

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



Tese

**Respostas ecofisiológicas, enzimáticas e de produtividade de plantas de trigo
provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor e expostas a
restrição hídrica**

Felipe Koch

Pelotas, 2019

Felipe Koch
Engenheiro Agrônomo

**Respostas ecofisiológicas, enzimáticas e de produtividade de plantas de trigo
provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor e expostas a
restrição hídrica**

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

Orientador:

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

Coorientadores:

Prof. Dr. Tiago Pedó (FAEM/UFPEL)

Profa. Dra. Emanuela Garbin Martinazzo (FURG)

Pelotas, 2019

Rio Grande do Sul – Brasil

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

K76r Koch, Felipe

Respostas ecofisiológicas, enzimáticas e de produtividade de plantas de trigo provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor e expostas a restrição hídrica / Felipe Koch ; Tiago Zanatta Aumonde, Emanuela Garbin Martinazzo, orientadores ; Tiago Pedó, coorientador. —Pelotas, 2019.

116 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Triticum aestivum L.. 2. Qualidade fisiológica. 3. Análise de crescimento. 4. Enzimas antioxidantes. 5. Déficit hídrico. I. Aumonde, Tiago Zanatta, orient. II. Martinazzo, Emanuela Garbin, orient. III. Pedó, Tiago, coorient. IV. Título.

CDD : 633.15

Felipe Koch
Engenheiro Agrônomo

Respostas ecofisiológicas, enzimáticas e de produtividade de plantas de trigo
provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor e expostas a restrição
hídrica

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

Data da Defesa: 15/07/2019.

Banca examinadora:

.....
Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde (Orientador)
Doutor em Ciência pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof. Dr. Tiago Pedó
Doutor em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof. Dr. Dario Munt de Moraes
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Dra. Andréia da Silva Almeida
Doutora em Ciências pela Universidade Federal de Pelotas

.....
Prof. Dr. Luis Osmar Braga Schuch
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

“Ore como se tudo dependesse de Deus e trabalhe como se tudo dependesse de você”.

Santo Inácio de Loyola

**Aos meus pais Alceu e Ivania e a meu irmão
Manuel, pelo exemplo de dedicação, pelo
apoio em todos os momentos e por acreditar
sempre em minhas vitórias e ideais.**

DEDICO...

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a **Deus**, por iluminar meu caminho, me dando força, saúde e vontade para seguir em frente.

Aos meus pais, Alceu e Ivania e irmão Manuel que sempre estiveram ao meu lado, incentivando e apoiando desde o início.

A minha namorada Sinara, por todo seu amor e companheirismo, estando ao meu lado em todos os momentos, me incentivando e apoiando.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Tiago Zanatta Aumonde pela sua confiança, paciência, dedicação, pelos conselhos e pela amizade.

Ao meu Coorientadores, Prof. Dr. Tiago Pedó e Profa. Dra. Emanuela Garbin Martinazzo, pela dedicação, conselhos e amizade.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

Aos colegas Geison, Manuela, João, Cristian, Angelita, Marcio, Gustavo, Simone e Vinicius pelo companheirismo, amizade e auxílio durante a condução dos experimentos.

Aos estagiários da linha de pesquisa, Eduardo, Bruno, Felipe, João e Guilherme pelo comprometimento e apoio durante as atividades desenvolvidas nesta pesquisa.

Por fim, a todos amigos, mesmo aqueles de longe, que de uma forma ou outra, sempre estiveram ao meu lado, incentivando e apoiando nos bons e maus momentos.

Resumo

KOCH, Felipe. **Respostas ecofisiológicas, enzimáticas e de produtividade de plantas de trigo provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor e expostas a restrição hídrica.** 2019. 116f. Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar respostas enzimáticas e de composição química de plântulas, e respostas ecofisiológicas e de produtividade de plantas, de diferentes cultivares de trigo provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor e expostas a restrição hídrica. Foram utilizadas sementes de diferentes cultivares, com alto, médio e baixo vigor e a restrição hídrica foi realizada em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. Em campo, foram realizados experimentos estudando a relação entre cultivares x vigor de sementes, já em casa de vegetação, os experimentos foram para analisar a relação entre cultivares x nível de vigor de sementes x restrição hídrica. A utilização de sementes de baixo vigor afeta negativamente o estabelecimento do estande de plantas de trigo. O emprego de sementes de alto vigor proporciona maior número de plantas de trigo e de espigas por área. A produtividade foi afetada significativamente pelos níveis de vigor de sementes, sendo constatada acréscimo de até 11% para lote de alto vigor em relação ao de baixo vigor. Plantas provenientes de sementes de alto vigor se sobressaem no crescimento, com superioridade de até 27% para valores de índice de área foliar, 28% para massa seca total, 30% para a taxa de produção de massa seca, 19% para o crescimento relativo e de até 44 % para a eficiência de conversão da energia solar. A massa de mil sementes é superior para plantas provenientes de sementes de alto vigor. Sementes de alto vigor proporcionam uma maior velocidade e porcentagem de emergência de plântulas. A resposta de crescimento do trigo independe da cultivar empregada, tendo superioridade para plantas originadas de sementes com alto vigor em capacidade de campo. Plantas expostas a restrição hídrica possuem uma maior atividade de enzimas antioxidantes, independente da cultivar. O nível de vigor alto das sementes promove incremento nos valores da atividade enzimática das plantas quando expostas a restrição hídrica. O alto vigor das sementes resulta na formação de plantas com maior área foliar e superior alocação de massa seca em parte aérea e nas raízes, tanto em condições de capacidade campo quanto em condições de restrição hídrica. A produção de massa seca total, a taxa de produção de massa seca, taxa assimilatória líquida, índice de área foliar, razão de massa foliar e eficiência de conversão da energia solar foram superiores para plantas oriundas de sementes de alto vigor e mantidas sob capacidade de campo. O rendimento é superior para plantas originadas de sementes de alto vigor em relação àquelas de baixo vigor em solo mantido na capacidade de campo.

Palavras-chaves: *Triticum aestivum* L.; qualidade fisiológica; análise de crescimento; enzimas antioxidantes; déficit hídrico.

Abstract

KOCH, Felipe. **Echophysiological, enzymatic and productivity responses of wheat plants from seeds with different levels of vigor and exposed to water restriction.** 2019. 116f. Thesis (Doctor of Science) – Program in Science and Technology of Seeds, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2015.

The present work aims to evaluate enzymatic and chemical composition responses of seedlings and ecophysiological and plant productivity responses of different wheat cultivars from seeds with different levels of vigor and exposed to water restriction. Seeds of different cultivars were used, with high, medium and low vigor, and the water restriction was performed at different stages of crop development. In the field, experiments were carried out to study the relationship between cultivars x vigor of seeds, already in greenhouse, the experiments were to analyze the relationship between cultivars x level of seed vigor x water restriction. The use of low vigor seeds negatively affects the establishment of the wheat plant stand. The use of high vigor seeds provides a greater number of wheat and ear plants per area. The productivity was significantly affected by seed vigor levels, with up to 11% increase for high vigor batch compared to low vigor. Plants of high vigor seeds stand out in growth, with a superiority of up to 27% for leaf area index values, 28% for total dry matter, 30% for dry mass production rate, 19% for relative growth and up to 44% for the conversion efficiency of solar energy. The mass of one thousand seeds is superior for plants coming from seeds of high vigor. High vigor seeds provide a higher speed and seedling emergence percentage. The growth response of the wheat is independent of the cultivar employed, having superiority to plants originated from seeds with high vigor in field capacity. Plants exposed to water restriction have a higher activity of antioxidant enzymes, independent of the cultivar. The high vigor level of the seeds promotes an increase in the values of the enzymatic activity of the plants when exposed to the water restriction. The high vigor of the seeds results in the formation of plants with larger leaf area and superior allocation of dry mass in aerial part and in the roots, both in conditions of field capacity and in conditions of water restriction. The total dry matter production, dry mass production rate, net assimilation rate, leaf area index, leaf mass ratio and conversion efficiency of solar energy were higher for plants from high vigor seeds and kept under field. Yield is higher for plants originating from high vigor seeds than those with low vigor in soil maintained at field capacity.

Keywords: antioxidant enzymes; physiological quality; plant growth analysis; *Triticum aestivum* L.; water deficit

Sumário

1. Introdução Geral	10
2 Capítulo I – Desempenho fisiológico e bioquímico de sementes e plântulas de trigo em resposta a temperatura e a restrição hídrica.....	19
2.1 Introdução	19
2.2 Material e métodos.....	21
2.3 Resultados e discussão.....	26
2.4 Conclusões	37
3. Capítulo II –Desempenho populacional de plantas de trigo provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor	38
3.1 Introdução	38
3.2 Material e Métodos.....	39
3.3 Resultados e discussão.....	43
3.4 Conclusões	51
4. Capítulo III – Nível de vigor em sementes e respostas ecofisiológicas de plantas de trigo	52
4.1 Introdução	52
4.2 Material e métodos.....	53
4.3 Resultados e discussão.....	57
4.4 Conclusões	67
5. Capítulo IV – Desempenho no crescimento inicial e na atividade de enzimas antioxidantes do trigo em respostas a restrição hídrica e vigor das sementes	68
5.1 Introdução	68
5.2 Material e métodos.....	69
5.3 Resultados e discussão.....	73
5.4 Conclusões	89
6. Capítulo V – Ecofisiologia de plantas de trigo em função do vigor de sementes e da restrição hídrica.....	90
6.1 Introdução	90
6.2 Material e métodos.....	91
6.3 Resultados e discussão.....	96

6.4	Conclusões	104
7.	Considerações finais	105
8.	Referências bibliográficas	107

1. Introdução Geral

O trigo (*Triticum aestivum* L.) pertencente à família Poaceae, é uma das primeiras espécies a ser cultivada no mundo, sendo originado do cruzamento entre outras poaceas silvestres que existiam próximas ao rio Tigre e Eufrates (SILVA et al., 2000). Seu cultivo ocorre no sudoeste da Ásia, seu centro de origem, há mais de 10.000 anos (SLEPER & POEHLMAN, 2006), sendo elencada entre àquelas de maior importância para a alimentação humana.

É uma das culturas mais relevantes em todo mundo, devido principalmente à sua importância alimentar, em razão da qualidade e quantidade de proteínas, assim como, pela variedade de produtos derivados (MORI, 2015). A composição das proteínas de reserva permite através do processo de panificação, a obtenção de diversos produtos, que colaboram para que este cereal seja alimento mundialmente consumido, tornando esta espécie, alimento básico de aproximadamente um terço da população mundial (SLEPER & POEHLMAN, 2006).

O trigo é cultivado em diversas condições ambientais, desde a Argentina até a Finlândia, fato que resulta na necessidade da condução de intensos trabalhos de seleção, visando aclimatar a cultura aos seus diversos ambientes de cultivo. Desde os primeiros trabalhos de melhoramento genético desta cultura, tem-se objetivado o aumento da produção e da qualidade de grãos, modificações na arquitetura da planta, resistência ao acamamento e pragas e a doenças (BOREM & SCHEEREN, 2015).

A produção Brasileira de trigo é de aproximadamente 5,2 milhões de toneladas, produção que atende apenas cerca de 50% da demanda Nacional do grão. Neste cenário, conta-se uma baixa produtividade da cultura, de aproximadamente 2,5 t ha⁻¹ (CONAB, 2018). A baixa produtividade pode ser relacionada a condições climáticas adversas, fertilidade dos solos e manejo fitossanitário.

Na região Sul do País, principalmente nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná, a espécie constitui uma das principais alternativas de renda para o cultivo

de inverno, sendo também, fundamental ao sistema de plantio direto, servindo como cobertura vegetal e também para produção de palha para o cultivo de verão (WIETHOLTER, 2004).

A produção nacional de trigo não supre a demanda do alto consumo dos grãos desta espécie, os quais possuem elevado e amplo consumo da dieta alimentar humana e animal (BORÉM & SCHEEREN, 2015). O déficit na produção torna o Brasil um grande importador de trigo em âmbito mundial. Em virtude deste déficit na produção, são necessárias alternativas visando alcançar a autossuficiência, entre as quais a elevação da produtividade e a expansão da área cultivada (OLIVEIRA et al., 2011; BORÉM & SCHEEREN, 2015).

O cultivo do trigo se restringiu a região Sul do Brasil, tanto por fatores culturais como bioclimáticos (GUTKOSKI et al., 2007). Entretanto, a região do Brasil Central se torna uma excelente alternativa para a expansão da produção de trigo no País sempre levando em conta alguns fatores, como limites mínimos de altitude, época de semeadura, irrigação e cultivares empregadas (CONDÉ et al., 2010). Existem relatos do cultivo, ainda incipiente de trigo na Região Central do País, nas regiões de Primavera do Leste e Lucas do Rio Verde e Tangará da Serra no Mato Grosso (CORDEIRO et al., 2015) e Cristalina, em Goiás (BORÉM & SCHEEREN, 2015).

A restrição hídrica constitui situação comum à produção de diversas culturas e pode apresentar impacto negativo no crescimento e no desenvolvimento das plantas, por ocasionar o fechamento estomático, redução na taxa de assimilação de CO_2 para produção de carboidratos, acelerar a senescência e a abscisão foliar, reduzir o desenvolvimento celular e afetar a partição adequada de assimilados entre os diferentes órgãos da planta (TAIZ & ZEIGER, 2013). Constitui uma das condições ambientais limitantes ao desenvolvimento vegetal (GUIMARÃES et al., 2006) e quando aliada às altas temperaturas, ocasiona redução no ciclo das plantas, aumento na atividade respiratória, redução no índice de troca de CO_2 e sua condução na folha e nos espaços intercelulares, reduzindo as taxas fotossintéticas e afetando a síntese de assimilados e sua alocação para os diferentes órgãos do vegetal, fato que reflete negativamente no rendimento (LOPES & LIMA, 2015).

O estresse por déficit hídrico resulta em diminuição nas taxas de crescimento e na produtividade devido à redução do potencial hídrico das folhas, o fechamento estomático e consequente diminuição das trocas gasosas, inibindo a fotossíntese e

a respiração, podendo resultar na morte da planta (SHAO et al., 2008). Se o estômato fecha para proteger a planta contra a perda de água, restringe a difusão do CO₂ atmosférico e, conseqüentemente, provoca queda na taxa fotossintética (DAMATTA et al., 2003). Neste sentido, situações adversas de cultivo refletem negativamente no crescimento do vegetal, podendo ser atribuído em parte, às alterações no processo fotossintético, o qual envolve a captação de energia radiante e fixação do dióxido de carbono (FORCE et al., 2003; PANDA et al., 2006).

O crescimento vegetal, entre outros fatores, mantém relação à eficiência do processo fotossintético e pode ser afetado negativamente por diferentes estresses ambientais (PANDA et al., 2006). O estresse causado pelo déficit hídrico é um dos maiores problemas enfrentado pela agricultura gaúcha e brasileira, interferindo no processo de abertura e fechamento estomático e reduzindo a concentração interna de CO₂, fato que resulta em menor taxa fotossintética e pode promover aumento na formação de espécies reativas de oxigênio resultando em estresse oxidativo (DAMATTA et al., 2003; SHAO et al., 2008).

O déficit hídrico desencadeia uma série de reações em cascata, ocorrência que induz o aumento da produção de espécies reativas de oxigênio, estas podem ser reduzidas pela ação de enzimas antioxidantes, como a catalase, superóxido dismutase e ascorbato peroxidase (FAGHANI et al., 2015). A atividade conjunta dessas e de outras enzimas, relacionadas ao metabolismo antioxidante, pode indicar o nível de estresse e a capacidade de tolerância e de adaptação das plantas às condições extremas e pós recuperação com a hidratação da planta (QUEIROZ et al., 2011).

Além deste, diversos estresses bióticos podem levar à superprodução de espécies reativas de oxigênio, para contornar estes estresses as plantas possuem um mecanismo antioxidante que envolve as enzimas superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e catalase e compostos fenólicos com vistas a proteção contra o colapso do metabolismo vegetal (GILL & TUTEJA, 2010).

As plantas desenvolveram mecanismos de defesa, enzimáticos e não enzimáticos que possuem a capacidade de neutralizar a ação citotóxica das espécies reativas de oxigênio (BARBOSA et al., 2014). Estes mecanismos antioxidantes podem evitar a formação de radicais livres, sequestra-los ou então, promover a sua degradação, prevenindo desta forma, os danos às células das plantas (SERKEDJIEVA, 2011).

Contudo, em situações de estresse ambiental, quando o equilíbrio entre a produção de ROS e a atividade dos mecanismos antioxidantes é rompido a favor dos compostos oxidantes, o resultado é a ocorrência de danos oxidativos nas estruturas celulares (KIM & KWAK, 2010).

Entre os mecanismos de defesa, destacam-se as enzimas antioxidantes superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e catalase. As enzimas catalisam reações químicas e mediam praticamente toda a enorme quantidade de reações bioquímicas que constituem a vida (BARBOSA et al., 2014).

Estas enzimas antioxidantes estão distribuídas em diferentes compartimentos celulares e contribuem no controle das ROS em plantas. As superóxido-dismutase são consideradas a primeira linha de defesa contra as ROS, e participam da modulação do nível do H_2O_2 em cloroplastos, mitocôndrias, citosol e peroxissomos (BHATTACHARJEE, 2010).

