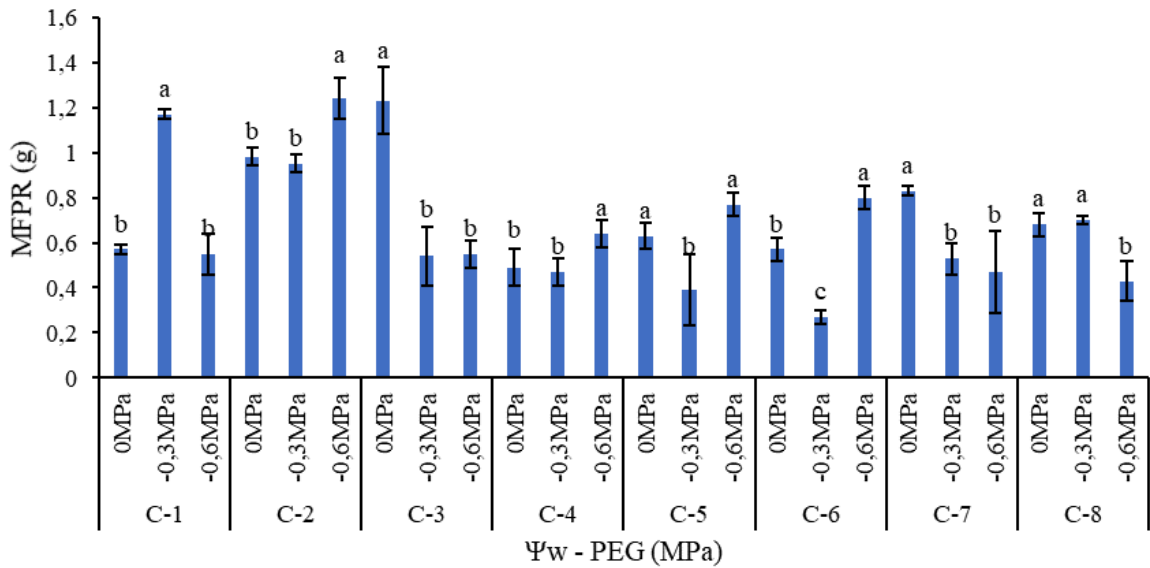


Figura 46: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para massa fresca da parte radicular no teste de germinação de trigo (tamanho G) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Na avaliação de massa seca da parte aérea, percebeu-se que a concentração de -0,6MPa de PEG 6000 apresentou diferença significativa na germinação das diferentes cultivares testadas, sendo a cultivar 8 a que apresentou maior acúmulo de massa (Figura 47).

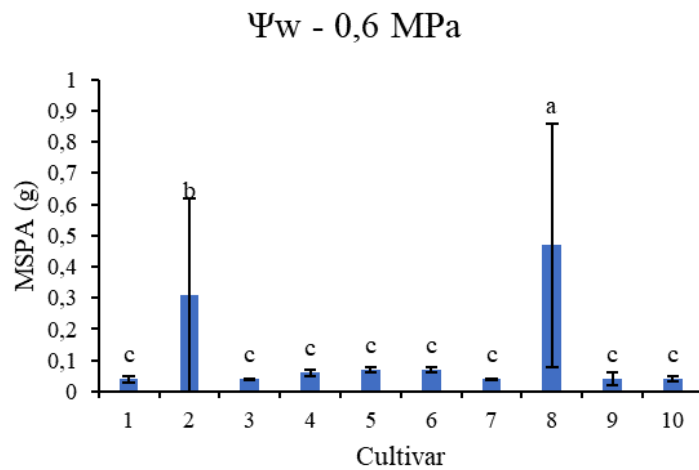


Figura 47: Desdobramento da variável sementes normais das diferentes cultivares dentro da dose de PEG -0,6* Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3. *única dose que apresentou diferença significativa comparando cultivares.

Houve interação significativa entre os fatores cultivar (2 e 8) e potencial hídrico, (Figura 48). Em ambas as cultivares que ocorreu a interação, o potencial -0,6MPa se mostrou superior aos demais para induzir o resultado positivo.

Massa seca parte aérea (MSPA)

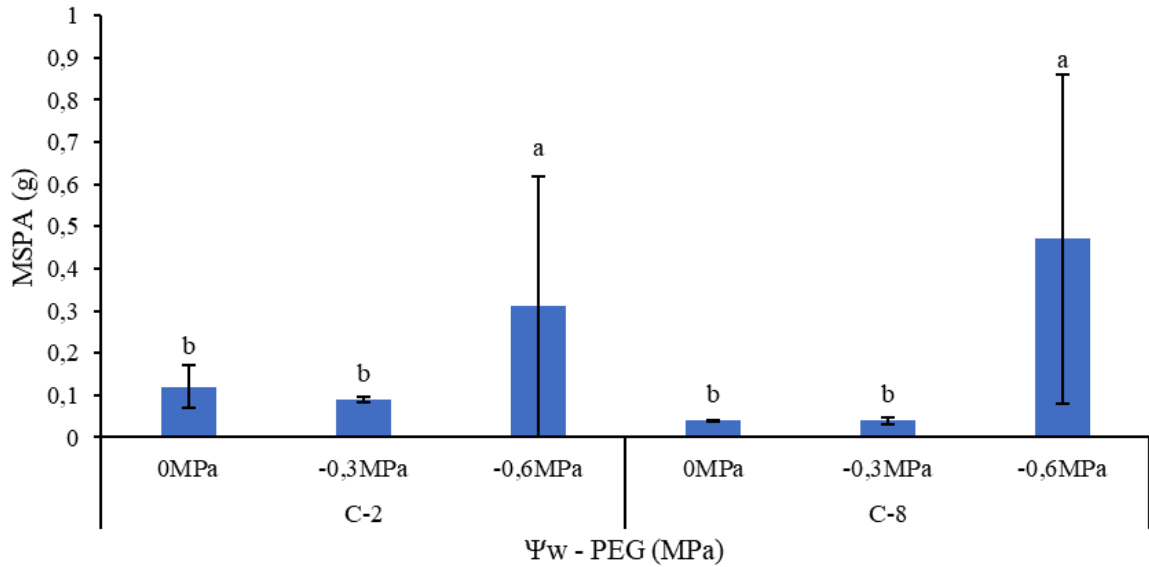


Figura 48: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para sementes normais no teste de germinação de trigo (tamanho G) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, $n=3$.

Por fim, a massa seca da parte radicular, também apresentou diferença significativa entre os potenciais testados. Na concentração 0MPa, as cultivares 2, 3 e 7 foram as que apresentaram maior acúmulo de massa na raiz, já em -0,3MPa e -0,6MPa destacou-se somente a cultivar 2 (Figura 49).

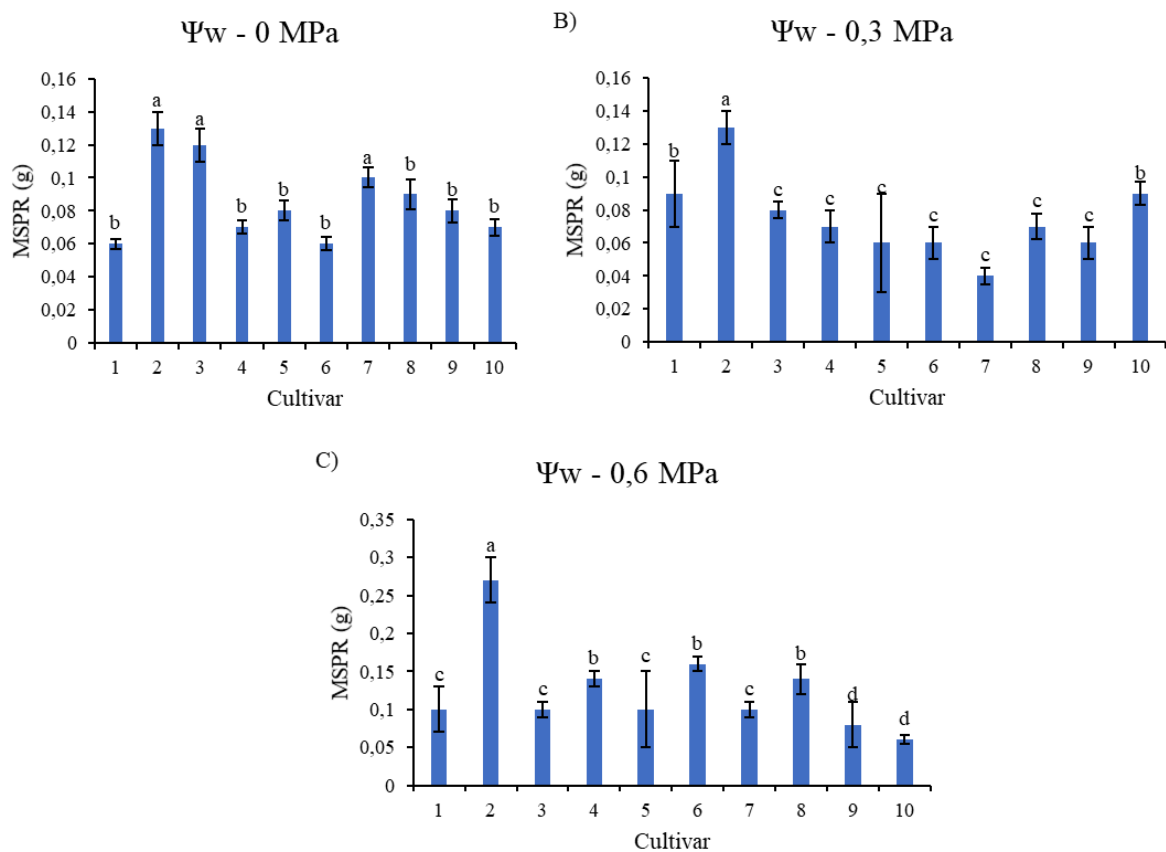


Figura 49: Desdobramento da variável comprimento da parte aérea das diferentes cultivares dentro das doses de PEG 0, -0,3 e -0,6. Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, n=3.

Para a variável massa seca da raiz, houve interação entre as cultivares e os potenciais hídricos. Ao realizar o desdobramento, observa-se que as cultivares 2, 4, 5, 6 e 8 apresentaram maior acúmulo quando em -0,6MPa, a cultivar 1 em -0,3MPa e também -0,6MPa, já a cultivar 7 apresentou melhor comportamento quando em 0MPa e -0,6MPa (Figura 50).