Já, a catalase é uma das principais enzimas que atuam na eliminação do H_2O_2 gerado durante a fotorrespiração e a beta-oxidação dos ácidos graxos, atuando nos peroxissomos e glioxissomos, podendo também ser encontrada em mitocôndrias, onde converte duas moléculas de H_2O_2 a H_2O e oxigênio molecular (BARBOSA et al., 2014; DUBEY, 2011)

A ascorbato peroxidase é uma heme-proteína, da Classe I da superfamília das peroxidases, com distintas formas isoenzimáticas, diversamente reguladas, podem ser encontradas no citosol, mitocôndrias, peroxissomos, cloroplastos e parede celular (DABROWSKA et al., 2007). Esta enzima tem alta afinidade com o H_2O_2 , possibilitando a eliminação do H_2O_2 mesmo em concentrações baixas (LOCATO et al., 2010).

Outra resposta metabólica que está associada ao estresse causado pelo déficit hídrico é o acúmulo de moléculas osmoprotetoras, que auxiliam na tolerância das plantas sob baixa disponibilidade de água, como açúcares (trealose, sacarose e frutose), aminoácidos (prolina e triptofano) e compostos de amônio (AKITHA & GIRIDHAR, 2015; HOSSAIN et al., 2014).

Esses mecanismos proporcionam o crescimento e a reprodução das plantas em ambientes com limitações hídricas. Nessas condições, plantas acumulam açúcares, ácidos orgânicos e íons no citosol, o que possibilita a diminuição do potencial osmótico e a manutenção do potencial hídrico e do turgor (MAIA et al.,

2007), ajudando também no controle das espécies reativas de oxigênio (ROS) (MILLER et al., 2010).

O acúmulo de osmoprotetores é de fundamental importância para a adaptação das plantas podendo prevenir a desnaturação de proteínas, preservar a estrutura de enzimas, proteger as membranas dos efeitos deletérios causados pelas espécies reativas de oxigênio (EROs) e inibir a agregação de proteínas. (COTINGUIBA et al., 2013).

A produtividade e a qualidade da semente possuem relação aos fatores ambientais adversos que ocorrem durante a formação das sementes, estes fatores podem atuar de forma direta ou indireta sobre as mesmas. Assim, fatores estressores, bióticos ou abióticos, podem atuar de forma indireta, ou seja, afetando processos fisiológicos e bioquímicos da planta mãe e/ou de forma direta, sobre a semente ainda em formação, resultando desta maneira em problemas na formação das sementes, que por consequência, serão mais sensíveis ao processo de deterioração de sementes (KOCH et al., 2017).

No trigo, a ocorrência de temperaturas elevadas durante o ciclo de desenvolvimento das plantas resulta na senescência e clorose foliar, maturidade precoce e redução no rendimento de sementes (YANG et al., 2002). Desse modo, o calor excessivo reflete sobre a planta, reduzindo a biossíntese de amido e a alocação na semente, diminuindo a massa seca e, afetando negativamente a produtividade (BUCHANAN, 2000). Peske et al. (2012), relatam que a baixa disponibilidade hídrica aliada à ocorrência de temperaturas estressantes, altas ou baixas, durante a fase vegetativa e no enchimento de grãos, resulta em queda na produtividade e na qualidade fisiológica das sementes (PESKE et al., 2012).

Um dos primeiros ajustes da planta na ocorrência de déficit hídrico é o fechamento dos estômatos, visando a redução de perda de água pelo processo de transpiração, em contrapartida, é reduzido por consequência o fluxo de massa responsável pelo transporte de nutrientes do solo para as raízes (KOCH et al., 2017). Ainda sob influência desta condição, ocorre a redução da entrada de CO₂ nas folhas, refletindo em uma menor taxa fotossintética da planta, além de que, quando associada a restrição hídrica e altas temperaturas os prejuízos são ainda maiores, uma vez que estes fatores são responsáveis por reduzir a atividade de enzimas chaves da produção de assimilados, como a Rubisco e a ADPG pirofosforilase, enzima que atua na síntese do amido (KOCH et al., 2017).

Assim, a ação destes fatores sobre as plantas afeta a produção de sacarose nas folhas, diminuindo de forma drástica a produção de carboidratos nas sementes, principalmente se a ocorrência deste fator estressor ocorrer após a floração, uma vez que o enchimento da semente verifica-se principalmente pelos fotoassimilados produzidos a partir deste ponto, além disto, a disponibilidade de água neste período é imprescindível para permitir que ocorra de forma satisfatória a translocação de fotoassimilados e de minerais até as sementes (KOCH et al., 2017).

Estresses por alta temperatura e déficit hídrico afetam também, a qualidade física, ocasionando sementes menores e deformadas, pode afetar a deposição de amido, o conteúdo de cálcio, o acúmulo de matéria seca, a viabilidade, o vigor e o conteúdo de proteína (DANIEL & TRIBOI, 2000). Além disso, pode induzir a peroxidação de lipídios e na alteração da integridade do sistema de membranas celulares, formado por lipídios e proteínas, que são instáveis sob condições de estresse (PESKE et al., 2012).

A qualidade das sementes, conforme indicado por Peske et al. (2012), é definida pelo somatório de seus atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários. Neste sentido, a utilização de sementes de elevada qualidade é um fator determinante na obtenção de elevados rendimentos e sendo a base de uma lavoura tecnicamente bem estabelecida (FRANÇA NETO et al., 2010).

A qualidade fisiológica representa a capacidade da semente em desempenhar funções vitais de germinação, vigor e longevidade (BEWLEY et al., 2013). A germinação e o vigor compõem o atributo fisiológico da qualidade de sementes, este pode atuar de forma direta, pela redução do estande de plantas, ou de forma indireta, devido a capacidade diferencial de acúmulo de massa seca pelas plantas, sobre a produtividade das culturas (SILVA et al., 2010).

O vigor merece maior importância, e deve ser considerado na implantação de uma lavoura, envolvendo uma série de fatores relacionados com a reestruturação celular, retomada do crescimento do embrião, e uma eficiente metabolização, translocação e alocação das estruturas de armazenamento da semente para a plântula em desenvolvimento (AUMONDE et al., 2017a).

Neste sentido, o vigor compreende um conjunto de características da semente que determinam o potencial para a emergência e o rápido desenvolvimento de plântulas normais, sob ampla diversidade de condições de ambiente (MARCOS FILHO, 2015). Isto porque, não é determinado por uma característica em particular,

mas por um conjunto delas, associadas ao desempenho das sementes (PESKE et al., 2012).

Do ponto de vista bioquímico, o vigor envolve a biossíntese de energia e de proteínas, ácidos nucleicos, carboidratos e lipídeos e a capacidade de reorganização e recuperação da integridade dos sistemas de membranas celulares, a translocação e a utilização das substâncias de reserva. Tanto o vigor quanto o potencial de armazenamento da semente são influenciadas pelos teores de compostos de reserva presentes e, de modo geral, quanto maior o teor de reservas, maior o vigor das plântulas originadas (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012).

O vigor de semente, conforme a AOSA (1983), compreende as propriedades da semente que determinam o potencial para emergência e desenvolvimento rápido e uniforme de plântulas normais, sob ampla diversidade de condições ambientais.

Diversos estudos têm apontado o efeito do vigor das sementes sobre a produtividade das culturas. Kolchinski et al. (2006), verificaram que plantas de soja provenientes de sementes de alto vigor apresentam maior índice de área foliar, produção de matéria seca e superioridade de 35% na produtividade em relação àquelas provenientes de baixo vigor. Os incrementos de 30% (SILVA, 2010) e 9% (SCHEEREN et al., 2010) também foram encontrados na cultura da soja, sendo constatado em arroz os acréscimos de produtividade superiores a 20% (MELO et al., 2006; MIELEZRSKI et al., 2008).

A utilização de sementes com baixo vigor pode provocar redução na velocidade e na emergência total de plântulas, na produção de matéria seca, no tamanho da área foliar e nas taxas de crescimento das plantas, podendo afetar o estabelecimento da cultura e o seu desempenho ao longo do ciclo em termos de produtividade (KOLCHINSKI et al., 2005).

Em sementes com baixo vigor pode ocorrer a redução da velocidade de emergência, produção de biomassa seca e das taxas de crescimento das plântulas e plantas, afetando negativamente o estabelecimento e desempenho das plantas ao longo do ciclo e produtividade final (SCHUCH et al., 2000).

As condições ambientais podem influenciar no desempenho da semente e da planta. Neste sentido, a restrição hídrica constitui situação comum à produção de diversas culturas e pode apresentar impacto negativo no crescimento, desenvolvimento e no rendimento, por ocasionar o fechamento estomático, a redução da assimilação de CO₂ e a produção de carboidratos, acelerar a

senescência e a abscisão foliar, afetar negativamente o desenvolvimento celular e a partição de assimilados e (AUMONDE et al., 2017; TAIZ & ZEIGER, 2013). A disponibilidade de água e a temperatura afetam a velocidade e percentagem de germinação por influenciar principalmente na absorção de água pela semente, nos demais processos bioquímicos e fisiológicos que determinam a germinação (CARVALHO & NAKAGAWA 2012; TAIZ & ZEIGER, 2013).

O efeito de restrição hídrica associada a altas temperaturas sobre o vigor da semente pode ser relacionado à redução da hidrólise de reservas para a plântula e a perda de carboidratos pelo processo respiratório. Segundo Melo et al. (2004), o aumento da temperatura resulta em altas taxas de respiração, ainda de acordo com Peske et al. (2012) temperaturas elevadas durante o processo germinativo resultam na perda de carbono pela alteração do processo respiratório. Segundo Ferreira & Borghetti (2004), o crescimento inicial das plântulas é dependente da atividade da α -amilase que fornece substratos para respiração, sendo tanto a síntese quanto a secreção de α -amilase influenciada pela temperatura, assim como, a inibição da síntese de proteínas.

A enzima fosfatase ácida, que atua na conversão no metabolismo de fosfatos e na mobilização de proteínas de reserva (BEWLEY et al., 2013) também pode ter sua atividade alterada por condições ambientais adversas. Neste sentido, mudanças na atividade enzimática são baseadas na suscetibilidade específica destas enzimas ao agente estressor ou resultado de um único evento, a exemplo da ativação de proteases, as quais afetariam a função de várias enzimas (VIEIRA et al., 2000). A detecção inicial do processo de redução do vigor pode ser determinada eficientemente pela quantificação da atividade de enzimas relacionadas à síntese de novos tecidos, as quais, reduzem eficiência frente a tal evento (MUNIZ et al., 2007).

O metabolismo enzimático antioxidante constitui importante mecanismo envolvido na eliminação de compostos tóxicos formados em tecidos vegetais sob diferentes condições adversas de meio. A ineficiência deste mecanismo enzimático pode resultar no acúmulo de radicais (SINHÁ & SAXENA, 2006), responsáveis pela peroxidação de lipídeos e alteração da seletividade e fluidez do sistema de membranas celulares, um dos fatores relacionados à redução de vigor de sementes (PESKE et al., 2012).

O crescimento de uma planta consiste na produção e na distribuição de carbono entre os diferentes órgãos do vegetal sendo reflexo da interação entre

genótipo e ambiente. A análise de crescimento é método acessível, preciso e utilizado com a finalidade de avaliar o comportamento vegetal em diferentes condições de meio e manejo, permitindo a inferência da contribuição dos diferentes processos fisiológicos sobre o desempenho vegetal (AUMONDE et al., 2013). Consiste no primeiro passo para a interpretação e a análise de produção primária e possibilitar a avaliação da capacidade competitiva entre plantas (LOPES & LIMA, 2015).

Por meio do processo fotossintético, as plantas absorvem energia luminosa e fixam CO₂ atmosférico em compostos carbonados destinados ao crescimento e desenvolvimento (MARENCO & LOPES, 2007). O crescimento de uma planta é função da produção e da distribuição de matéria seca ao longo da sua ontogenia, onde assimilados produzidos por meio da fotossíntese podem ser armazenados ou distribuídos entre os diferentes órgãos dreno da planta (AUMONDE et al., 2011).

De acordo com Silva et al. (2000), o crescimento de espécies cultivadas pode ser avaliado pelo acúmulo de matéria seca entre órgãos, área foliar e atributos morfológicos, sendo possível determinar as relações entre a ação do ambiente e do tempo sobre as culturas. As variações na quantidade de biomassa e de área foliar ao longo do tempo são utilizadas para estimar diversos índices fisiológicos, como a taxa de crescimento da cultura e a taxa de crescimento relativo e a taxa de assimilação líquida, sendo assim, estas variáveis podem ser utilizadas para explicar a produção de diferentes cultivares, ou de diferentes tratamentos em uma mesma cultivar (LOPES & LIMA, 2015).

A análise de crescimento efetuada a intervalos regulares de tempo durante todo o ciclo do genótipo e baseada na matéria seca acumulada e na área foliar (LOPES & LIMA, 2015), bem como a utilização de taxas instantâneas de crescimento, pode ser empregada para a realização de inferências do agente estressor sobre o desempenho de plantas no campo e sob condições controladas. Esta análise pode ser empregada para a avaliação da adaptação ou aclimação ecológica de culturas a diferentes ambientes e para a análise da capacidade produtiva de diferentes genótipos (BENINCASA, 2003). Possibilita avaliar a contribuição das diferentes estruturas vegetais no acúmulo de matéria seca e no rendimento das espécies, permitindo desta forma, estabelecer a estimativa do desenvolvimento e da contribuição dos processos morfofisiológicos sobre o desempenho vegetal (BENINCASA, 2003; PEIXOTO & PEIXOTO, 2009).

A partição de matéria seca consiste na quantidade de biomassa acumulada pela planta nos diferentes órgãos durante seu ciclo de vida e possui importância no estudo do vegetal por influenciar na alocação final de carbono em diferentes estruturas vegetais (GUIMARÃES et al., 2002). Os assimilados que são provenientes de folhas com taxa de produção líquida positiva, de maneira geral, são direcionados para os drenos fortes mais próximos. As folhas, conforme sua idade ou posição, podem exportar para um sentido preferencial, assim, folhas jovens, mais altas, exportam acropetamente para o ápice, e as folhas maduras inferiores exportam basipetamente para as raízes, já as intermediárias podem exportar para ambos sentidos (LOPES & LIMA, 2015).

Situações adversas de cultivo refletem negativamente no crescimento e rendimento vegetal, podendo ser atribuído em parte, às alterações no processo fotossintético, o qual envolve a captação de energia radiante e fixação do dióxido de carbono (FORCE et al., 2003; PANDA et al., 2006).

Como opção para estudar as respostas de plantas frente a diferentes cultivares, manejo empregado, condição de estresse abiótico, dentre outros fatores, a análise de crescimento pode ser empregada, uma vez que constitui método quantitativo de baixo custo, preciso e utilizado para avaliar o crescimento vegetal ao longo do tempo e frente a diferentes condições de meio e de manejo (RADFORD, 1967; LOPES & LIMA, 2015; AUMONDE et al., 2017).

A análise de crescimento pode ser empregada como opção para estudar o desempenho de plantas expostas a condições estressoras, emprego de diferentes práticas de manejos e análise da capacidade produtiva de diferentes genótipos (LOPES & LIMA, 2015), assim sendo, se torna uma ferramenta importante na avaliação da influência do nível de vigor das sementes sobre as respostas fisiológicas das plantas originadas.

Esta análise de crescimento é baseada na coleta de dados primários a intervalos regulares de tempo, a exemplo da área foliar, massa seca, altura e diâmetro, sendo possível estimar de algumas taxas de crescimento, como a taxa de produção de massa seca, taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida, dentre outras, que possibilitam estabelecer relações diretas com a produtividade final da cultura (AUMONDE et al., 2017).

2 Capítulo I – Desempenho fisiológico e bioquímico de sementes e plântulas de trigo em resposta a temperatura e a restrição hídrica

2.1 Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) enquadra-se como um dos cereais básicos consumidos mundialmente, principalmente pelo fato da farinha ser utilizada na elaboração de diversos produtos, incluindo pães, massas e biscoitos. No Brasil são cultivados cerca de 2 milhões de hectares com trigo, com a produção de aproximadamente 5,2 milhões de toneladas, contudo, a produção está concentrada na região Sul, que corresponde a aproximadamente 90% da produção nacional do grão (CONAB, 2018).

A cultura do trigo vem ganhando espaço e se difundindo em outras regiões do Brasil, com ênfase para os cerrados do Brasil Central, devido ao progresso de variedades e técnicas de manejo da cultura e da irrigação, agregado à expansão da fronteira agrícola (BOSCHINI et al., 2011). A espécie vem se destacando no Brasil com o aumento da produção, tanto pela demanda Nacional de grãos, quanto pelos seus benefícios nos sistemas de cultivo, pois fornece palhada para as culturas de verão, como a soja e o milho (ABATI, 2014).

Alguns dos agricultores da região central do Brasil estão se interessando pelo cultivo do trigo em microclimas específicos, pela menor incidência de doenças em função da baixa umidade relativa do ar durante o maior período de tempo durante o ciclo da cultura (CONDÉ, 2010). As áreas de produção do trigo estão em crescimento, diante disso, é necessário atentar-se para a utilização de sementes de alta qualidade, que corresponde a atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários (PESKE et al., 2012).