Massa seca parte radicular (MSPR)

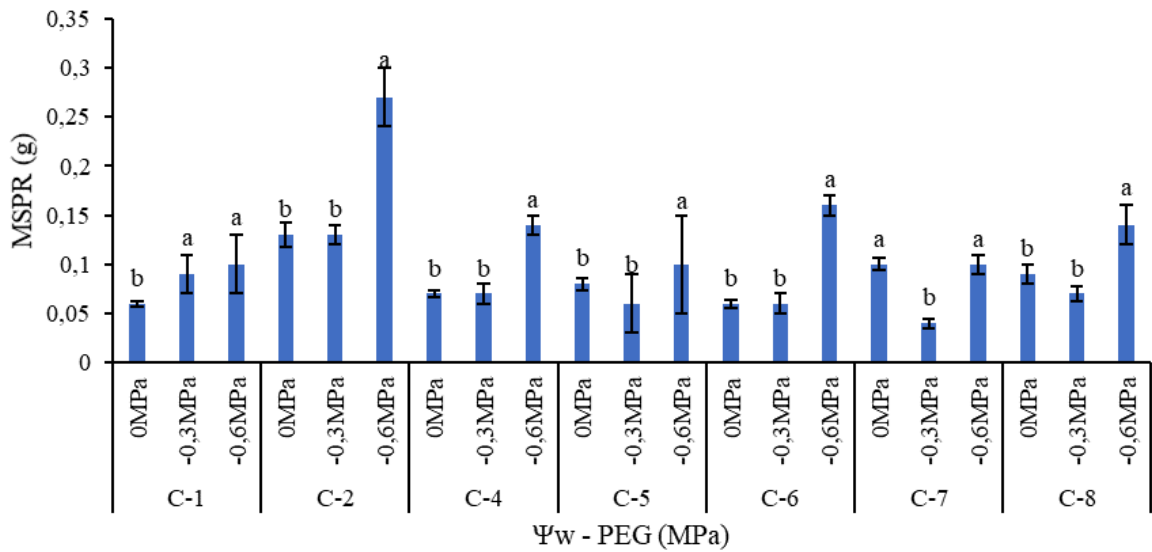


Figura 50: Desdobramento da interação do fator dose de PEG dentro das cultivares nas quais houveram diferença significativa para sementes normais no teste de germinação de trigo (tamanho G) em diferentes potenciais hídricos (0MPa, -0,3MPa e -0,6MPa). Médias seguidas das mesmas letras não apresentam diferença significativa pelo teste Scott-Knott ($p \leq 0.05$). Média \pm dp, $n=3$.

A diminuição na produção de biomassa, tanto da parte aérea como das raízes, está relacionada com a falta de água para o metabolismo, o que reduz a velocidade das reações metabólicas e, conseqüentemente, diminui o acúmulo de massa de matéria seca (Marur et al., 1994). Segundo estudo de Kerepsi & Galiba (2000), também com genótipos de trigo, foi observado que, com a aplicação de PEG e NaCl em volume crescente, houve redução significativa na produção de massa de matéria seca, no conteúdo relativo de água na folha e na perda relativa de água.

Quanto maior o peso médio da matéria fresca da parte aérea da planta, mais vigorosos são os lotes de sementes (Oliveira *et al.*, 2009). Sementes vigorosas promovem uma maior transferência de massa seca de seus tecidos de reserva para o eixo embrionário durante a germinação, resultando em plântulas mais pesadas devido ao maior acúmulo de matéria (Nakagawa, 1999). Além disso, sementes de alto vigor germinam e se estabelecem rapidamente, favorecendo o desenvolvimento de estruturas vegetativas, uma vez que conseguem mobilizar suas reservas energéticas de forma mais eficiente, promovendo maior crescimento inicial e desenvolvimento (Vieira; Carvalho, 1994).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos no estudo sugerem que a redução do potencial hídrico afeta negativamente todos os genótipos avaliados. No entanto, os genótipos 1, 2, 4 e 6 demonstraram menor sensibilidade ao estresse hídrico e melhores valores de germinação e crescimento em comparação com as demais cultivares independente do tamanho das sementes. As sementes maiores tendem a apresentar vantagens em termos de acúmulo de massa seca e vigor das plântulas, especialmente em condições normais de umidade. No entanto, sob estresse hídrico, as sementes menores podem ter um desempenho relativamente melhor, pois demandam menor quantidade de água para a reativação do metabolismo e germinação.

Com base nos resultados obtidos no estudo, verificou-se que as melhores cultivares para germinação em condições de estresse hídrico com PEG são as cultivares 1, 2, 4 e 6, enquanto que o tamanho das sementes pode variar em eficácia dependendo das condições de umidade, com sementes maiores sendo preferíveis em condições favoráveis e sementes menores podendo ser mais vantajosas em situações de déficit hídrico. Esta análise evidencia a importância de considerar tanto a escolha da cultivar quanto o tamanho das sementes no manejo da triticultura, especialmente em regiões suscetíveis a variações climáticas e estresse hídrico. A seleção de cultivares mais resistentes e a utilização de sementes adequadas podem contribuir significativamente para a sustentabilidade e produtividade da cultura do trigo em cenários de adversidade hídrica.

REFERÊNCIAS

- ABRASEM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SEMENTES. **Estatísticas: produção de sementes de soja no Brasil em 2020**. *ABRASEM indicadores*, 2022. Disponível em: <http://www.abrasem.com.br/estatisticas/#>. Acesso em: 26 jun. 2024.
- ACOSTA-MOTOS, J. R. et al. **Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms**. *Agronomy*, v. 7, n. 1, p. 1-18, 2017.
- ADEBISI, M. A. et al. **Influence of different seed size fractions on seed germination, seedling emergence and seed yield characters in tropical soybean (*Glycine max L. merrill*)**. *International Journal of Agricultural Research*, v. 8, n. 1, p. 26–33, 2013.
- AGARWAL, et al. **Machine learning approach for the classification of wheat grains**. *Smart Agricultural Technology*, v. 3, p. 100136, 2023.
- ALI, Qurban; MALIK, Arif. **Genetic response of growth phases for abiotic environmental stress tolerance in cereal crop plants**. *Genetika*, v. 53, n. 1, p. 419-456, 2021.
- AL-KARAKI, G. N.; AL-AJMI, A.; OTHMAN, Y. **Seed germination and early root growth barley cultivars as affected by temperature and water stress**. *American-Eurasian Journal Agricultural and Environmental Science*, Dubai, v. 2, n. 2, p. 112-117, 2007.
- ALMAGHRABI, O. A. **Impacto do estresse hídrico nos parâmetros de germinação e crescimento de mudas de algumas cultivares de trigo**. *Vida Science Journal*, v. 9, p. 590-598, 2012.
- AMBIKA, S.; MANONMANI, V.; SOMASUNDARAM, G. **Review on Effect of Seed Size on Seedling Vigour and Seed Yield**. *Research Journal of Seed Science*, p. 31–38, 2014.
- APOSTOLIDES, G.; GOULAS, C. **Seed crop environment and processing effects on sugar beet (*Beta vulgaris L.*) certified hybrid variety seed quality**. *Seed Science and Technology*, v. 26, p. 223-235, 1998.
- AZAMI, M. A.; TORABI, M.; JALILI, E. **In vitro response of promising tomato genotypes for tolerance to osmotic stress**. *African Journal of Biotechnology*, v. 9, n. 26, p. 4014-4017, 2010.
- BAGATELI, J. R. et al. **Productive performance of soybean plants originated from seed lots with increasing vigor levels**. *Journal of Seed Science*, v. 41, n. 2, p. 151–159, 2019.
- BANDURSKA, Hanna. **Drought stress responses: coping strategy and resistance**. *Plants*, v. 11, n. 7, p. 922, 2022.

- BAQUE, Abdullahil et al. **Germination behavior of wheat (*Triticum aestivum* L.) as influenced by polyethylene glycol (PEG).** *Universal Journal of Agricultural Research*, v. 4, n. 3, p. 86-91, 2016.
- BAZZO, J. H. B. et al. **Vigor de sementes e adubação nitrogenada na produtividade e qualidade fisiológica de sementes de trigo.** *Revista Cultura Agronômica*, v. 30, n. 1, p. 39-50, 2021.
- BEWLEY, J. D. et al. ***Seeds: physiology of development, germination and dormancy.*** 3. ed. New York: Springer, 2013.
- BEWLEY, J. D.; BLACK, M. ***Seeds: physiology of development and germination.*** 2. ed. New York: Plenum Press, 1994. 445 p.
- BIANCHI, M. C. et al. **Soybean seed size: how does it affect crop development and physiological seed quality?** *Journal of Seed Science*, v. 44, 2022.
- BISOGNIN, M. B. et al. **Desempenho fisiológico de sementes olerícolas em diferentes tempos de hidrocondicionamento.** *Revista de Ciências Agrárias*, v. 39, n. 3, p. 349-359, 2016.
- BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. ***Trigo do plantio à colheita.*** Viçosa: UFV, 2015. 260 p.
- BRACCINI, A. L.; REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; SEDIYAMA, T.; ROCHA, V. S. **Influência do potencial hídrico induzido por polietilenoglicol na qualidade fisiológica de sementes de soja.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 9, 1998.
- BRACCINI, A. L.; RUIZ, H. A.; BRACCINI, M. C. L.; REIS, M. S. **Germinação e vigor de sementes de soja sob estresse hídrico induzido por soluções de cloreto de sódio, manitol e polietileno glicol.** *Revista Brasileira de Sementes*, v. 18, p. 10-16, 1996.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013.** *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, n. 183, 20 set. 2013b. Seção 1, p. 6-27.
- BRASIL. **Regras para Análise de Sementes.** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2009b.
- BROWN, L.; GEORGE, T.; DUPUY, L.; WHITE, P. A. **Conceptual model of root hair ideotypes for future agricultural environments: What combination of traits should be targeted to cope with limited P availability?** *Annals of Botany*, v. 112, p. 317-330, 2013.
- CAIERÃO, E. et al. **Origem, Evolução e Melhoramento Genético.** In: MORI, C. DE et al. (Eds.). *Trigo: O produtor pergunta e a Embrapa Responde.* 1. ed. Brasília - DF: EMBRAPA, 2016. p. 15-30.
- CARDOSO, V. J. M. **Germinação.** In: KERBAUY, G. B. (Org.). *Fisiologia Vegetal.* Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, p. 386-408.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CHEN, D. et al. **Overexpression of a predominantly root-expressed NAC transcription factor in wheat roots enhances root length, biomass, and drought tolerance**. *Plant Cell Reports*, v. 37, n. 2, p. 225–237, 2018.