No trigo, inúmeras são as causas que limitam sua produtividade, em meio a isso deve salientar-se as condições climáticas, práticas de manejo e fertilidade dos solos. O elemento que mais influência na germinação e posterior desenvolvimento

da planta é a disponibilidade de água, estando relacionada diretamente com a retomada do crescimento do embrião nas sementes, esse fator torna-se um limitante na produtividade agrícola (MAIA, 2007; PESKE et al., 2012).

Em circunstâncias de seca, podem ocorrer várias alterações nas plantas, sendo a severidade relacionada com a intensidade e duração desse estresse, do genótipo e da fase de desenvolvimento da planta (CONDÉ, 2010). Neste sentido, é necessário estudar o desempenho fisiológico de sementes de trigo frente a condições de restrição hídrica em um dos períodos mais sensíveis da cultura, que vai da germinação das sementes até o estabelecimento das plântulas. A temperatura, assim como, a condição hídrica do solo influencia no desempenho fisiológico e bioquímico da semente e da plântula com possíveis reflexos no rendimento de grãos. A restrição hídrica pode ocasionar redução da área de folhas disponíveis a captação de radiação solar, modificar a preferencialidade do dreno ao longo da ontogenia das plantas, enquanto, a inadequada pode afetar negativamente o processo de assimilação do carbono e assim a produtividade (AUMONDE et al., 2017). Além disso, a atividade de enzimas antioxidantes e a composição química podem ser alterados negativamente em função da restrição hídrica e da temperatura a que sementes e plântulas são submetidas.

Quando sujeitas a condições estressoras e frente à produção espécies reativas de oxigênio (ROS), as plantas por meio do mecanismo antioxidante buscam atuar sobre compostos tóxicos com vistas a proteção contra o colapso do metabolismo vegetal (GILL & TUTEJA, 2010). As enzimas antioxidantes são capazes de evitar a formação de radicais livres, sequestrá-los, ou promover sua degradação, prevenindo a ocorrência de danos as células das plantas (SERKEDJIEVA, 2011). Outra resposta que está associada ao estresse causado pelo déficit hídrico é o acúmulo de moléculas osmoprotetoras, as quais auxiliam na tolerância das plantas sob baixa disponibilidade de água, como alguns açúcares e compostos detentores de nitrogênio (AKITHA & GIRIDHAR 2015, HOSSAIN et al., 2014).

Neste sentido, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do estresse por temperatura e da restrição hídrica sobre o desempenho fisiológico e bioquímicos de sementes e plantas de trigo.

2.2 Material e métodos

O trabalho foi conduzido nos Laboratórios de Didático de Análise de Sementes e de Biosementes, no do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas, situada à altitude de 13 m, 31° 52' de latitude Sul e 52° 21' de longitude Oeste. O trabalho foi dividido em dois estudos, sendo:

Estudo I

Foram testados potenciais osmóticos visando simular a influência da restrição hídrica em sementes e plântulas de trigo. Para isso estabeleceu-se o pré-teste utilizando os potenciais osmóticos de -0,15; -0,30; -0,45; -0,60 e foi estabelecido o potencial osmótico de - 0,30 MPa como estressor aceitável no desempenho fisiológico das sementes, sendo aplicado da mesma forma em todos os tratamentos do estudo. A simulação foi por meio de solução de água e polietilenoglicol (PEG-6000).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x13, sendo duas temperaturas e treze cultivares de trigo, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos da combinação de duas temperaturas (20 e 30 °C), e treze cultivares (CD 1303, Tbio Sinuelo, CD 1440, CD 1104, CD 1550, Tbio Sintonia, Tbio Noble, CD 151, Tbio Mestre, Tbio Toruk, Tbio Selete, CD 1252, CD 150).

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

a) Germinação: avaliada por meio de quatro amostras com quatro subamostras de 50 sementes para cada tratamento, sendo as sementes dispostas para germinar entre três folhas de papel de germinação, umedecido com 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram mantidos em câmara de germinação do tipo BOD a temperatura correspondente a cada tratamento, ou seja, 20°C ou 30°C,

com fotoperíodo de 12 horas. A contagem foi realizada aos oito dias após semeadura e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

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

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

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

e) Massa seca de plântulas: avaliada aos oito dias após a semeadura. Para determinação da massa seca, foram coletadas quatro subamostras de 10 plântulas por tratamento, sendo as plântulas, separadas em parte aérea e raízes. Cada fração foi colocada separadamente em envelopes de papel pardo e submetida à secagem em estufa de circulação de ar forçado, à temperatura de $70 \pm 2^\circ\text{C}$, até massa constante. A massa seca foi determinada em balança de precisão e os resultados foram expressos em mg plântula^{-1} .

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

Estudo II

Estabelecido a partir da análise dos dados do estudo I. Para a seleção dos materiais deste estudo foram utilizados dados de massa seca de parte aérea de plântulas submetidas à temperatura de 30°C , os quais foram submetidos à análise de variância e, sendo significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, foram

submetidos a análise de médias pelo teste de tukey a 5% de probabilidade (Tabela 1).

A partir disto, selecionou-se duas cultivares com desempenho adequado/tolerante considerado como superior e de uma cultivar com desempenho inferior e sensível aos estresses. A Toruk e a CD 1104 foram àquelas de superior desempenho, enquanto, a CD 1303 de desempenho inferior.

Tabela 1 - Massa seca de parte aérea de plântulas de trigo de diferentes cultivares submetidas a temperatura de 30°C durante a germinação, Capão do Leão, 2018

	Massa seca de parte aérea (mg planta ⁻¹)
CD 1303	4.80 c
Tbio Sinuelo	5.55 b
CD 1440	5.75 b
CD 1104	6.07 b
Tbio Sintonia	5.92 b
Tbio Noble	5.67 b
CD 151	6.07 b
Tbio Mestre	5.86 b
Tbio Toruk	6.87 a
Tbio Seletto	6.20 b
CD 1252	5.87 b
CD 150	5.87 b
Tbio Sinuelo	5.55 b

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

Após a seleção das cultivares, iniciou-se o estudo II propriamente dito, quando as sementes foram dispostas para germinar sob três folhas de papel de germinação, umedecido com 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram mantidos em câmara de germinação do tipo BOD a temperatura de 30°C, com fotoperíodo de 12 horas, conforme descrito por Brasil (2009). No oitavo dia após a semeadura realizou-se a coleta de plântulas que foram usadas para determinação da atividade enzimática e da composição química.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x5, sendo três cultivares e cinco potenciais osmóticos, com quatro

repetições. Os tratamentos foram constituídos da combinação de três cultivares (CD 1104, Tbio Toruk e CD1303) e de cinco potenciais osmóticos (0; -0,15; -0,30; -0,45; -0,60 MPa).

Para a avaliação do efeito do estresse por restrição hídrica sobre o desempenho bioquímico de plântulas das cultivares sob as diferentes condições ambientais estressoras foram efetuadas as seguintes análises:

Teores de açúcares solúveis totais: as dosagens dos teores de açúcares solúveis totais (AST) foram realizadas com base na metodologia descrita por Grahmam & Smydzuk (1965). Alíquotas de 0,02 mL de cada amostra, devidamente diluídas, e de um branco e padrões (15-200 μ g de glicose/mL), foram pipetadas em tubos de ensaio previamente resfriados em banho de gelo. Em seguida, foi adicionado 3 mL de solução de antrona resfriada (0,15% em H₂SO₄ 70%) por tubo. Os tubos foram imediatamente tapados com bolas de vidro e, após 15min de incubação, agitados e levados a banho-maria à temperatura de 90°C por 20 min. Posteriormente, transferidos para ambiente sem luz até atingir a temperatura ambiente, quando então, foram agitadas e realizadas as leituras das densidades ópticas a 620 nm. O teor de açúcares solúveis totais foi expresso em mg. g⁻¹ MF.

Teor de amido: Os teores de amido, foram determinados com base na metodologia descrita por McCready et al. (1950). Utilizou-se 20 μ L de etanol 85%, para cada amostra macerada, no qual foram agitadas e centrifugada por 15 minutos a 3000 rpm. O precipitado foi colocado em tubo de ensaio e adicionado 20 ml de H₂SO₄ 0,2 N, agitado e levado para o banho maria a 100°C por 2 horas. Uma alíquota de 0,1 ml, 0,9mL de água destilada com 3 mL de antrona foi levada ao banho maria por 3 minutos e deixada a temperatura ambiente para posterior efetuado a leitura em espectrofotômetro a 620 nm. Os resultados foram expressos em μ g amido hidrolisado g⁻¹ de MF.

Teor de Proteínas Totais Solúveis: Empregou-se o método proposto por Bradford (1976). As leituras foram efetuadas em espectrofotômetro a 595 nm e comparadas com a curva-padrão de caseína a 1%, sendo o teor protéico da amostra expresso em mg de proteína. g⁻¹ de matéria fresca.

Atividade Enzimática Antioxidante: O sistema enzimático antioxidante foi avaliado através da atividade específica das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX). As amostras de tecido foliar e radicular (aproximadamente, 250 mg) foram maceradas com auxílio de nitrogênio

líquido (N₂) e polivinilpolipirrolidona (10 %), sendo homogeneizados em 1,5 mL do tampão de extração fosfato de potássio 100 mM pH 7,8, contendo EDTA 0,1 mM e ácido ascórbico 10 mM. O homogeneizado foi centrifugado a 13.000 g, por 20 minutos, a 4 °C e o sobrenadante, coletado para determinação da atividade das enzimas e para a quantificação das proteínas pelo método de Bradford (1976).

A SOD (EC 1.15.1.1) foi avaliada pela capacidade da enzima em inibir a fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT) (Giannopolis & Ries, 1977), em um meio de reação composto por fosfato de potássio 100 mM pH 7,8, metionina 14 mM, EDTA 0,1 µM, NBT 75 µM e riboflavina 2 µM. A placa com o meio de reação e a amostra foram iluminados por 10 minutos, com uma lâmpada fluorescente de 20 W. Um controle, contendo o mesmo meio de reação sem a amostra foi iluminado e um branco, contendo o meio de reação sem amostra e o meio de reação, permaneceu no escuro. As leituras foram realizadas a 560 nm e o cálculo da enzima foi realizado com base na equação: % de inibição = (A560 amostra com extrato enzimático – A560 controle sem enzima) / (A560 controle sem enzima), considerando que uma unidade da SOD corresponde à quantidade de enzima capaz de inibir em 50 % a fotorredução do NBT nas condições de ensaio. Os resultados foram expressos em (Umg⁻¹ de proteína).

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

A CAT foi realizada como descrito por Azevedo et al. (1998), com base no consumo de H₂O₂ (coeficiente de extinção 39,4 mM cm⁻¹). O meio de reação foi composto por tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), H₂O₂ 12,5 mM, água e o extrato enzimático, sendo a atividade monitorada pelo decréscimo na absorbância a 240 nm durante dois minutos incubado a 28°C. Os resultados foram expressos em µmol H₂O₂ min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

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

2.3 Resultados e discussão

Estudo I

Não foi constatada interação significativa entre os fatores temperatura e cultivares para as variáveis massa seca de raízes e comprimento de parte aérea. Contudo, para as variáveis germinação, índice de velocidade de germinação, primeira contagem de germinação, massa seca e comprimento de raiz primária foi verificada interação entre os fatores temperatura e cultivar (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância com os quadrados médios da germinação (GER), índice de velocidade de germinação (IVG), primeira contagem de germinação (PCG), massa seca de parte aérea (Wpa), massa seca de radícula (Wr), comprimento de parte aérea (Cpa) e comprimento de radícula (Cr), Capão do Leão, 2018

F. V.	G. L.	QUADRADOS MÉDIO ⁽¹⁾						
		IVG	PCG	G	WPA	WR	CPA	CR
Cultivares (C)	12	18,79*	361,46*	311,22*	1,17*	4,59*	2,08*	19,49*
Temperaturas (T)	1	158,02*	7,04*	345,04*	122,8*	106,51*	452,57*	2,24ns
T x C	12	4,03*	146,49*	138,67*	0,54*	0,68ns	1,49ns	6,65*
Resíduo	75	0,86	22,26	17,18	0,23	0,49	0,84	1,25
CV (%)		4,33	5,45	4,61	10,11	10,37	13,85	10,91

Nível de significância (P = *5%).

Quando dispostas a germinar sob temperatura de 20 °C, as cultivares Tbio Sinuelo, CD 1104, Tbio Sintonia, CD 151 e Tbio Mestre atingiram inferioridade nos valores de germinação em relação às demais cultivares (Tabela 2). Já quando disposta pra germinar sob temperatura de 30 °C, as cultivares CD 1303, CD 1440, Tbio Noble, Tbio Toruk e Tbio Seletto se sobressaíram as demais nos valores de germinação, enquanto que as cultivares CD 151 e Tbio Mestre atingiram resultados inferiores (Tabela 3).

As cultivares CD 151, Tbio Mestre, CD 1252 e CD 150 atingiram valores superiores de germinação quando submetidas a temperatura de 20°C, em relação a temperatura de 30°C, enquanto que a cultivar Tbio Sinuelo atingiu superioridade nos valores de germinação na temperatura de 30°C, comparativamente a temperatura de 20°C. As demais cultivares não demonstraram diferenças significativas nos valores de germinação entre as duas temperaturas testadas (Tabela 3).

O processo germinativo é influenciado por diversos fatores ambientais, entre eles a temperatura e a umidade do solo. A restrição de água pode prolongar a protrusão radicular e a formação da nova plântula, atrasando assim, o adequado desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da planta (PESKE et al., 2012). Em período em que a semeadura em campo é seguida de período de restrição hídrica, tanto o processo de germinação como a emergência são retardados, ocasionando também a desuniformidade no estabelecimento do estande de plantas e a ocorrência de plantas dominadas (AUMONDE et al., 2017). É interessante destacar que temperaturas acima do ótimo para a cultura podem afetar negativamente o processo de retomada do crescimento do embrião, resultando em efeitos drásticos no estabelecimento inicial, quando combinada com a restrição hídrica (CARVALHO & NAKAGAWA, 2012; TAIZ & ZEIGER, 2013).

Na temperatura de 20 °C, as cultivares CD 1303, CD 1440 e CD 1252 alcançaram superioridade nos valores de índice de velocidade de germinação (IVG), enquanto que as cultivares Tbio Sinuelo, CD 1104, Tbio Noble e Tbio Toruk demonstraram o pior desempenho. De modo semelhante, quando avaliada a germinação na temperatura de 30 °C, as cultivares CD 1303, CD 1440, Tbio Seletto e CD 1252 se mostram superiores, sendo constatado os menores valores de IVG para as cultivares Tbio Sinuelo, CD 1104, Tbio Mestre e CD 150 (Tabela 3).

Com exceção das cultivares CD 1440 e Tbio Mestre, que não atingiram diferenças significativas entre os valores de IVG entre as temperaturas de 20 e 30°C, todas as demais alcançaram resultados superiores quando expostas a germinar sob temperatura de 30°C.

O índice de velocidade de germinação se constitui de avaliação do vigor das sementes e pode ser influenciado pelo ambiente de cultivo e desempenho diferencial da cultivar conforme a condição ambiental imposta. O menor índice de velocidade de germinação sob condição de estresse indica influência negativa sobre a semente, uma vez que quando desta ocorrência, infere-se que houve menor número de

sementes germinadas por dia. A temperatura de 20°C, no trigo que é cultivo de inverno, é mais adequada a retomada do processo de retomada do crescimento comparativamente a 30°C (BRASIL, 2009).

Tabela 3 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa temperatura X cultivar para as variáveis germinação (GER), índice de velocidade de germinação (IVG) e primeira contagem de germinação (PCG) em cultivares de trigo sob restrição hídrica e diferentes temperaturas, Capão do Leão, 2018

	GER		IVG		PCG	
	20 °C	30 °C	20 °C	30 °C	20 °C	30 °C
CD 1303	93 Aa	98 Aa	22.54 Ba	24.49 Aa	84 Bb	97 Aa
Tbio Sinuelo	83 Bb	89 Ab	18.33 Bc	21.74 Ac	76 Bc	84 Ac
CD 1440	99 Aa	98 Aa	23.41 Aa	24.49 Aa	98 Aa	98 Aa
CD 1104	86 Ab	87 Ab	18.37 Bc	21.08 Ac	82 Ab	85 Ac
Tbio Sintonia	84 Ab	86 Ab	19.79 Bb	22.24 Ab	84 Ab	85 Ac
Tbio Noble	94 Aa	93 Aa	16.99 Bc	22.29 Ab	82 Ab	89 Ac
CD 151	87 Ab	72 Bd	20.87 Bb	22.99 Ab	77 Ac	72 Ae
Tbio Mestre	89 Ab	71 Bd	20.66 Ab	21.29 Ac	85 Ab	71 Be
Tbio Toruk	93 Aa	93 Aa	17.87 Bc	22.79 Ab	86 Ab	91 Ab
Tbio Seletto	97 Aa	95 Aa	20.66 Bb	23.54 Aa	92 Aa	91 Ab
CD 1252	98 Aa	91 Bb	22.54 Ba	24.54 Aa	96 Aa	91 Ab
CD 150	96 Aa	80 Bc	20.16 Bb	21.50 Ac	96 Aa	79 Bd
CV (%)	4.61		4.33		5.45	

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

Os valores de primeira contagem de germinação (PCG), para a temperatura de 20 °C, foram superiores para as cultivares CD 1440, Tbio Seletto, CD 1252 e CD 150, em contrapartida, inferioridade nos valores foram constatadas para as cultivares Tbio Sinuelo e CD 151 (Tabela 2). Já, para a temperatura de 30 °C, as cultivares CD 1303 e CD 1440, atingiram superior desempenho, enquanto que as cultivares CD 151 e Tbio Mestre apresentaram resultados inferiores (Tabela 3).