CIVIERO, J. C. et al. **Tamanho de semente e profundidade de semeadura em relação à tolerância a deficiência hídrica em trigo**. *XIV SICITE–UTFPR*, v. 1, p. 1-4, 2015.

COELHO, F. A.; SILVA, A. L. da; PEREIRA, M. G. et al. **Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica da soja**. *Ipê Agronomic Journal*, v. 3, n. 1, p. 71-79, 2019. Disponível em: <https://www.unievangelica.edu.br>. Acesso em: 16 dez. 2024.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **A cultura do trigo**. 2017. Disponível em: https://www.conab.gov.br/uploads/arquivos/17_04_25_11_40_00_a_cultura_do_trigo_ver_sao_digital_final.pdf. Acesso em: 24 jun. 2024.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Mercado impulsiona produção de trigo que atinge novo recorde com mais de 9 milhões de toneladas**. 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br>. Acesso em: 24 jun. 2024.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Trigo: Análise mensal - janeiro de 2024**. 2024. Disponível em: <caminho de acesso ao documento, se disponível online>. Acesso em: 24 jun. 2024.

DEMARI, G. H. et al. **Seed classification: influence on the vigor expression in *Triticum aestivum* L.** *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 11, n. 1, p. 43–56, 2021.

DEMARI, G. H. et al. **Seed Size and Its Influence on Growth-Related Agronomic Characters of Wheat Plants**. *Journal of Agricultural Science*, v. 11, n. 12, p. 29, 2019.

DHANDA, S. S.; SETHI, G. S.; BEHL, R. K. **Indices of Drought Tolerance in Wheat Genotypes at Early Stages of Plant Growth**. *Journal of Agronomy & Crop Science*, v. 190, n. 1, p. 6–12, 2004.

DJANAGUIRAMAN, M. et al. **Root length and root lipid composition contribute to drought tolerance of winter and spring wheat**. *Plant and Soil*, v. 439, n. 1–2, p. 57–73, 2019.

EICHELBERGER, L. **Produção de sementes de trigo**. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. (ed.). *Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, cap. 14, p. 349–369, 2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. [Título do artigo ou relatório, se disponível]. 1991. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 16 dez. 2024.

ESKANDARI, H.; ALIZADEH-AMRAIE, A. **Evaluation of seed quality of wheat (*Triticum aestivum*) under water limitation induced by a partial root-zone irrigation regime.** *Seed Science and Technology*, v. 45, n. 1, p. 248-251, 2017.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Cereal Supply and Demand Brief.** Disponível em: <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>. Acesso em: 26 jun. 2024.

FAZEL-NIARI, S. et al. **Quality assessment of components of wheat seed using different classification models.** *Applied Sciences*, v. 12, n. 9, p. 4133, 2022.

FRANÇA NETO, J. de B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; PADUA, G. P.; LORINI, I.; HENNING, F. A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade.** Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82 p. (Embrapa Soja. Documentos, 380).

GHOLAMIN, Roza et al. **Effects of polyethylene glycol and NaCl stress on two cultivars of wheat (*Triticum durum*) at germination and early seedling stages.** *Am Eurasian J Agric Environ Sci*, v. 9, n. 1, p. 86-90, 2010.

GHOSH, Shatabdi; SHAHED, Md Abu; ROBIN, Arif Hasan Khan. **Polyethylene glycol induced osmotic stress affects germination and seedling establishment of wheat genotypes.** *Plant Breeding and Biotechnology*, v. 8, n. 2, p. 174-185, 2020.

HAMAYOUN, H.; DALIRI, M. S.; MEHRABI, P. **Study of PEG stress effects on wheat (*Triticum aestivum*) cultivars at germination stage.** *Middle-East Journal of Scientific Research*, v. 9, n. 1, p. 71-74, 2011. Disponível em: [http://www.idosi.org/mejsr/mejsr9\(1\)11/12.pdf](http://www.idosi.org/mejsr/mejsr9(1)11/12.pdf). Acesso em: 28 mar. 2014.

HASEGAWA, P. M.; BRESSAN, R. A.; HANDA, S.; HANDA, A. K. **Cellular mechanisms of tolerance to water stress.** *HortScience*, v. 19, p. 371-377, 1984.

HASSANPANAHI, D. **Evaluation of potato advanced cultivars against water deficit stress under in vitro and in vivo condition.** *Biotechnology*, v. 9, n. 2, p. 164-169, 2010. Acesso em: 28 mar. 2014.

IONOV, M. et al. **Crescimento, desenvolvimento e produtividade de *Crambe abyssinica* sob irrigação salina em casa de vegetação.** *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 199, p. 331-339, 2013.

KASHKOOL, H. R. **Effect of seed size and cultivation method in the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum*).** *Plant Archives*, v. 21, p. 1262-1265, 2021.

KELER, V. V.; MARTYNOVA, O. V. **Seed qualities variation of spring wheat grain depending on its alignment.** *Earth and Environmental Science*, v. 659, n. 1, 2021.

KEREPSI, I.; GALIBA, G. **Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings.** *Crop Science*, v. 40, p. 482-487, 2000.

KHADKA, Kamal et al. **Uma abordagem baseada em características fisiomorfológicas para a criação de trigo tolerante à seca.** *Fronteiras na ciência das plantas*, v. 11, p. 715, 2020.

KHAKWANI, A. A.; DENETT, M. D.; MUNIR, M. **Resposta de crescimento precoce de seis variedades de trigo sob condição de estresse osmótico artificial.** *Pak. J. Agric. Sci.*, v. 48, p. 119-123, 2011.

KHALID, Anam; HAMEED, Amjad; TAHIR, Muhammad Farrukh. **Wheat quality: A review on chemical composition, nutritional attributes, grain anatomy, types, classification, and function of seed storage proteins in bread making quality.** *Frontiers in Nutrition*, v. 10, p. 1053196, 2023.

KHAYATNEZHAD, M.; GHOLAMIN, R.; JAMAATI-E-SOMARIN, S.; ZABIHIE-E-MAHMOODABAD, R. **Efeitos do estresse de PEG em cultivares de milho (*Zea mays* L.) no estágio de germinação.** *Revista Mundial de Ciências Aplicadas*, v. 11, p. 504-506, 2010.

KOPPER, A. C. et al. **Influência da temperatura e do substrato na germinação de sementes de *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze.** *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v. 32, n. 2, p. 160-165, 2010.

KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. **A alta qualidade da semente de soja: fator importante para a produção da cultura.** Londrina: Embrapa Soja, 2018. 24 p. (Circular técnica, n. 136).

KUMARI, A.; SAIRAM, R. K.; SINGH, S. K.; KRISHNA, G. K. **Early growth response: An indicator of subsequent growth and yield of wheat genotypes grown under simulated water stress condition.** *Indian J Plant Physiol*, v. 19, p. 94–100, 2014.

LAGERWERFF, J. V.; OGATA, G.; ÁGUIA, H. E. **Controle da pressão osmótica de soluções de cultura com polietilenoglicol.** *Ciência*, v. 133, p. 1486-1487, 1961.

LAMAS, F. M. **Produzir trigo no Brasil, mais que uma opção, uma necessidade.** *EMBRAPA Agropecuária Oeste*, 08 jun. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/34949879/artigo---produzir-trigo-no-brasil-mais-que-uma-opcao-uma-necessidade>. Acesso em: 25 jun. 2024.

LEI, Chu et al. **Osmopriming with polyethylene glycol (PEG) for abiotic stress tolerance in germinating crop seeds: A review.** *Agronomy*, v. 11, n. 11, p. 2194, 2021.

LI, F. L.; BAO, W. K.; WU, N. **Morphological, anatomical and physiological responses of *Campylotropis polyantha* (Franch.) Schindl. seedlings to progressive water stress.** *Scientia Horticulturae*, v. 127, n. 4, p. 436-443, 2011.

LIU, Jinxin; WU, Ming-Wei; LIU, Chun-Ming. **Cereal endosperms: development and storage product accumulation.** *Annual Review of Plant Biology*, v. 73, n. 1, p. 255-291, 2022.

MAHPARA, Shahzadi et al. **The impact of PEG-induced drought stress on seed germination and seedling growth of different bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes.** *PloS One*, v. 17, n. 2, p. e0262937, 2022.

MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. **Influência do tamanho da semente na germinação e no estabelecimento de espécies de diferentes estágios da sucessão vegetal.** *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 8, n. 1, p. 211-215, 2001.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas.** Piracicaba: Fealq, 2005. 495 p.

MARCOS FILHO, J. **Seed vigor testing: An overview of the past, present and future perspective.** *Scientia Agricola*, v. 72, n. 4, p. 363–374, 2015.

MARINHO, J. DE L. et al. **Wheat yield and seed physiological quality affected by initial seed vigor, sowing density, and environmental conditions.** *Semina: Ciências Agrárias*, v. 42, n. 3, p. 1595–1614, 2021.

MARUR, C. J.; SODEK, L.; MAGALHÃES, A. C. **Free aminoacids in leaves of cotton plants under water deficit.** *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 6, p. 103-108, 1994.

MEDEIROS, D. S.; ALVES, E. U.; SENA, D. V. dos A.; SILVA, E. de O.; ARAÚJO, L. R. **Desempenho fisiológico de sementes de gergelim submetidas a estresse hídrico em diferentes temperaturas.** *Semina: Ciências Agrárias*, v. 36, p. 3069-3076, 2015.

MENESES, C. H. S. G.; LIMA, L. H. G. M.; LIMA, M. M. A.; FERNANDES, P. D.; BRUNO, R. L. A.; VIDAL, M. S. **Potencial hídrico induzido por Polietilenoglicol 6000 no vigor de sementes de algodoeiro.** *Embrapa Agroecologia*, v. 1, p. 5-17, 2007. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/629710/1/bot022.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2024.

MIRBAHAR, Ameer Ahmed; SAEED, Rafat; MARKHAND, Ghulam Sarwar. **Effect of polyethylene glycol-6000 on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination.** *Int. J. Biol. Biotech*, v. 10, n. 3, p. 401-405, 2013.