As cultivares Tbio Mestre e CD 150 obtiveram maiores valores de PCG quando submetidas a temperatura de 20 °C comparativamente a temperatura de

30°C. No entanto, as cultivares CD 1303 e Tbio Sinuelo apresentaram superioridade quando em temperatura de 30 °C (Tabela 3).

O efeito de restrição hídrica associada a altas temperaturas sobre o vigor da semente pode ser relacionado à redução da hidrólise de reservas para a plântula e a perda de carboidratos pelo processo respiratório. Segundo Melo et al. (2004), o aumento da temperatura resulta em altas taxas de respiração, ainda de acordo com Peske et al. (2012) temperaturas elevadas durante o processo germinativo resultam na perda de carbono pela alteração do processo respiratório.

Para a temperatura de 20°C, as cultivares CD 1440, CD 1104, Tbio Noble, CD 151, Tbio Mestre, Tbio Toruk, Tbio Seletto e CD 150 atingiram superioridade nos valores de massa seca de parte aérea (W_{pa}) comparativamente as demais cultivares. Contudo, para a temperatura de 30 °C, a cultivar com resultados superiores foi a Tbio Toruk, sendo que a cultivar CD 1303 atingiu inferioridade nos valores de W_{pa} (Tabela 4). Para todas as cultivares analisadas, foi constatada superioridade dos valores de W_{pa} sob temperatura de 30 °C (Tabela 4).

A matéria seca alocada em parte aérea ou raiz depende de fatores fisiológicos inerentes a eficiência da própria planta, mas também pode ser decorrente da influência do efeito cultivar ou ambiente (LOPES & LIMA, 2015).

Os valores de comprimento de raiz (C_r) na temperatura de 20°C, foram superiores para as cultivares CD 1440, Tbio Sintonia, Tbio Noble, Tbio Seletto, CD 1252 e CD 150. Já a cultivar Tbio Mestre obteve inferioridade nos valores. Para a temperatura de 30 °C, as cultivares CD 1440, Tbio Noble e CD 1252 atingiram superioridade nos valores de C_r , enquanto que as cultivares CD 1303, Tbio Sintonia, CD 151 e Tbio Mestre apresentaram desempenho inferior (Tabela 4).

Para as cultivares CD 1303 e Tbio Sintonia, constatou-se valores de C_r superiores sob temperatura de 20°C, comparativamente a temperatura de 30 °C. Em contrapartida, a cultivar Tbio Sinuelo atingiu superioridade sob temperatura de 30°C (Tabela 4).

Tabela 4 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa temperatura X cultivar para as variáveis massa seca de parte aérea (W_{pa}) e comprimento de raiz (C_r) em plântula de cultivares de trigo sob influência de diferentes temperaturas, Capão do Leão, 2018

	W_{pa} (mg planta ⁻¹)		C_r	
	20 °C	30 °C	20 °C	30 °C
CD 1303	3,15 Bb	4,8 Ac	10,32 Ab	6,99 Bc
Tbio Sinuelo	2,96 Bb	5,55 Ab	9,49 Bb	11,24 Ab
CD 1440	4,16 Ba	5,75 Ab	12,23 Aa	13,33 Aa
CD 1104	3,62 Ba	6,07 Ab	10,17 Ab	10,75 Ab
Tbio Sintonia	3,41 Bb	5,92 Ab	11,21 Aa	7,22 Bc
Tbio Noble	4,18 Ba	5,67 Ab	11,20 Aa	12,48 Aa
CD 151	3,62 Ba	6,07 Ab	9,25 Ab	8,19 Ac
Tbio Mestre	3,79 Ba	5,86 Ab	7,64 Ac	7,23 Ac
Tbio Toruk	3,81 Ba	6,87 Aa	9,92 Ab	10,41 Ab
Tbio Seleto	4,08 Ba	6,2 Ab	11,18 Aa	9,81 Ab
CD 1252	2,82 Bb	5,87 Ab	11,53 Aa	12,54 Aa
CD 150	3,74 Ba	5,87 Ab	10,94 Aa	11,22 Ab
CV (%)	10,11		10,91	

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

Os valores de massa seca de raízes (W_r) e comprimento de parte aérea (C_{pa}) foram superiores para a temperatura de 30°C, comparativamente a temperatura de 20°C.

Tabela 5 – Massa seca de raízes (W_r) e comprimento de parte aérea (C_{pa}) de plântula de diferentes cultivares de trigo submetidas a temperaturas diferenciadas durante a germinação, Capão do Leão, 2018

	W_r (mg planta ⁻¹)	C_{pa} (cm)
Temperatura		
20 °C	5,73 b	4,45 b
30 °C	7,84 a	8,79 a
CV(%)	10,37	13,85

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

O comprimento de parte aérea (Cpa) não diferiu entre as plântulas das diferentes cultivares estudadas (Tabela 6).

Os valores de massa seca de raízes (W_r) foi superior para plântulas das cultivares CD 1303, Tbio Sintonia, Tbio Noble e CD 1252, enquanto que inferioridade nos valores foram constatadas para as cultivares Tbio Sinuelo, CD 1104 e Tbio Mestre (Tabela 6).

Tabela 6 –Comprimento de parte aérea (Cpa) Massa seca de raízes (W_r) de plântula de diferentes cultivares de trigo submetidas a temperaturas diferenciadas durante a germinação, Capão do Leão, 2018

Cultivar	C _{pa}	W _r
CD 1303	6,27 a*	7,36 a
TBIO SINUELO	7,18 a	5,51 c
CD 1440	7,32 a	6,63 b
CD 1104	6,92 a	5,81 c
TBIO SINTONIA	6,87 a	7,42 a
TBIO NOBLE	6,07 a	7,56 a
CD 151	5,85 a	6,81 b
TBIO MESTRE	6,21 a	6,12 c
TBIO TORUK	7,37 a	6,56 b
TBIO SELETO	6,58 a	6,92 b
CD 1252	6,23 a	8,14 a
CD 150	6,56 a	6,57 b
CV (%)	13,85	10,37

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

Percebe-se variabilidade de resposta nas cultivares conforme a temperatura e variável analisada. Contudo, a massa seca alocada em plântula possui relação a eficiência da semente em hidrolisar, metabolizar, translocar e estocar compostos na nova plântula a partir das reservas armazenadas no endosperma, as quais, são usadas para o suprimento de compostos carbonados e nitrogenados (AUMONDE et al., 2017; PESKE et al., 2012). Logo, a superior massa seca alocada em plântula pode manter estreita relação ao vigor da semente, assim, com a tolerância ao estresse ambiental (PESKE et al., 2012).

Estudo II

A partir da análise dos dados foi constatada interação significativa entre os fatores potencial osmótico e cultivares para as variáveis proteína, açúcares solúveis totais (AST), amido, catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e superóxido dismutase (SOD) (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância com os quadrados médios da proteína, açúcares solúveis totais (AST), amido, catalase (CAT), ascorbato peroxidase (APX) e superóxido dismutase (SOD) em cultivares de trigo sob restrição hídrica, Capão do Leão, 2018

FV	GL	Quadrados médios					
		Proteína	AST	Amido	SOD	CAT	APX
Cultivares (C)	2	10082,7*	636,3*	731990,7*	3,56*	0,00001*	0,00005*
Potencial osmótico (PO)	4	894,9*	7616,6*	655121,9*	1,77*	0,00001*	0,00001*
C x PO	8	249,01*	350,5*	50680,3*	0,51*	0,00001*	0,01*
Resíduo	45	73,09	62,7	15251,9	0,06	0,01	0,01
CV (%)		11,6	10,5	8,4	16,0	17,9	10,2

Nível de significância (P = *5%).

Não foi verificada diferença significativa nos valores de AST entre plântulas das diferentes cultivares entre o controle (sem restrição hídrica). Os valores de açúcares solúveis totais (AST) foram superiores em plântulas desenvolvidas em potencial hídrico de -0,60 Mpa, nas três cultivares avaliadas (Tabela 8). Não foram constatadas diferenças significativas para os valores de AST entre as cultivares quando comparou-se o controle (sem restrição hídrica) e o potencial osmótico -0,60 MPa. A cultivar CD 1104 atingiu inferioridade nos valores de AST sob os potenciais osmóticos de -0,15; -0,30 e -0,45 Mpa (Tabela 8), enquanto a Tbio Toruk e a CD1303, mantiveram-se superiores e iguais entre si nos potenciais de -0,15 e -0,30 Mpa.

O aumento da quantidade de açúcares solúveis é um dos fatores que mantém relação ao incremento da restrição hídrica. Carboidratos podem ser modificados quali-quantitativamente em resposta ao estresse hídrico, tendo a elevação destes compostos função sinalizadora no ajuste osmótico ou manutenção da integridade

celular durante o período desfavorável imposto. Sendo que uma resposta metabólica que está associada ao estresse causado pelo déficit hídrico é o acúmulo de moléculas osmoprotetoras, que auxiliam na tolerância das plantas sob baixa disponibilidade de água, como açúcares (trealose, sacarose e frutose), aminoácidos (prolina e triptofano) e compostos de amônio (AKITHA & GIRIDHAR, 2015, HOSSAIN et al., 2014).

A diferença na quantidade de AST entre diferentes cultivares mantidas em uma mesma condição hídrica, pode estar relacionada a superior ou inferior resposta do material ao ambiente estressor e assim a sua tolerância ou sensibilidade.

As plântulas originadas de sementes germinadas sob adequado potencial osmótico (sem restrição hídrica) atingiram os menores valores de teor de amido. Neste sentido, com a redução do potencial osmótico até 0,60 MPa, ocorreu o aumento da concentração de amido nas plântulas, para todas as cultivares.

Quando o potencial hídrico foi reduzido para -0,15; -0,30; -0,45 e 0,60 MPa aumentando progressivamente a restrição hídrica, a cultivar CD 1303 atingiu superioridade para concentração de amido, comparativamente as cultivares Tbio Toruk e CD 1104 (Tabela 8).

A maior concentração de amido, conforme o aumento da restrição hídrica, pode estar relacionada ao acúmulo destes metabólitos originado possivelmente pela restrição à hidrólise das reservas de amido, podendo ser também oriundos de distúrbios ocasionados pela deficiência de água nos tecidos do floema, diminuindo a sua translocação para outros órgãos da planta (CARVALHO, 2005).

Para teores de proteína, constatou-se que a cultivar CD 1303 atingiu os maiores conteúdos de proteína, para todas as situações hídricas analisadas (Tabela 8). Valores superiores foram atingidos por plântulas expostas aos potenciais hídricos -0,45 e -0,60 MPa para as cultivares Tbio Toruk e CD 1303, entretanto foi observada superioridade nos valores de proteína para os potenciais hídricos -0,30 e 0,60 MPa para a cultivar CD 1104.

No tratamento controle (ausência de restrição hídrica) a cultivar CD1104 foi superior para a SOD, questão que tende a ser característica da cultivar. Entretanto, ao reduzir o potencial osmótico (-0,15 até -0,60 MPa), a atividade da enzima SOD apresentou superioridade na Tbio Toruk comparativamente às demais (Tabela 9). A atividade da enzima superóxido dismutase (SOD), para todas as cultivares, foi

superior em plântulas expostas aos potenciais osmóticos de -0,15; -0,45 e -0,60 MPa, para todas as cultivares analisadas.

Tabela 8 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa potencial osmótico X cultivar para as variáveis açúcares solúveis totais, amido e proteína em cultivares de trigo expostas a restrição hídrica, Capão do Leão, 2018

Açúcares solúveis totais (mg g ⁻¹ MF)			
Potencial osmótico (MPa)	Cultivar		
	Tbio Toruk	CD 1104	CD 1303
0,00	46,78 Ac	48,89 Ac	40,45 Ac
- 0,15	70,59 Ab	48,97 Bc	69,17 Ab
- 0,30	77,42 Ab	57,21 Bc	69,02 Ab
- 0,45	81,27 Bb	77,15 Bb	103,71 Aa
- 0,60	117,73 Aa	110,13 Aa	105,76 Aa
CV (%) 10,5			
Amido (µg g ⁻¹ MF)			
Potencial osmótico (MPa)	Cultivar		
	Tbio Toruk	CD 1104	CD 1303
0,00	965,15 Ac	1185,69 Ab	1054,84 Ab
- 0,15	1209,24 Bb	1376,87 Ba	1755,92 Aa
- 0,30	1385,8 Ba	1505,24 Ba	1794,73 Aa
- 0,45	1417,22 Ba	1500,44 Ba	1820,45 Aa
- 0,60	1477,26 Ba	1585,38 Ba	1920,48 Aa
CV (%) 8,4			
Proteína (mg g ⁻¹ MF)			
Potencial osmótico (MPa)	Cultivar		
	Tbio Toruk	CD 1104	CD 1303
0,00	44,56 Bb	55,86 Bb	85,06 Ab
- 0,15	50,44 Cb	65,08 Bb	112,53 Aa
- 0,30	43,72 Cb	70,53 Ba	90,61 Ab
- 0,45	63,45 Ba	64,23 Bb	102,35 Aa
- 0,60	72,5 Ba	79,1 Ba	101,54 Aa
CV (%) 11,6			

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

Para a catalase (CAT), indiferentemente a condição hídrica imposta, a maior atividade ocorreu na Tbio Toruk (Tabela 9). A atividade da enzima CAT foi superior para plântulas submetidas às condições hídricas de -0,15; -0,30 e -0,60 Mpa para as cultivares CD 1104, Tbio Toruk e CD 1303, respectivamente.

A atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) atingiu superioridade nos valores do controle (ausência de restrição hídrica), e para os potenciais osmóticos - 0,15 e -0,30 MPa para a Tbio Toruk. No entanto, valores superiores da APX foram constatados em plântulas expostas ao potenciais -0,30 MPa e na testemunha (sem PEG) para a para a CD 1104 e CD 1303, respectivamente.

Tabela 9 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa potencial osmótico X cultivar para superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) em cultivares de trigo expostas a restrição hídrica, Capão do Leão, 2018

SOD (unidades.min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)			
Potencial osmótico (MPa)	Cultivar		
	Tbio Toruk	CD 1104	CD 1303
0,00	0,8163 Bc	1,1723 Ab	0,8173 Bb
- 0,15	2,5718 Aa	1,565 Ba	1,287 Ba
- 0,30	1,7625 Ab	1,3285 Bb	1,0783 Bb
- 0,45	2,369 Aa	1,4955 Ba	1,199 Ca
- 0,60	2,4808 Aa	1,6555 Ba	1,4763 Ba
CV (%) 16,0			
CAT (μmol H ₂ O ₂ .min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)			
Potencial osmótico (MPa)	Cultivar		
	Tbio Toruk	CD 1104	CD 1303
0,00	0,0004 Ac	0,0003 Bb	0,0002 Cd
- 0,15	0,0005 Ab	0,0003 Ba	0,0002 Cc
- 0,30	0,0005 Aa	0,0002 Cd	0,0002 Bb
- 0,45	0,0003 Ae	0,0002 Be	0,0002 Ce
- 0,60	0,0003 Ad	0,0002 Cc	0,0003 Ba
CV (%) 17,9			
APX (μmol Ascorb. min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)			
Potencial osmótico (MPa)	Cultivar		
	Tbio Toruk	CD 1104	CD 1303
0,00	0,0056 Aa	0,0046 Bb	0,0039 Ca
- 0,15	0,0059 Aa	0,0049 Bb	0,0018 Cc
- 0,30	0,0052 Ba	0,0072 Aa	0,0026 Cb
- 0,45	0,0046 Ab	0,0042 Ab	0,0012 Bd
- 0,60	0,0039 Ac	0,0035 Ac	0,0021 Bc
CV (%) 10,2			

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

A cultivar Tbio Toruk atingiu maior atividade da enzima APX para o tratamento ausência de restrição hídrica e para o potencial osmótico -0,15 e -0,60 MPa, sem

diferir da CD 1104. Já a cultivar CD 1104 demonstrou superioridade na atividade de APX para o potencial osmótico -0,30 MPa (Tabela 9).

As plantas podem apresentar mecanismos de defesa, enzimáticos e não enzimáticos, que possuem a capacidade de neutralizar a ação citotóxica das espécies reativas de oxigênio (BARBOSA, et al., 2014). Neste sentido, os referidos mecanismos antioxidantes, são capazes de evitar a formação de radicais livres, sequestra-los ou então, promover a sua degradação, prevenindo desta forma, os danos às células das plantas (SERKEDJIEVA, 2011), merecendo destaque as enzimas antioxidantes superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e catalase.

As superóxido-dismutase são consideradas a primeira linha de defesa contra as ROS, e participam da modulação do nível do H_2O_2 em cloroplastos, mitocôndrias, citosol e peroxissomos (BHATTACHARJEE, 2010). Enquanto, a catalase é uma das principais enzimas que atuam na eliminação do H_2O_2 gerado durante a fotorrespiração e a beta-oxidação dos ácidos graxos, atuando nos peroxissomos e glioxissomos, podendo também ser encontrada em mitocôndrias, onde converte duas moléculas de H_2O_2 a H_2O e oxigênio molecular (BARBOSA, et al., 2014; DUBEY, 2011). A ascorbato peroxidase possui alta afinidade com o H_2O_2 , possibilitando a eliminação do H_2O_2 mesmo em concentrações baixas (LOCATO et al., 2010).

De maneira geral, a redução do potencial osmótico até -0,60 MPa, resultou em um maior conteúdo de açúcares solúveis totais, amido e proteínas em plântulas provenientes da cultivar selecionada como de maior sensibilidade a restrição hídrica (CD 1303).

Em relação a atividade enzimática antioxidantes, o incremento da restrição hídrica favoreceu a elevação da SOD e CAT, em todas as cultivares analisadas, questão que pode ser relacionada a produção, possível acúmulo e tentativa de eliminação de substâncias tóxicas às plântulas em resposta ao estresse imposto pela condição hídrica desfavorável as sementes e plântulas das cultivares de trigo.

A maior atividade das enzimas SOD, CAT e APX ocorreram na cultivar Tbio Toruk quando submetida as maiores restrições hídricas ao reduzir os potenciais osmóticos, evidenciando que maior tentativa de remoção de radicais livres com vistas a evitar danos ao sistema celular.

2.4 Conclusões

Em trigo sob influência de diferentes condições hídricas e térmicas, conforme a cultivar, ocorre desempenho diferencial quanto aos atributos da germinação, vigor e do crescimento inicial.

As cultivares CD 1104 e Toruk apresentam superior alocação de massa seca em situação de restrição hídrica.

Os teores de açúcares solúveis totais, amido e proteína são superiores em plântulas expostas a restrição hídrica, com maiores valores no potencial -0,60 MPa.

A restrição hídrica influencia distintamente na atividade da SOD, CAT e APX conforme a cultivar, tendo a Tbio Toruk, apresentado maior atividade das enzimas SOD, CAT e APX com a redução do potencial osmótico.

3. Capítulo II –Desempenho populacional de plantas de trigo provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor

3.1 Introdução

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma das culturas mais relevantes em todo mundo, devido principalmente à sua importância alimentar, em razão da qualidade e quantidade de proteínas, assim como, pela variedade de produtos derivados (MORI, 2015). No Brasil, a produção é concentrada na região Sul, a qual é responsável pela produção de 6,1 milhões de toneladas, correspondendo a mais de 90% da produção total do Brasil que é de aproximadamente 6,7 milhões de toneladas (CONAB, 2017).

A produção brasileira de trigo atende cerca de 50% na demanda Nacional, fazendo do Brasil um grande importador deste produto. Um dos fatores que remetem a esta situação é a baixa produtividade da cultura, que atinge pouco mais de 3.170 Kg ha⁻¹ e de 3.190 Kg ha⁻¹ na região Sul (CONAB, 2017).

A utilização de sementes de alta qualidade é um dos fatores responsáveis pelo aumento da produtividade das culturas. Nesta relação, o potencial genético e de manejo empregado à cultura é limitado pela qualidade das sementes utilizadas. A qualidade das sementes é definida pelo somatório dos seus atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários (PESKE et al., 2012), que possibilitam o superior desempenho agrônomo, base fundamental para a lavoura tecnicamente bem instalada (FRANÇA NETO et al., 2010).

O atributo fisiológico da qualidade das sementes em termos de germinação e de vigor, pode atuar de forma indireta ou direta sobre a produtividade, sendo os efeitos indiretos atrelados ao percentual de emergência e a velocidade de emergência de plântulas. Os efeitos diretos são relacionados com a capacidade diferencial da planta de acúmulo de massa seca em função do nível de vigor das sementes (SILVA et al., 2010).

O vigor de semente, conforme a AOSA (1983), compreende as propriedades da semente que determinam o potencial para emergência e desenvolvimento rápido e uniforme de plântulas normais, sob ampla diversidade de condições ambientais. A utilização de sementes com baixo vigor pode provocar redução na velocidade e na emergência total de plântulas, na produção de matéria seca, no tamanho da área foliar e nas taxas de crescimento das plantas, podendo afetar o estabelecimento da cultura e o seu desempenho ao longo do ciclo em termos de produtividade (KOLCHINSKI et al., 2005).

Diversos estudos tem apontado o efeito do vigor das sementes sobre a produtividade das culturas, Kolchinski et al, (2006), verificaram que plantas de soja provenientes de sementes de alto vigor apresentam maior índice de área foliar, produção de matéria seca e superioridade de 35% na produtividade em relação àquelas provenientes de baixo vigor, Os incrementos de 30% (SILVA, 2010) e 9% (SCHEEREN et al., 2010) também foram encontrados na cultura da soja, sendo constatado em arroz os acréscimos de produtividade superiores a 20% (MELO et al., 2006; MIELEZRSKI et al., 2008).

A partir do exposto, a utilização de sementes de alto vigor pode favorecer a maior produtividade do trigo, uma vez que sementes de baixo vigor, resultam em efeitos negativos diretos e indiretos sobre a produtividade, já em contrapartida, a utilização de sementes com elevado vigor favorece o estabelecimento do estande, possibilita melhor desenvolvimento inicial de plantas e maior acúmulo de massa seca em plantas.

Assim sendo, o objetivo do estudo foi avaliar o desempenho populacional de plantas de trigo provenientes de sementes com distintos níveis de vigor.

3.2 Material e Métodos

Para a coleta de dados referentes, foram realizados experimentos em condições de campo e em dois locais de cultivo durante a safra agrícola de 2016/17.

O cultivo representante do local 1 decorreu na área experimental da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão – RS (31° 48' 10" de latitude sul e 52° 25' 9" de longitude oeste, e altitude de

67 metros). O Local 2 de cultivo utilizou área pertencente ao município de Nova Boa Vista – RS, (27° 58' 45" de latitude sul e 53° 0' 54" de longitude oeste, e altitude de 421 metros).

Na área do Capão do Leão – RS, o solo é classificado como Albaqualf (USDA, 1999), com características físicas e químicas, na camada de 0-20 cm de pH (H₂O): 5,3; P e K, 55,7 e 88 e mg dm⁻³, respectivamente, Ca, Mg, Al, e CTC_(pH7) com 3,1; 0,9; 0,2 e 7,1 cmolc dm⁻³, respectivamente, e saturação por bases, matéria orgânica e argila com 61; 1,93 e 16%, respectivamente. Na área de Nova Boa vista (Local 2), o solo é classificado com Alfisol (Usda, 1999), possuindo características físicas e químicas na camada de 0-20 cm de pH (H₂O): 5,5; P e K, 8 e 115 e mg dm⁻³, respectivamente, Ca, Mg, Al, e CTC_(pH7) com 7,9; 3,4; 0,1 e 16,5 cmolc dm⁻³, respectivamente, e saturação por bases, matéria orgânica e argila com 70; 3,73 e 62%, respectivamente.

O clima dos dois locais de cultivo é do tipo Cfa, com chuvas bem distribuídas e verão quente, Dados meteorológicos de temperatura máxima e mínima, radiação solar e precipitação, do período de condução dos experimentos estão apresentados na Figura 1.

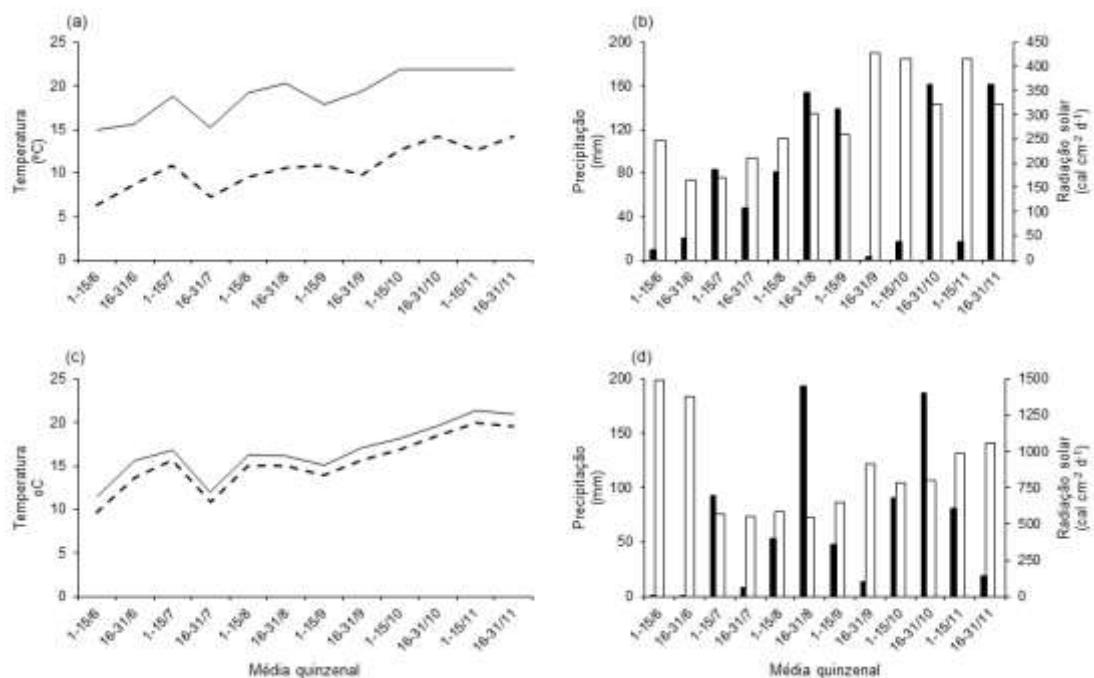


Figura 1 – Temperatura máxima e temperatura mínima, precipitação pluviométrica e radiação solar nos locais de cultivo de Capão do Leão – RS (a, b) e Nova Boa Vista – RS (c, d), durante o desenvolvimento das plantas de trigo.

Para o local 1, os dados climatológicos foram obtidos pela Estação Agroclimatológica de Pelotas-RS, enquanto que para o local 2, foram utilizados dados coletados pela estação meteorológica de Palmeira das Missões-RS.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 x 3 (cultivar x nível de vigor das sementes), com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de três cultivares de trigo (Tbio Toruk, Tbio Mestre e Tbio Iguaçu) e três níveis de vigor (alto, médio e baixo).

As parcelas experimentais foram constituídas de cinco linhas de dois metros de comprimento, com espaçamento de 0,17 metros na entrelinha. A densidade de sementes foi de 394 sementes m² com 10% correção, visando atingir o estande de 350 plantas m². As três linhas centrais de cada parcela foram consideradas como a área útil, sendo desprezados 0,25 m de cada extremidade, configurando a área útil de 1,275 m².

O ranqueamento dos níveis de vigor das sementes de trigo foi realizado no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes da Universidade Federal de Pelotas. Para isso utilizou-se o método do envelhecimento acelerado modificado, que constituiu no acondicionamento das sementes sobre tela metálica fixada no interior de caixas plásticas ("gerbox"), contendo a lâmina de 40 mL de solução salina saturada (PEDROSO et al, 2010).

A partir de lotes iniciais de sementes com alto vigor, de cada cultivar, determinou-se os períodos de envelhecimento acelerado modificado para a obtenção de lotes de médio e baixo vigor, através do emprego de pré-testes. Assim os períodos de envelhecimento utilizados foram de 96 e 108 horas, para as cultivares Tbio Toruk e Tbio Mestre e 84 e 96 horas para a cultivar Tbio Iguaçu. O lote de sementes de alto vigor de cada cultivar não foi submetido ao envelhecimento acelerado.

A qualidade das sementes após o ranqueamento em níveis de vigor foi avaliada visando manter lotes com germinação estatisticamente igual, contudo, com vigor distinto. Para isso, realizou-se o teste de germinação que foi estabelecido a partir de quatro amostras com quatro subamostras de 50 sementes por tratamento. As sementes foram dispostas para germinar em rolos compostos por três folhas de papel de germinação, umedecidas com 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram mantidos em câmara de germinação do tipo BOD a temperatura de 20°C

e fotoperíodo de 12 horas e a avaliação da porcentagem de plântulas normais foi realizada aos oito dias após semeadura (BRASIL, 2009).

Além da germinação, foi avaliado o vigor através do teste de emergência em campo, o qual foi avaliado a partir de quatro amostras de 100 sementes por tratamento, sendo a semeadura realizada em solo, utilizando o espaçamento nas entrelinhas de 0,17 m e a profundidade de semeadura de três centímetros. A avaliação foi realizada 21 dias após a semeadura e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas emergidas.

Posteriormente, para a avaliação do desempenho populacional de plantas quanto aos atributos de rendimento, realizou-se a semeadura manual das diferentes cultivares, visando a criteriosa distribuição das sementes, sendo realizada em 15/06/16 e 18/06/16 no Capão do Leão e em Nova Boa vista, respectivamente.

Em ambos os locais de cultivo utilizaram-se o sistema de semeadura direta, a adubação foi realizada de acordo com análise química prévia e seguindo recomendações do Manual de Adubação e Calagem dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2004), constando de 280 kg ha⁻¹ de NPK (10-20-20) e de duas aplicações de 135 e 100 kg ha⁻¹ de uréia (45% N), as quais foram realizadas nos estádios de afilhamento e alongamento. O controle de pragas e doenças foi realizado de forma preventiva conforme recomendação para a cultura (EMBRAPA, 2017).

A colheita foi realizada quando as sementes atingiram aproximadamente 18% de umidade. Após a colheita, foram submetidas a secagem em secador estacionário, sob temperatura do ar de 40 °C e umidade relativa do ar entre 40 e 70% (PESKE et al., 2012), até atingirem umidade de 12%.

Para a avaliação dos componentes de rendimento foram amostradas aleatoriamente 10 plantas de cada parcela por tratamento, sendo realizadas as seguintes avaliações: Altura de planta (AP); número de espiguetas do afilho principal (Nespta); número de sementes no afilho principal (NsemP); massa de sementes no afilho principal (MsemP); número de afilhos férteis (Naf); número de sementes nos afilhos (NsemA); massa de sementes nos afilhos (MsemA); número de plantas m⁻² (Npla), número de espigas m⁻² (Nesp); produtividade por hectare (Prod).

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e, se significativos, comparados pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

3.3 Resultados e discussão

A caracterização dos lotes de sementes das três cultivares após a realização do envelhecimento acelerado pode ser observado na Tabela 1. O envelhecimento acelerado diferenciou os lotes em três níveis de vigor (alto – 80 a 85%; médio – 71 a 77%; baixo – 60 a 63%) corroborando aos resultados de emergência em campo, contudo, mantendo a germinação sem diferenças estatísticas, indiferentemente da cultivar avaliada.

Tabela 1, Caracterização inicial de lotes de sementes de trigo (*T. aestivum* L.) utilizadas na avaliação do desempenho populacional de plantas, Capão do Leão – RS, 2017

	Envelhecimento acelerado			Germinação			Emergência em campo		
	Toruk	Mestre	Iguaçu	Toruk	Mestre	Iguaçu	Toruk	Mestre	Iguaçu
Alto vigor	85 a*	83 a	80 a	93 a	92 a	88 a	67 a	62 a	60 a
Médio Vigor	77 b	75 b	71 b	90 a	90 a	87 a	54 b	51 b	48 b
Baixo vigor	60 c	63 c	61 c	88 a	90 a	88 a	41 c	41 c	40 c
CV (%)		4,02			3,05			8,82	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey $p \leq 0,05$.

Ao avaliar o desempenho das plantas originadas das sementes de diferentes níveis de vigor, verificou-se para o estudo realizado em Capão do Leão (local 1), que somente a variável altura de plantas demonstrou interação significativa entre os fatores cultivares e níveis de vigor (Tabela 2). Para o estudo realizado em Nova Boa Vista (local 2), a variável número de plantas m^2 demonstrou interação significativa entre cultivares e níveis de vigor. Não foram constatadas diferenças significativas no local 1 de cultivo para o número de plantas por metro quadrado entre as cultivares (Tabela 2).

A utilização de sementes de alto vigor possibilitou a obtenção do maior número de plantas por unidade de área. Mesmo a germinação sendo a mesma entre as sementes dos três lotes, verifica-se que o maior vigor possibilitou o superior

estabelecimento de plantas no campo. Após a semeadura, ocorreu período de precipitação ausente de 11 e 25 dias, respectivamente, nos locais 1 e 2 de cultivo (Figura 1). A falta de precipitação pluviométrica reduziu a umidade do solo, fator que possivelmente, afetou a emergência das plântulas, com efeito mais pronunciado nos tratamentos compostos por sementes de baixo vigor (Tabela 2).

O vigor se expressa principalmente em condições de estresse, tendo relação com a capacidade da semente em metabolizar e utilizar reservas, reorganizar membranas celulares e formar uma nova plântula (AUMONDE et al., 2017). De acordo Schuch et al (2000), é altamente recomendável o uso de lotes sementes de alto vigor para todas as culturas, visando assegurar uma adequada população de plantas sobre uma ampla variação de condições ambientais, possibilitando aumento na produtividade.