MOHAMMED, A. B. A. et al. **Wheat biocomposite extraction, structure, properties and characterization: A review.** *Polymers*, v. 13, n. 21, p. 3624, 2021.

MUT, Z.; AKAY, H. **Effect of seed size and drought stress on germination and seedling growth of naked oat (*Avena sativa* L.).** *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, v. 16, n. 4, p. 459–467, 2010.

NAKAGAWA, J. **Testes de vigor baseados na avaliação de plântulas.** In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. (Ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, 1999. p. 2:1-2:21.

NERLING, D. et al. **Qualidade física e fisiológica de sementes de milho durante o beneficiamento.** *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 13, n. 3, p. 238-246, 2014.

- OLIVEIRA, A. C. S. et al. **Testes de vigor em sementes baseados no desempenho de plântulas.** *Revista Científica Internacional*, v. 2, n. 4, p. 1–21, 2009.
- PADILHA, M. S. et al. **Seed vigor in reserve mobilization and wheat seedling formation.** *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 17, n. 3, 2022.
- PÁDUA, G. P. et al. **Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica e na produtividade da cultura da soja.** *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v. 23, n. 3, p. 9-16, 2010.
- PARMAR, M. T.; MOORE, R. P. **Carbowax 6000, mannitol and sodium chloride for simulating drought conditions in germination studies of corn (*Zea mays* L.) of strong and weak vigor.** *Agronomy Journal*, Madison, v. 60, n. 1, p. 192-195, 1968.
- PEDROSO, T. Q. et al. **Qualidade de sementes de cafeeiro produzidas em diferentes densidades de plantio e regimes hídricos.** *Coffee Science*, Lavras, v. 4, n. 2, p. 155-164, 2009.
- PEREIRA-ROQUE, J. A.; GONTIJO, G. R.; PIRES, R. M. O.; NERY, M. C.; SOUZA, G. A. de; PEREIRA, L. K. **Effects of sulfuric acid in seed dormancy break of *Ipomoea batatas* evaluated by enzymatic, anatomic, and physiological approaches.** *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 2024. DOI: 10.1080/01140671.2024.2433657.
- PESKE, S. T.; LABBÉ, L. M. B. Beneficiamento de sementes. In: PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. (Eds.) **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos.** Pelotas: Editora Universitária UFPel, 2012. p. 424-480.
- PETERSON, C. M.; KLEPPER, B.; RICKMAN, R. W. **Seed reserves and seedling development in winter wheat.** *Agronomy Journal*, Madison, v. 81, p. 245-251, 1989.
- PIANA, Z.; SILVA, W. S. **Respostas de sementes de milho, com diferentes níveis de vigor, à disponibilidade hídrica.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 33, n. 9, p. 1185-1192, 1998.
- PIRES, et al. **Physiological and biochemical assessment of wheat seeds during seedling establishment under water deficit stress.** 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2317-1545v38n4166972>.
- POPINIGIS, F. **Fisiologia de Semente.** 1. ed. AGIPLAN. Editora Brasília, 1977. 289 p.
- POUR-ABOUGHADAREH, Alireza et al. **Assessment of biochemical and physiological parameters of durum wheat genotypes at the seedling stage during polyethylene glycol-induced water stress.** *Plant Growth Regulation*, v. 92, n. 1, p. 81-93, 2020.
- PROTIĆ, R. et al. **Grain yield and some yield components in various wheat genotypes with different seed sizes.** *Azarian Journal of Agriculture*, v. 6, n. 2, p. 37–45, 2019.

RABIEYAN, Ehsan et al. **Morpho-colorimetric seed traits for the discrimination, classification and prediction of yield in wheat genotypes under rainfed and well-watered conditions.** *Crop and Pasture Science*, v. 74, n. 4, p. 294-311, 2022.

RANA, M. S. et al. **Effect of Polyethylene Glycol induced water stress on germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum*).** 2017.

Raza, S.; Saleem, M. F.; Khan, I. H.; Jamil, M.; Ijaz, M.; Khan, M. A. **Avaliando a eficiência de tolerância ao estresse hídrico de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.).** *Russian Journal of*, v. 12, 2012.

RODRIGUES-JUNIOR, A. G. et al. **Why large seeds with physical dormancy become nondormant earlier than small ones.** *PLOS ONE*, v. 13, n. 8, e0202038, 2018.

ROSA, D. P. et al. **Genetic diversity in soybean seed quality under different storage conditions.** *Semina: Ciências Agrárias*, v. 38, n. 1, p. 57-72, 2017.

ROSA, L. S. et al. **Avaliação da germinação sob diferentes potenciais osmóticos e caracterização morfológica da semente e plântula de *Ateleia glazioviana* Baill (Timbó).** *Cerne*, Lavras, v. 11, n. 3, p. 306-314, 2005.

ROYCHOUDHURY, A. et al. **Cross-talk between abscisic acid-dependent and abscisic acid-independent pathways during abiotic stress.** *Plant Cell Reports*, v. 32, n. 7, p. 985-1006, 2013.

SADEGHIAN, S. Y.; YAVARI, N. **Effect of water-deficit stress on germination and early seedling growth in sugar beet.** *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 190, n. 2, p. 138-144, 2004.

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. **Sistema radicular de plantas e qualidade do solo.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. 6 p.