Tabela 2, Altura de planta (Alt), número de plantas m² (Npla m²), número de espigas m² (Nesp m²), número de espiguetas espiga⁻¹ no afilho principal (Nespta), número de sementes no afilho principal (NsemP), massa de sementes no afilho principal (MsemP) de plantas de diferentes cultivares de trigo (*T. aestivum* L.) originadas de sementes com três níveis de vigor, Capão do Leão, 2017

	PEL	NBV	PEL	NBV	PEL	NBV	PEL	NBV	PEL	NBV	PEL	NBV
	Alt		Npla m²		Nesp m²		Nespta		NsemP		MsemP	
Cultivar												
Toruk	70,99c*	59,24c	197,67a	254,41a	470,39b	548,53a	14,55 a	13,97b	35,19a	34,27b	1,48a	0,708a
Mestre	79,17b	70,26b	199,46a	254,89a	513,35a	594,92a	14,49 a	13,92b	36,29a	35,97a	1,36a	0,728a
Iguaçu	92,04a	82,03a	212,54a	245,58a	480,55ab	463,57b	13,98 b	14,57a	33,93a	37,17a	1,35a	0,775a
Vigor												
Alto	81,06a	71,26a	233,78a	294,61a	505,01a	578,08a	13,87b	13,95a	32,77b	34,45b	1,32a	0,741a
Médio	80,95a	69,27a	199,83b	248,03b	503,78a	505,79b	14,59a	14,24a	37,23a	36,29a	1,45a	0,737a
Baixo	80,15a	70,99a	176,06b	212,25c	455,51b	523,16b	14,55a	14,27a	35,41ab	36,66a	1,42a	0,734a
Valor de F												
Cultivar (C)	155,4*	167,5*	0,786 ^{ns}	0,537 ^{ns}	2,75 ^{ns}	15,74*	3,38 ^{ns}	4,44*	1,22 ^{ns}	6,55*	2,12 ^{ns}	1,91 ^{ns}
Vigor (V)	0,338 ^{ns}	1,51 ^{ns}	10,05*	33,35*	4,34*	5,05*	5,78*	1,06 ^{ns}	4,379*	4,32*	1,86 ^{ns}	0,019 ^{ns}
C x V	7,301*	0,665 ^{ns}	0,648 ^{ns}	4,68*	1,43 ^{ns}	0,422 ^{ns}	0,926 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,333 ^{ns}	0,457 ^{ns}	0,446 ^{ns}	0,171 ^{ns}
CV (%)	3,65	4,33	15,60	9,84	9,62	13,03	4,08	4,19	10,56	5,52	12,42	11,63

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan p≤0,05.

A altura de plantas foi superior para a Tbio Iguaçu nos três níveis de vigor, enquanto, para a cultivar Tbio Toruk observou-se os menores valores para a variável (Tabela 3). Para a cultivar Tbio Toruk não foram constatadas diferenças significativas na altura das plantas entre os níveis de vigor das sementes. Para a cultivar Tbio Mestre, os valores de altura de plantas foram superiores quando provenientes de sementes de baixo vigor, contudo, sem diferir daquelas provenientes de sementes de alto vigor. Para a cultivar Tbio Iguaçu a altura de plantas foi superior para plantas originadas de sementes de alto e de médio vigor. No mesmo sentido, constataram de plantas provenientes de sementes de alto vigor atingiram maiores valores para a altura de plantas de arroz (MIELEZRSKI et al., 2008) e soja (SCHEEREN et al., 2010).

Tabela 3. Desdobramento dos efeitos simples da interação entre cultivares e níveis de vigor para as variáveis altura de planta no local 1 (Capão do Leão - RS) e número de plantas por metro quadrado no local 2 (Nova Boa Vista - RS), Capão do Leão – RS, 2017

	Altura de planta			Número de plantas m ²		
	Toruk	Mestre	Iguaçu	Toruk	Mestre	Iguaçu
Alto vigor	68,58 aC*	78,20 abB	96,40 aA	330,88 aA	270,59 aB	282,35 aB
Médio vigor	72,96 aC	77,28 bB	92,60 aA	232,35 bA	264,70 abA	247,05 aA
Baixo vigor	71,45 aC	81,87 aB	87,14 bA	199,99 bA	229,41 bA	207,35 bA
CV (%)		3,65			9,84	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan $p \leq 0,05$.

O número de plantas por metro quadrado foi superior ao utilizar sementes de alto vigor na cultivar Tbio Toruk. Para os lotes de médio e baixo vigor não foram constatadas diferenças significativas entre as cultivares Tbio Mestre e Tbio Iguaçu (Tabela 3). Em todas as cultivares, os tratamentos que constaram de sementes de alto vigor atingiram maior número de plantas por metro quadrado, contudo, nas cultivares Tbio Mestre e Tbio Iguaçu não ocorreram diferenças significativas entre sementes de alto e de médio vigor.

As sementes de soja com alto vigor, segundo Henning et al (2010), possuem maiores teores de proteínas solúveis, amido e açúcares solúveis, além disso, maior

capacidade de mobilização de reservas durante o período de germinação, resultando em plântulas com melhor desempenho inicial.

A utilização de sementes de baixo vigor pode provocar redução na velocidade de emergência, na uniformidade e na emergência total de plântulas, no tamanho inicial e no estabelecimento de estandes adequados (SCHUCH, 1999; SCHUCH et al., 2000; SCHUCH & LIN, 1982).

O número de espigas por metro quadrado foi superior para as cultivares Tbio Mestre e Tbio Iguaçu no local 1. No local de cultivo 2, as cultivares Tbio Mestre e Tbio Toruk atingiram superioridade para número de espigas por metro quadrado (Tabela 2). O número de espigas por metro quadrado foi superior quando utilizou-se sementes de alto vigor em ambos os locais de cultivo, sem no entanto, diferir para sementes de médio vigor no local de cultivo 1. A redução do estande de plantas nos tratamentos com sementes de baixo vigor (Tabela 2) pode ser relacionado a redução do número de espigas por área.

Neste sentido, vale destacar que ocorreu aumento do número de afilhos férteis por planta quando foram utilizadas sementes de baixo vigor (Tabela 3). Este resultado, pode ser devido a plasticidade das plantas visando ocupar os espaços decorrentes da falta de plantas na linha de semeadura, contudo, a compensação não ocorreu suficientemente para parear o número de espigas por metro quadrado. Resultados semelhantes foram constatados por Mielezrski et al. (2008), onde foi observado maior número de panículas de arroz para plantas provenientes de sementes com alto vigor.

Os valores de número de espiguetas no afilho principal, no local 1, para as cultivares Tbio Toruk e Tbio Mestre foram superiores em relação aos valores da cultivar Tbio Iguaçu, sem no entanto, diferir significativamente entre si. No local 2, a cultivar Tbio Iguaçu atingiu os maiores valores de número de espiguetas (Tabela 2).

Ao analisar o nível de vigor das sementes, constatou-se que o número de espiguetas no afilho principal foi inferior no local de cultivo 1 ao empregar sementes de alto vigor, entretanto, não foram observadas diferenças significativas entre os valores de número de espiguetas no afilho principal ao analisar o local 2 de cultivo.

Para o número de sementes no afilho principal não foram constatadas diferenças significativas entre as cultivares de trigo cultivadas no local 1, contudo, ao considerar o local 2 de cultivo, as cultivares Tbio Mestre e Tbio Iguaçu atingiram valores superiores, sem no entanto, diferir entre si (Tabela 2).

Em ambos os locais de cultivo, as plantas provenientes de sementes de médio e de baixo vigor apresentaram superioridade para o número de sementes no afilho principal, porém, não diferiram estatisticamente quanto ao lote de sementes de baixo vigor. Em estudo com arroz, o número de sementes por panícula não foi afetado significativamente em plantas provenientes de diferentes níveis de vigor das sementes (MIELEZRSKI et al., 2008).

A massa de sementes no afilho principal não apresentou diferença significativa entre cultivares e nível de vigor das sementes, em ambos os locais de cultivo (Tabela 2). Este resultado aponta que o maior número de sementes formadas em espigas do afilho principal de plantas de trigo originadas de sementes de médio e de baixo vigor, não são suficientes para influenciar na massa de sementes produzida, indicando provável a compensação no período de enchimento das sementes. Neste sentido, o enchimento das sementes pode ter ocorrido de forma mais eficiente em plantas provenientes de sementes de alto vigor.

Em estudo realizado com sementes de arroz irrigado, Hofs et al. (2004), constataram que o emprego de sementes de elevada qualidade fisiológica promove o aumento do rendimento da cultura, em contrapartida, sementes de baixo vigor acarretam desuniformidade da maturação das plantas e na redução da massa de mil sementes.

Ao avaliar o número de afilhos férteis em ambos os locais estudados, não foram constatadas diferenças significativas entre as cultivares (Tabela 3). Plantas provenientes de sementes de baixo vigor atingiram superioridade no número de afilhos férteis para os dois locais de cultivo, contudo, as plantas provenientes de sementes de alto vigor não diferiram estatisticamente daquelas de baixo vigor no local 2 de cultivo.

Os resultados obtidos referentes ao número de afilhos férteis podem estar relacionados com a menor população de plantas estabelecida quando utilizado sementes de baixo vigor (Tabela 2), indicando um efeito de plasticidade das plantas na tentativa de compensar as falhas na linha de semeadura, Conforme descrito por Santos & Mundstock (2002), modificações nas estruturas morfológicas do trigo decorrem de diferenças nas condições do manejo, na densidade de semeadura e na capacidade competitiva e de compensação (plasticidade fenotípica) das cultivares.

Schuch et al. (1999), ao avaliarem o efeito do nível de vigor de sementes na produtividade de aveia, não constataram diferença significativa para os

componentes de rendimento de plantas provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor.

Tabela 4, Número de afilhos férteis (Naf), número de sementes nos afilhos (NsemA), massa de sementes nos afilhos (MsemA) e produtividade ha^{-1} (Prod) de plantas de cultivares de trigo originadas de sementes de três níveis de vigor, Capão do Leão, 2017

	PEL	NBV	PEL	NBV	PEL	NBV	PEL	NBV
	Naf		NsemA		MsemA		Prod	
Cultivar								
Toruk	1,64a*	1,48a	44,15a	39,17a	1,73a	0,636b	5991,02a	4218,31a
Mestre	1,69a	1,63a	51,36a	42,63a	1,72a	0,741ab	5548,93b	4423,57a
Iguaçu	1,78a	1,71a	46,33a	46,09a	1,63a	0,815a	5321,49b	4541,80a
Vigor								
Alto	1,52b	1,60ab	38,68b	42,25ab	1,29c	0,701b	5842,27a	4744,58a
Médio	1,66b	1,46b	45,36b	38,35b	1,69b	0,658b	5858,51a	4174,58b
Baixo	1,94a	1,76a	57,81a	47,3a	2,09a	0,833a	5160,66b	4264,52b
Valor de F								
Cultivar (C)	1,11 ^{ns}	2,32 ^{ns}	1,89 ^{ns}	1,93 ^{ns}	0,306 ^{ns}	4,29*	6,13*	2,02 ^{ns}
Vigor (V)	9,29*	3,70*	12,99*	3,24*	15,714*	4,43*	8,39*	7,09*
C x V	1,06 ^{ns}	0,610 ^{ns}	0,461 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,803 ^{ns}	0,609 ^{ns}	2,06 ^{ns}	1,4 ^{ns}
CV (%)	14,12	16,67	19,73	20,27	20,98	20,49	8,48	9,07

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan $p \leq 0,05$.

O número de sementes produzidas nos afilhos não diferiu entre as cultivares cultivadas em ambos os locais. A massa de sementes avaliadas nos afilhos não diferiu entre as cultivares no local 1, contudo, no local 2, a cultivar Tbio Iguaçu atingiu valores superiores, sem diferir no entanto, da cultivar Tbio Mestre (Tabela 4).

Para nível de vigor de sementes, constatou-se que o número de sementes produzidas em afilhos foi superior ao avaliar plantas provenientes do lote de sementes de baixo vigor nos dois locais, no entanto, plantas provenientes de sementes com alto vigor, não diferiram para àquelas provenientes de sementes de baixo vigor para o número de sementes nos afilhos no local 2 (Tabela 4).

No mesmo sentido da resposta do número de sementes em afilhos, constatou-se que plantas provenientes de lotes de semente com baixo vigor atingiram valores superiores de massa de sementes nos afilhos, em ambos os

locais, já as plantas provenientes de sementes de alto vigor obtiveram os piores resultados no local 1, e sem diferir daquelas provenientes de sementes de baixo vigor no local 2. Esse resultado pode se relacionar com o número de plantas por metro quadrado e com o número de afilhos férteis, significativamente menor para o lote de sementes com baixo vigor.

É perceptível que plantas provenientes de sementes com baixo vigor, buscaram ocupar os espaços sem plantas da linha de semeadura, emitindo maior número de afilhos devido a menor competição entre plantas, conseqüentemente, a produção de sementes nos afilhos foi superior. O efeito da competição entre plantas é determinante na produção de afilhos, com implicações diretas no rendimento de grãos e seus componentes (OZTURK et al., 2006).

A cultivar Tbio Toruk atingiu valores superiores de produtividade no local 1, contudo, não foram evidenciadas diferenças significativas de produtividade entre as cultivares no local 2 (Tabela 4).

A produtividade foi afetada significativamente pelos níveis de vigor de sementes, sendo que os maiores valores foram atingidos quando utilizado sementes de alto vigor, sendo constatada uma diferença de produtividade na ordem de aproximadamente 10 e 11%, o que correspondeu a 480 e 669 kg ha⁻¹ de produtividade em relação a sementes de alto e baixo vigor, nos locais 2 e 1, respectivamente.

Relacionado ao aumento da produtividade, fatores como obtenção de um estande uniforme, maior porcentagem de emergência, maior crescimento inicial de plântulas, aumento da área foliar e massa seca, podem explicar um melhor aproveitamento dos recursos por plantas provenientes de sementes com alto vigor, o que permite a obtenção de um maior potencial produtivo (KOLCHINSKI et al., 2005; MIELEZRSKI et al., 2008; SCHEEREN et al., 2010; SCHUCH et al., 1999; SCHUCH et al., 2000;),

Em estudos com a cultura do arroz (*Oryza sativa* L.), Melo et al. (2006) constataram que comunidades de plantas originadas de sementes de alto vigor atingiram rendimento superior a 20% em relação às comunidades de plantas provenientes de sementes com baixo vigor, resultados semelhantes a esse foram constatados por Mielezrski et al (2008). Em soja (*Glycine max* L, Merrill) vários autores constataram aumentos significativos de produtividade de plantas provenientes de sementes com alto vigor, na proporção de 35% (KOLCHINSKI et al.,

2006), 30% (SILVA, 2010), 9% (SCHEEREN et al., 2010), Entretanto, em estudo com aveia preta (*Avena strigosa* L.), Schuch et al. (1999) não constataram diferenças de produtividade entre plantas provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor.

A partir do exposto, constata-se que a utilização de sementes de alto vigor proporciona um melhor estabelecimento do estande de plantas, refletindo em maior número de espigas por área e maior produtividade de sementes em até 11%. Por outro lado, é perceptível um efeito de plasticidade das plantas provenientes de baixo vigor em virtude da falta de plantas na linha de semeadura, ocorrendo um aumento do número de afilhos férteis e número de sementes nos afilhos. Contudo, esse efeito não é suficiente para compensar a menor população de plantas, afetando negativamente a produtividade de sementes de trigo.

3.4 Conclusões

A utilização de sementes de baixo vigor afeta negativamente o estabelecimento do estande de plantas de trigo.

O emprego de sementes de alto vigor proporciona maior número de plantas de trigo e de espigas por área.

A produtividade foi afetada significativamente pelos níveis de vigor de sementes, sendo constatada acréscimo de até 11% para lote de alto vigor em relação ao de baixo vigor.

4. Capítulo III – Nível de vigor em sementes e respostas ecofisiológicas de plantas de trigo

4.1 Introdução

A produção Brasileira de trigo é de aproximadamente 5,2 milhões de toneladas, produção que atende apenas 50% da demanda Nacional do grão. Neste cenário, contata-se uma baixa produtividade da cultura, de aproximadamente 2,5 t ha⁻¹ (CONAB, 2018). A baixa produtividade pode ser relacionada a condições climáticas adversas, fertilidade dos solos e manejo fitossanitário.

Um fator de fundamental importância para o sucesso produtivo da lavoura, é a qualidade das sementes. O emprego de sementes de alta performance constitui um fator determinante na obtenção de altos tetos produtivos de grãos para diversas culturas, constituindo a base fundamental para a lavoura tecnicamente bem estabelecida (FRANÇA NETO et al., 2010). De acordo com Peske et al. (2012), a qualidade das sementes é definida pelo somatório de atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários.

A germinação e o vigor compõem o atributo fisiológico da qualidade de sementes, este pode atuar de forma direta, pela redução do estande de plantas, ou de forma indireta, devido a capacidade diferencial de acúmulo de massa seca pelas plantas, sobre a produtividade das culturas (KOCH et al., 2017; SILVA et al., 2010). O vigor merece maior importância, e deve ser considerado na implantação de uma lavoura, envolvendo uma série de fatores relacionados com a reestruturação celular, retomada do crescimento do embrião, e uma eficiente metabolização, translocação e alocação das estruturas de armazenamento da semente para a plântula em desenvolvimento (AUMONDE et al., 2017a).

A análise de crescimento pode ser empregada para a análise do desempenho de cultivares frente a condições estressoras, práticas de manejos e análise da capacidade produtiva de diferentes genótipos (LOPES & LIMA, 2015), assim sendo,

se torna uma ferramenta importante na avaliação da influência do nível de vigor das sementes sobre as respostas fisiológicas das plantas originadas.