SANTOS, V. L. M.; SILVA, R. F.; SEDIYAMA, T.; CARDOSO, A. A. **A utilização do estresse osmótico na avaliação do vigor de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill).** *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v. 18, n. 1, p. 83-87, 1996.

SARMA, Hridesh Harsha. **Seed testing: Key to establishing and maintaining seed quality standards.** *Vigyan Varta*, v. 5, n. 7, p. 131-137, 2024.

SHAHI, C. et al. **How Seed Size and Water Stress Effect the Seed Germination and Seedling Growth in Wheat Varieties?** *Current Agriculture Research Journal*, v. 3, n. 1, p. 60-68, 2015.

SILVA, J. L. da; ALMEIDA, C. L. de; OLIVEIRA, L. F. de. **Qualidade fisiológica de sementes de girassol classificadas pelo tamanho.** *Agropecuária Científica no Semiárido*, v. 12, n. 2, p. 153-161, 2016. Disponível em: <https://www.ufcg.edu.br>. Acesso em: 16 dez. 2024.

SILVA, W. R. **Relações entre disponibilidade de água, tratamento fungicida e germinação de sementes de milho (*Zea mays* L.).** 1989. 113 p. Tese (Doutorado em

Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1989.

SLAVIK, B. *Methods of studying plant water relations*. New York: Springer-Verlag, 1974. 449 p.

SOARES, M. M. et al. **Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos**. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 45, n. 4, p. 370–378, 2015.

SOLIMAN, H. L. A.; HENDAWY, M. H. **Selection for drought tolerance genotypes in durum wheat (*Triticum durum* Desf) under in vitro conditions**. *Middle-East Journal of Scientific Research*, v. 14, n. 1, p. 69-78, 2013. 30 mar. 2014.

SOUZA, G. M.; CARDOSO, V. J. M. **Effects of different environmental stress on seed germination**. *Seed Science Technology*, Zürich, v. 28, n. 3, p. 621-630, 2000.

SPONCHIADO, J. C.; SOUZA, C. A.; COELHO, C. M. M. **Teste de condutividade elétrica para determinação do potencial fisiológico de sementes de aveia branca**. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 35, n. 4, p. 2405–2414, 2014.

STATON, R.; WU, H.; LEMERLE, D. **Factors affecting silverleaf nightshade (*Solanum elaeagnifolium*) germination**. *Weed Science*, v. 60, p. 42-47, 2012. 28 mar. 2014.

STEINER, F. et al. **Does seed size affect the germination rate and seedling growth of peanut under salinity and water stress?** *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 49, 2019.

SYNGENTA. **Janela de plantio do trigo e o cenário para a safra 2023**. *Mais Agro*, 2023. Disponível em: <https://maisagro.syngenta.com.br/mercado-e-safra/janela-de-plantio-do-trigo-e-o-cenario-para-a-safra-2023/>. Acesso em: 16 dez. 2024.

TABATABAI, Seyyed Mohammad Taghi; GOSHASBI, Farideh; BAKHSHI, Behnam. **Evaluation of the effect of polyethylene glycol (PEG) on germination and morphological characteristics of bread wheat**. *Cereal Research Communications*, v. 50, n. 4, p. 1009-1015, 2022.

TAIZ, E.; ZEIGER, L. *Fisiologia vegetal*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TAIZ, Lincoln et al. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora, 2017.

TAIZ, Lincoln et al. *Fundamentos de Fisiologia Vegetal-6*. Artmed Editora, 2021.

TAVARES, L. C. et al. **Desempenho de sementes de soja sob deficiência hídrica: Rendimento e qualidade fisiológica da geração F1**. *Ciência Rural*, v. 43, n. 8, p. 1357–1363, 2013.

- TONIN, G. A.; CARVALHO, N. M.; KRONKA, S. N.; FERRAUDO, A. S. **Influência do cultivar e do vigor no desempenho germinativo de sementes de milho em condições de estresse hídrico.** *Revista Brasileira de Sementes*, Pelotas, v. 22, n. 1, p. 276-279, 2000.
- TORRES, S. B.; VIEIRA, E. L.; MARCOS-FILHO, J. **Efeitos do estresse hídrico na germinação e no desenvolvimento de plântulas de pepino.** *Revista Brasileira de Sementes*, Pelotas, v. 21, n. 2, p. 59-63, 1999.
- VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. **Teste de vigor em sementes.** Jaboticabal: FUNEP, 1994.
- VILLELA, F. A. **Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6000 e da temperatura.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 26, p. 1957-1968, 1991.
- WANG, X.; WANG, N.; RUI, Q.; ZHANG, P.; XU, L. **Jasmonates modulate the promotion effects induced by SNP on root development of wheat under osmotic stress through lipoxygenase activation.** *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, v. 22, p. 295–303, 2013.
- WHITE, J. W.; GONZÁLEZ, A. **Characterization of the negative association between seed yield and seed size among genotypes of common bean.** *Field Crops Research*, USA, v. 23, p. 159-175, 1990.
- WU, Wei; MA, Bao-Luo. **The mechanical roles of the clasping leaf sheath in cereals: two case studies from oat and wheat plants.** *Journal of Agronomy and Crop Science*, v. 206, n. 1, p. 118-129, 2020.