A produção de biomassa pelas culturas está atrelada à quantidade de radiação fotossinteticamente ativa, interceptada e absorvida pelas folhas, e à eficiência com que estas convertem a energia radiante em energia química, pela fotossíntese (HEINEMANN et al., 2006).

Assim, a utilização de sementes de alto vigor pode favorecer a obtenção de um estande de plantas adequado, além disso, pode gerar plantas de trigo mais eficientes na utilização de recursos do meio. Plantas com maior capacidade de aproveitar recursos como água, luz e nutrientes tendem a produzir e alocar maior quantidade de massa seca, que dentro de certos limites, possibilita a maior produtividade.

Neste sentido, o trabalho teve como objetivo verificar o efeito do nível de vigor de sementes no crescimento, na partição de massa seca e no rendimento de plantas de trigo

4.2 Material e métodos

Local, características de solo, tratos culturais

O trabalho foi realizado na área didática e experimental da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão – RS (31° 48' 10" de latitude sul e 52° 25' 9" de longitude oeste, e altitude de 67 metros). O clima da região é do tipo Cfa, com chuvas bem distribuídas e verão quente.

O solo é classificado como Albaqualf (USDA, 1999), com características físicas e químicas, na camada de 0-20 cm de pH (H₂O): 5,3; P e K, 55,7 e 88 e mg dm⁻³, respectivamente, Ca, Mg, Al, e CTC_(pH7) com 3,1; 0,9; 0,2 e 7,1 cmolc dm⁻³, respectivamente, e saturação por bases, matéria orgânica e argila com 61; 1,93 e 16%, respectivamente.

As parcelas experimentais foram constituídas de cinco linhas de dois metros de comprimento, com espaçamento de 0,17 metros na entrelinha. Para as

avaliações, foram coletadas aleatoriamente 4 plantas por repetição em cada época de coleta. Foi utilizada a densidade de semeadura 394 sementes m² com 10% correção, visando atingir o estande de 350 plantas m².

A semeadura foi realizada no dia 15/06/2016, foi realizada de forma manual, visando à criteriosa distribuição das sementes. Foi utilizado o sistema de semeadura direta e a adubação realizada de acordo com análise química prévia e seguindo recomendações do Manual de Adubação e Calagem dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2004), constando de 280 kg ha⁻¹ de NPK (10-20-20) e de duas aplicações de 135 e 100 kg ha⁻¹ de uréia (45% N), as quais foram realizadas nos estádios de afilhamento e alongamento. O controle de pragas e doenças foi realizado de forma preventiva conforme recomendação para a cultura (EMBRAPA, 2017).

Delineamento experimental

Para a fase de crescimento das plantas, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 3 x 9 (cultivar x nível de vigor x época de coleta), com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de duas cultivares de trigo (Toruk e Iguaçu), três níveis de vigor (alto, médio e baixo) e nove épocas de coleta (14; 28; 42; 56; 72; 84; 98; 112 e 126 dias após a emergência - DAE).

Na fase de rendimento das plantas, o delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 3 (cultivar x nível de vigor das sementes), com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de duas cultivares de trigo (Toruk e Iguaçu) e três níveis de vigor (alto, médio e baixo)

Caracterização dos lotes de sementes

Para o ranqueamento dos níveis de vigor das sementes de trigo, utilizou-se o método do envelhecimento acelerado modificado, que se constituiu do

acondicionamento das sementes sobre tela metálica fixada no interior de caixas plásticas (“gerbox”), contendo a lâmina de 40 mL de solução salina saturada (PEDROSO et al., 2010).

A partir de lotes iniciais de sementes com alto vigor, de cada cultivar, determinou-se os períodos de envelhecimento acelerado modificado para a obtenção de lotes de médio e baixo vigor, através do emprego de pré-testes. Os períodos de envelhecimento utilizados foram de 96 e 108 horas, para a cultivar Toruk e 84 e 96 horas para a cultivar Iguaçu.

Após o procedimento para o ranqueamento dos níveis de vigor das sementes, realizou-se a avaliação da qualidade das sementes, visando manter lotes com germinação estaticamente iguais, entretanto, com diferentes níveis de vigor. Neste sentido, o teste de germinação foi realizado a partir de quatro amostras com quatro subamostras de 50 sementes por tratamento. As sementes foram dispostas para germinar em rolos compostos por três folhas de papel de germinação, umedecidas com 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram mantidos em câmara de germinação do tipo BOD a temperatura de 20°C e fotoperíodo de 12 horas. A avaliação da porcentagem de plântulas normais foi realizada aos oito dias após semeadura (BRASIL, 2009).

Na avaliação do vigor, utilizou-se o teste de emergência em campo, que foi estabelecido a partir de quatro amostras de 100 sementes por tratamento, sendo a semeadura realizada em solo, já caracterizado anteriormente, utilizando o espaçamento nas entrelinhas de 0,17 m e a profundidade de semeadura de três centímetros. A avaliação foi realizada 21 dias após a semeadura e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas emergidas.

Crescimento de plantas e partição de assimilados

A avaliação do crescimento das plantas foi realizada através de coletas sucessivas, em intervalos regulares de 14 dias após a emergência, até o final do ciclo. Para tal, as plantas foram separadas em suas diferentes estruturas da parte aérea (lâmina foliar, colmo, bainha e estruturas reprodutivas quando presentes) e raiz. As diferentes partes das plantas foram acondicionadas em sacos de papel

pardo e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 70 ± 2 °C, até massa constante.

Os dados de área foliar (A_f), de massa seca da folha (W_f), colmo (W_c), raízes (W_r) e espigas (W_{esp}) foram ajustados por meio de polinômios ortogonais (RICHARDS, 1969). Os dados primários de massa seca total acumulada (W_t) foram ajustados pela equação logística simples: $W_t = W_m/(1+Ae^{-Bt})$, em que W_m é a estimativa assintótica do crescimento máximo; “A” e “B”, constantes de ajustamento; “e”, a base natural de logaritmo neperiano e “t”, o tempo em dias após a emergência (RICHARDS, 1969).

O índice de área foliar (L) foi calculado pela fórmula: $L = A_f/S_t$, sendo S_t a área de superfície do solo ocupada pela planta. Os valores da taxa de produção de massa seca total (C_t) foram obtidos por meio de derivadas temporais das equações ajustadas da massa seca total (W_t) (RADFORD, 1967). Na determinação dos valores instantâneos da taxa de crescimento relativo (R_w) foi empregada a equação: $R_w = 1/W_t \cdot dW_t/dt$ e os valores instantâneos da razão de área foliar (F_a) e a razão de massa foliar (F_w) foram estimados por meio das equações: $F_a = A_f/W_t$; $F_w = W_f/W_t$; conforme Radford (1967).

Para a determinação da eficiência de conversão da energia solar (ξ) foi empregada a equação ξ (%) = $(100 \cdot C_t \cdot \delta)/R_s$, sendo R_s o valor médio da radiação solar incidente ($\text{cal m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) quatorze dias anteriores ao C_t correspondente e δ valor calorífico de $4421,61 \text{ cal g}^{-1}$ (DEMIRBAS, 2003).

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

Rendimento de plantas

O índice de colheita (IC) foi determinado pela equação $IC = W_{esp}/W_t$, sendo W_{esp} corresponde à massa seca das espigas e o W_t a matéria seca total da planta. A massa de mil sementes (MMS) foi avaliada através de oito subamostras de 100

sementes por repetição, de acordo com Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

Análise estatística

Os dados primários de crescimento foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade e analisados pela equação logística simples, àqueles de partição de assimilados foram convertidos em porcentagem (LOPES & LIMA, 2015).

Já, os dados referentes ao estudo do rendimento das plantas, foram submetidos a análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, e quando significativos submetidos a análise de médias pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

4.3 Resultados e discussão

Caracterização dos lotes de sementes

Constatou-se que a germinação de sementes não atingiu diferenças estatísticas entre os diferentes lotes, para cada cultivar. O vigor, após realização de envelhecimento acelerado foi diferenciado para os três lotes, ficando para o lote de alto vigor (80 e 85%), médio (71 a 77%) e baixo vigor (60 e 61%), para cada cultivar. Os valores da emergência em campo corroboraram com esses resultados.

Tabela 1. Caracterização inicial de lotes de sementes de trigo (*T. aestivum* L.) empregados na semeadura para a avaliação de crescimento de plantas, Capão do Leão – RS, 2016

	Envelhecimento acelerado		Germinação		Emergência em campo	
	Toruk	Iguaçu	Toruk	Iguaçu	Toruk	Iguaçu
Alto vigor	85 a*	80 a	93 a	88 a	67 a	60 a
Médio vigor	77 b	71 b	90 a	87 a	54 b	48 b
Baixo vigor	60 c	61 c	88 a	88 a	41 c	40 c
CV (%)	4,02		3,05		8,82	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan $p \leq 0,05$.

Crescimento de plantas e partição de assimilados

A análise de variância identificou interação significativa para cultivar x nível de vigor x época de coleta das plantas aos caracteres de área foliar (A_f), massa seca de folhas (W_f), massa seca de colmo (W_c), massa seca de raízes (W_r), massa seca de espigas (W_{esp}) a 5% de probabilidade de erro pelo teste F (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo da análise de variância com os quadrados médios da área foliar (A_f), matéria seca de folhas (W_f), de colmo (W_c), de raízes (W_r) e espigas (W_{esp}). Capão do Leão, 2016

FV	GL	Quadrados Médios.				
		A_f	W_f	W_c	W_r	W_{esp}
Cultivar (CR)	1	0,000529*	1,897*	15,685*	0,0383 ^{ns}	0,505 ^{ns}
Coletas (C)	8	0,00224*	18,632*	71,393*	1,960*	78,146*
Vigor (V)	2	3406 ^{ns}	0,263 ^{ns}	2,533*	0,151*	1,878*
Bloco	3	2,254	0,233	0,107	0,00813	0,0745
CR x C	8	0,000152*	0,717*	2,936*	0,0644*	0,649*
V x C	16	4,983*	0,622*	1,044*	0,0537*	0,503*
CR x V	2	0,000147*	1,089*	3,939*	0,307*	0,403 ^{ns}
CR x V x C	16	4,312*	0,395*	1,019*	0,0377*	0,315*
Resíduo	159	1,577	0,116	0,192	0,0109	0,149
Total	215					
Média		0,0123	1,293	1,728	0,399	1,218
CV (%)		32,27	26,28	25,422	26,211	31,69

Nível de significância (P = *5%).

A partir dos 42 DAE, é perceptível que plantas provenientes de sementes de alto vigor, atingiram maior acúmulo de massa seca em relação às aquelas plantas provenientes de sementes de médio e baixo vigor, tanto para a cultivar Iguaçu, quanto para a cultivar Toruk. O aumento no acúmulo de massa seca aos 126 DAE foi de aproximadamente 22 e 28% para a cultivar Iguaçu, e aproximadamente 23 e 18% para cultivar Toruk, quando as plantas se originaram de sementes de alto vigor, comparativamente às aquelas de médio e de baixo vigor, respectivamente.

É perceptível que sementes com alto vigor, quando comparadas a sementes de baixo vigor, originam plantas com maior capacidade de acúmulo de massa seca por unidade de área e de tempo. Conforme resultados encontrados por Schuch (2000), avaliando o comportamento de plantas isoladas de aveia, observou que as diferenças na produção de matéria seca entre os níveis de vigor foram gradativamente aumentando com o avanço no crescimento das plantas. O maior tamanho inicial de plântulas pode estar relacionado a maximização da exploração dos recursos do ambiente, favorecendo seu desenvolvimento (SCHUCH et al., 2009).

Mantendo relação com os valores de W_t , as taxas de produção de massa seca (C_t) foram baixas até os 42 DAE (Figura 1c). Os valores de C_t variaram entre as duas cultivares, onde a cultivar Iguaçu atingiu superioridade em relação a Toruk. O vigor das sementes também afetou os valores de C_t , para ambas cultivares. Plantas provenientes de sementes com alto vigor, atingiram a superioridade nos valores máximos de C_t de aproximadamente 14 e 20% para a cultivar Iguaçu, e aproximadamente 28 e 30% para cultivar Toruk, quando as plantas se originaram de sementes com baixo e médio vigor, respectivamente.

A C_t indica o incremento de massa seca por unidade de área e de tempo, desta maneira, sementes de alto vigor originaram plantas que acumularam massa seca de forma mais rápida e em maior quantidade por área, comparativamente a plantas provenientes de sementes de baixo vigor.

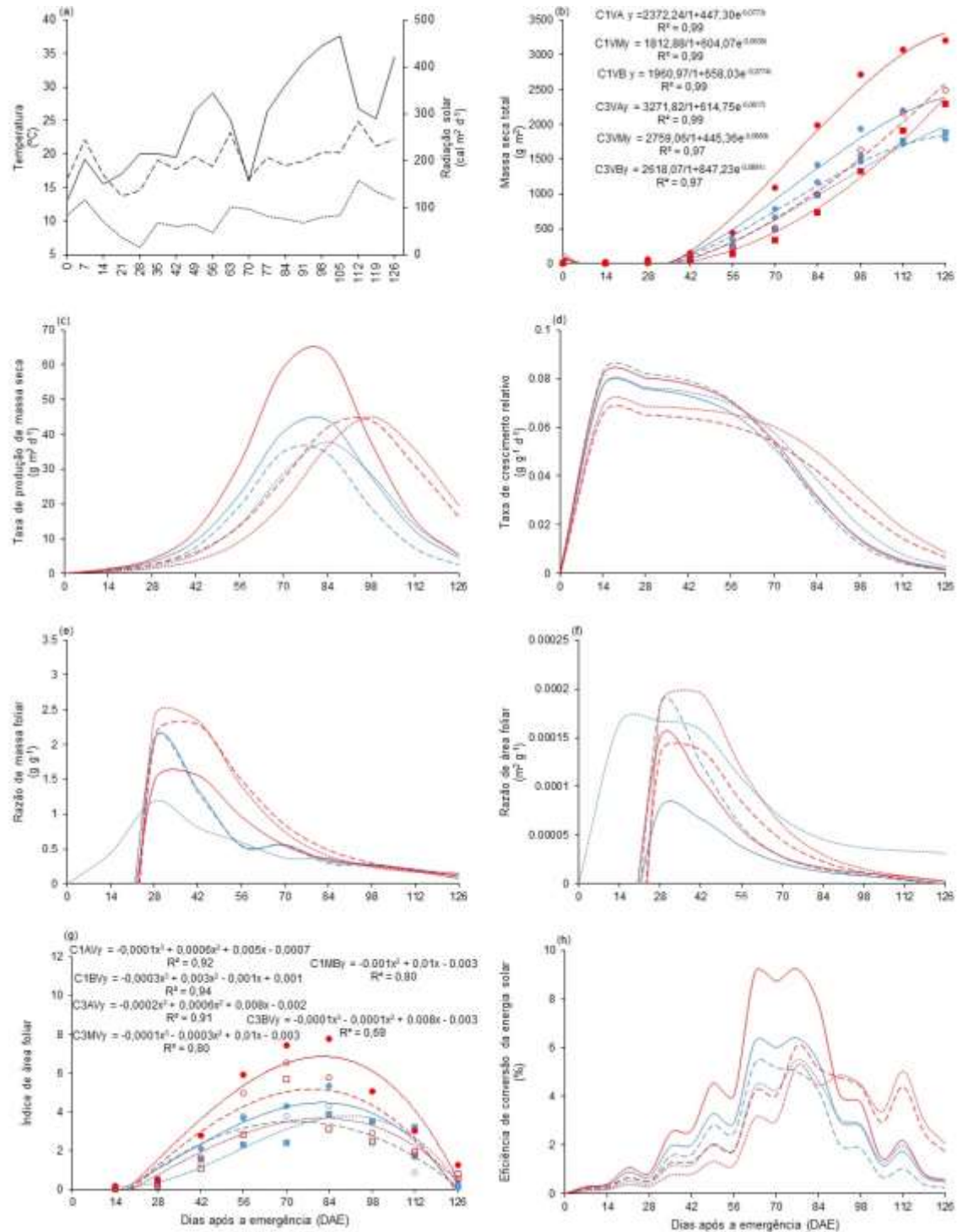


Figura 1 - Temperatura máxima, mínima e radiação solar (a) Massa seca total (b), taxa de produção de massa seca (c), taxa crescimento relativo (d), razão de massa foliar (e), razão de área foliar (f), índice de área foliar (g) e eficiência de conversão da energia solar (h) de plantas de diferentes cultivares de trigo provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor de sementes. Sendo: — Toruk alto vigor, --- Toruk médio vigor, Toruk baixo vigor, — Iguaçu alto vigor, --- Iguaçu médio vigor, Iguaçu baixo vigor.

Sementes de elevado vigor possuem maior capacidade de reorganização celular, reestruturação de membranas, metabolização, translocação e deposição de reservas no embrião (MARCOS FILHO, 2015). Fatores que favorecem uma emergência mais rápida e uniforme, com obtenção de plântulas mais capazes de competir por água, luz e nutrientes, originando plantas com maior capacidade de alocação de massa seca, principalmente no período inicial do ciclo.

As taxas de crescimento relativo (R_w) atingiram valores máximos aos 14 DAE, com uma posterior tendência de decréscimo dos valores até o final do ciclo da cultura (Figura 1d). Para a cultivar Iguaçu, os valores de R_w de plantas provenientes de sementes de alto vigor foram superiores na fase inicial, até os 70 DAE, com um acréscimo de 15 e 19% comparativamente àquelas plantas provenientes de sementes de baixo e médio vigor, respectivamente, indicando uma maior eficiência de alocação de assimilados em relação àquele pré-existente.

Para a cultivar Toruk, plantas provenientes de sementes de médio vigor, atingiram leve superioridade nos valores iniciais, enquanto que plantas provenientes de alto e baixo vigor demonstraram tendência similar. A taxa de crescimento relativo demonstra a quantidade de massa seca alocada em relação àquela pré-existente (AUMONDE et al., 2017b).

Os maiores valores de R_w podem estar relacionados a capacidade de sementes de alto vigor germinar e emergir de maneira mais rápida e uniforme, deste modo, o desenvolvimento inicial das plântulas pode ocorrer de forma mais rápida em relação àquelas provenientes de sementes com baixo vigor (EGLI E RUCKER, 2012). Sementes de alto vigor, de acordo com Cantarelli (2015), em virtude da rápida emergência e formação de plântulas de maior tamanho inicial, podem mesmo em condições ambientais favoráveis obter uma vantagem inicial no aproveitamento de água, luz e nutrientes

Os valores de razão de massa foliar (F_w) foram máximos no início do ciclo das plantas, onde plantas de todos os tratamentos atingiram os maiores valores aos 30 DAE, aproximadamente (Figura 1e). Para a cultivar Iguaçu, plantas originadas de sementes com baixo e médio vigor atingiram maiores valores de F_w em relação àquelas provenientes de sementes de alto vigor, esta tendência se manteve até o final do ciclo. Já, para a cultivar Toruk, plantas provenientes de sementes com alto e médio vigor atingiram valores máximos superiores.

No período inicial de crescimento das plantas, as folhas são o dreno metabólico preferencial, relacionado a isso, a obtenção dos maiores valores de F_w durante este período, entretanto, no decorrer da ontogenia das plantas, os drenos metabólicos preferenciais sofrem alterações, motivo pelo qual os valores de F_w são reduzidos (LOPES e LIMA, 2015).

A razão de área foliar (F_a) alcançou maiores valores no período inicial do ciclo de desenvolvimento das plantas (Figura 1f), plantas de todos os tratamentos alcançaram maiores valores de F_a aproximadamente aos 30 DAE, com exceção das plantas da cultivar Toruk provenientes de sementes de baixo vigor, que atingiu valores máximos aos 14 DAE. Plantas da cultivar Iguaçu atingiram valores máximos de F_a de 0,00018, 0,00015 e 0,00013 $m^2 g^{-1}$, para plantas provenientes de sementes de baixo, alto e médio vigor, respectivamente. Enquanto que para a cultivar Toruk, os valores máximos foram de 0,00018, 0,00016 e 0,000077, para plantas provenientes de sementes de médio, baixo e alto vigor, respectivamente.

Valores elevados de F_a no início do ciclo das plantas, estão atrelados a maior proporção de assimilados produzidos serem direcionados para formação das folhas, que nesta fase são o dreno metabólico preferencial (AUMONDE et al., 2011). Todavia, o posterior decréscimo mantém relação ao aumento de tecidos não fotossintetizantes (LOPES E LIMA, 2015).

Os valores máximos do índice de área foliar (L) foram alcançados aos 84 DAE para todos os tratamentos (Figura 1g). O L é um dos principais fatores a determinar a produtividade de uma cultura, seus valores aumentam durante o crescimento da comunidade e atingem um valor ótimo quando a taxa de crescimento da cultura é máxima (BELTRÃO et al., 2008), valores considerados ótimos de acordo com a literatura para a cultura do trigo fica entre 6 a 8,8 (YOSHIDA, 1972).

Houve alteração quantitativa dos valores de L influenciadas pelos níveis de vigor das sementes, em ambas as cultivares. Plantas da cultivar Iguaçu, provenientes de sementes de alto vigor, atingiram superioridade de 12 e 23%, aos 70 DAE, comparativamente às aquelas de médio e de baixo vigor. Enquanto, plantas da cultivar Toruk aos 84 DAE, atingiram superioridade de 19 e 27% comparativamente às aquelas de baixo e de médio vigor.

O emprego de sementes de alto vigor exerceu influência positiva no índice de área foliar, proporcionando um incremento da área de folhas ocupando o solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Schuch et al. (2000) estudando a

influência do vigor de sementes no crescimento de plantas de aveia preta (*Avena strigosa*) e Mondo et al. (2013) avaliando a influência do vigor de sementes no crescimento inicial de plantas de milho.

A eficiência de conversão da energia solar (ξ) das plantas foi alterada conforme o nível de vigor das sementes. Plantas provenientes de sementes de alto vigor atingiram maiores valores de ξ , seguidas por àquelas originadas de sementes de médio e baixo vigor (Figura 1h).

O aumento constatado para ξ corrobora com a tendência observada para C_t (Figura 1c) e para a radiação solar (Figura 1a). A maior eficiência da conversão de energia solar para plantas provenientes de sementes de alto vigor, corroboram com os resultados de L e W_t , indicando uma maior produção de massa seca em relação a energia que incide sobre o dossel das plantas. Independentemente do nível de vigor, plantas da cultivar Iguaçu atingiram valores máximos aos 77 DAE, plantas provenientes de sementes de alto vigor atingiram o acréscimo de aproximadamente 33 e 44% comparativamente a plantas provenientes de sementes com médio e baixo vigor.

Em plantas da cultivar Toruk foi constatada uma alteração temporal-quantitativa nos valores de ξ , onde os máximos foram atingidos aos 77 DAE para plantas originadas de sementes de alto e baixo vigor, enquanto que àquelas provenientes de sementes de baixo vigor atingira a máxima ξ aos 70 DAE.

Foi constatado o aumento de aproximadamente 19 e 14% nos valores máximos de ξ para plantas provenientes de sementes de alto vigor, comparativamente aquelas de médio e baixo vigor, respectivamente. De acordo com Harrison et al. (2011) a eficiência de conversão da energia solar é influenciada pela interceptação de luz pelo dossel das plantas, pela área foliar e radiação fotossinteticamente ativa.

Analisando a partição de massa seca nas diferentes estruturas das plantas, constatou-se uma série de alterações sequenciais do dreno metabólico preferencial, para plantas de todos os tratamentos. Inicialmente o dreno metabólico preferencial foram raízes e folhas, passando para o colmo e por fim, para as estruturas reprodutivas.

Entretanto, verificou-se que para a cultivar Toruk, plantas originadas de sementes com alto vigor (Figura 2a) mantiveram uma maior proporção de massa seca de folhas num período inicial, até os 70 DAE, em relação àquelas provenientes

de sementes com médio (Figura 2b) e baixo vigor (Figura 2c). Todavia, o particionamento de assimilados para colmo em plantas deste tratamento foi mais intenso no período compreendido entre os 42 e 84 DAE. Plantas de trigo são altamente eficientes em remobilizar assimilados armazenados na pré-antese, neste sentido, cerca de 68-78% dos assimilados armazenados são remobilizados para a produção de biomassa do grão (KINIRY, 1993; GEBBING et al., 1999).

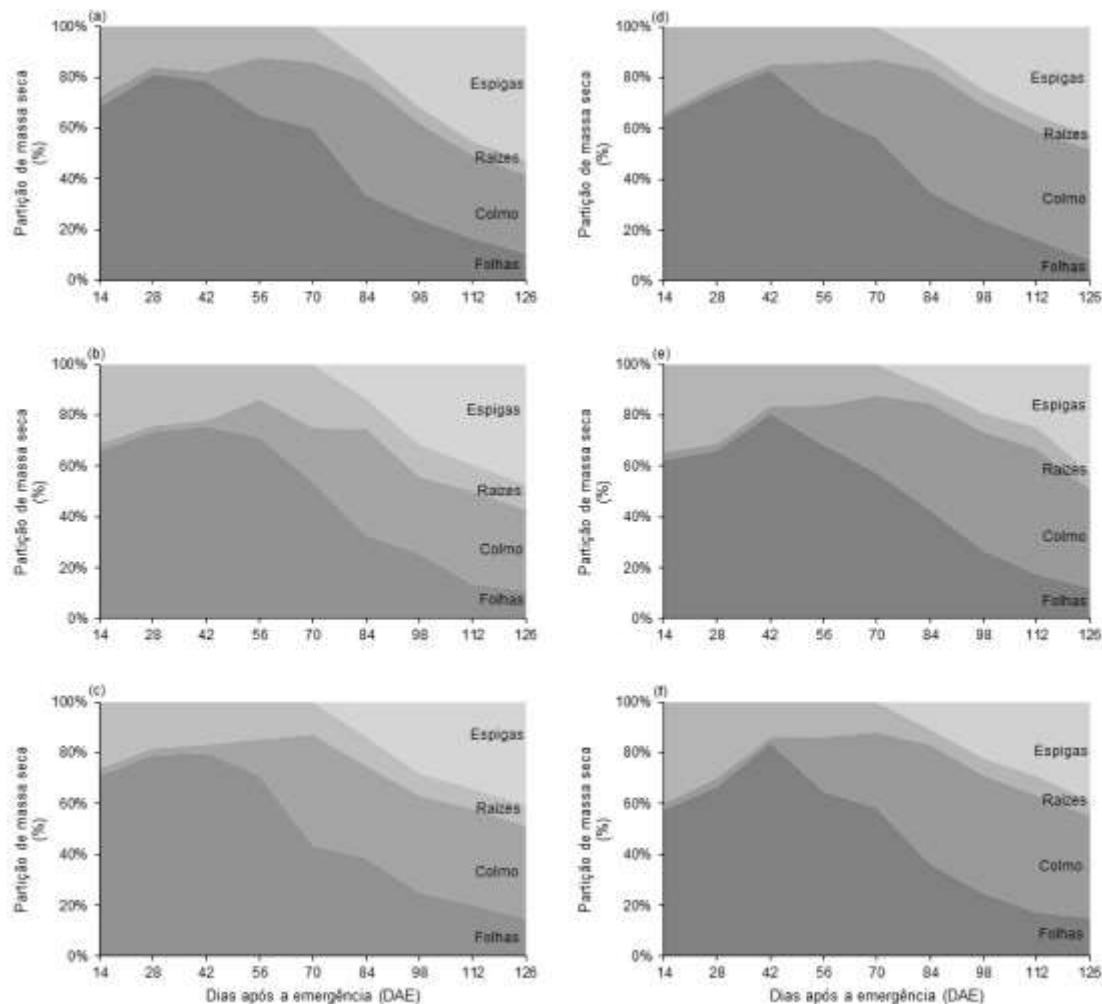


Figura 2 - Partição de massa seca em plantas de trigo originadas de sementes com diferentes níveis de vigor e de cultivares distintas. Sendo: Toruk - alto vigor (a), Toruk - médio vigor (b), Toruk - baixo vigor (c) Iguaçu - alto vigor (d) Iguaçu - médio vigor (e) e Iguaçu - baixo vigor (f). Capão do Leão – RS, 2016.

De maneira semelhante, plantas de trigo da cultivar Iguaçu provenientes de sementes de alto vigor (Figura 2d) alocaram maior proporção de massa seca em

folhas no período inicial, até os 42 DAE, comparativamente a plantas provenientes de sementes com médio (Figura 2e) e baixo vigor (Figura 2f). A maior proporção de alocação de massa seca em folhas no início do ciclo das plantas vai de encontro aos valores constatados para F_w .

Rendimento de plantas

Foi constatada interação significativa entre cultivar x nível de vigor para o índice de colheita e a massa de mil sementes. Os valores do índice de colheita (IC) para plantas provenientes de sementes com alto e médio vigor, foram superiores para a cultivar Toruk, já para plantas originadas de sementes de baixo vigor não foram constatadas diferenças significativas entre as cultivares.

Para a cultivar Toruk, o IC foi superior para plantas provenientes de sementes com alto vigor, com incremento de aproximadamente 16 e 34% em relação àquelas originadas de semente de médio e baixo vigor, respectivamente. Para a cultivar Iguaçu não foram constatadas diferenças significativas entre os níveis de vigor de sementes.

A produtividade de qualquer cultura é determinada pela capacidade de interceptação e captação da luz solar e a conversão em biomassa (MARCOS FILHO, 2015). Deste modo, os maiores valores de índice de colheita podem manter relação com os valores constatados para o índice de área foliar (L) e pelas taxas de produção de massa seca (W_t), superiores para plantas originadas de sementes de alto vigor.

Diversos trabalhos evidenciaram o aumento da produtividade das culturas pelo uso de sementes de alto vigor, como arroz (MELO et al., 2006; MIELEZRSKI et al., 2008), soja (KOLCHINSKI et al., 2006; SILVA, 2010; SCHEEREN et al., 2010) e milho (MONDO et al., 2012). Estes resultados foram relacionados a obtenção de um estande uniforme, pela maior porcentagem de emergência, maior crescimento inicial de plântulas, aumento da área foliar e massa seca.

A massa de mil sementes (MMS) não diferiu entre as cultivares para o tratamento que constou de plantas provenientes de sementes de alto vigor, entretanto, a cultivar Toruk atingiu superioridade de valores de MMS em plantas

provenientes de sementes de médio e baixo vigor, resultados que podem ser atrelados a características inerentes de cada cultivar.

Para a cultivar Toruk, plantas provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor não exerceram influência sobre a MMS de sementes produzidas, não sendo constatadas diferentes entre os tratamentos. Já, para a cultivar Iguaçu, plantas provenientes de sementes de alto vigor, produziram sementes de maior massa, sem diferir daquelas provenientes de sementes de médio vigor.

Tabela 4. Desdobramento dos efeitos simples da interação entre cultivares e níveis de vigor para as variáveis compostas por índice de colheita e massa de mil sementes. Capão do Leão – RS, 2016.

	Índice de colheita		Massa de mil sementes (g)	
	Toruk	Iguaçu	Toruk	Iguaçu
Alto vigor	0,582 aA*	0,501 aB	39,849 aA	39,680 aA
Médio vigor	0,489 bA	0,397 aB	41,866 aA	37,510 abB
Baixo vigor	0,384 cA	0,365 aA	41,872 aA	38,293 bB
CV (%)	8,09		3,40	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Duncan $p \leq 0,05$.

Plantas provenientes de sementes de alto vigor demonstraram crescimento diferencial, positivo, comparativamente àquelas provenientes de sementes com baixo vigor. Neste sentido, foi constatado o aumento na produção de massa seca total de plantas de alto vigor em relação às de baixo vigor de 28 e 18%, para a cultivar Iguaçu e Toruk, respectivamente.

A taxa de produção de massa seca, a taxa de crescimento relativo, o índice de área foliar e a eficiência de conversão da energia solar também foram superiores em plantas provenientes de sementes com alto vigor. Atrelado ao crescimento diferenciado, constatou-se que o índice de colheita, para a cultivar Toruk, e a massa de mil sementes, para a cultivar Iguaçu, atingiram superioridade nos valores para plantas provenientes de sementes com alto vigor.

O emprego de sementes de alto vigor possibilita a obtenção de estande mais uniforme e adequado, mas além disso, sementes de alto vigor originam plantas de alta performance, capazes de se sobressair na competição pelos recursos do meio,

água, luz e nutrientes. Assim, a utilização de sementes com alto vigor, proporciona a obtenção de plantas com capacidade superior na alocação de massa seca por unidade de área, relacionado a um maior índice de área foliar e a maior velocidade no crescimento. Isto permitiu o melhor aproveitamento dos recursos do ambiente, que pode ser constatado pelos resultados da eficiência de conversão da energia solar, resultando em um enchimento de grãos mais eficiente e maior rendimento da cultura.

4.4 Conclusões

Plantas provenientes de sementes de alto vigor se sobressaem no crescimento, com superioridade de até 27% para valores de índice de área foliar, 28% para massa seca total, 30 para a taxa de produção de massa seca, 19% para o crescimento relativo e de até 44 % para a eficiência de conversão da energia solar.

A massa de mil sementes é superior para plantas provenientes de sementes de alto vigor.

O rendimento de plantas é afetado positivamente pelo uso de sementes de alto vigor, com um acréscimo de até 34% nos valores do índice de colheita.

O emprego de sementes de maior vigor proporciona a obtenção de plantas de maior performance, fato que resulta em maior produtividade da cultura.

5. Capítulo IV – Desempenho no crescimento inicial e na atividade de enzimas antioxidantes do trigo em respostas a restrição hídrica e vigor das sementes

5.1 Introdução

A cultura do trigo possui significativa relevância a nível mundial, principalmente pela sua importância para a alimentação humana. O Brasil configura entre os principais importadores mundiais dos grãos da espécie, em virtude de sua produção atender apenas 50% da demanda Nacional do cereal, fato atrelado principalmente, a baixa produtividade da cultura que gira em torno de 2,5 t ha⁻¹ (CONAB, 2018).

A baixa produtividade da cultura pode estar relacionada a uma série de fatores, entre os principais, as condições climáticas, a fertilidade de solo e o manejo fitossanitário da cultura. Outro fator de elevada importância para o sucesso na produção é o uso de sementes de elevada qualidade para o estabelecimento das lavouras.

O emprego de sementes de elevada qualidade é considerado um fator determinante na obtenção de elevados rendimentos e sendo a base de uma lavoura tecnicamente bem estabelecida (FRANÇA NETO et al., 2010). Neste sentido, conforme indicado por Peske et al. (2012) a qualidade da semente é definida pelo somatório de seus atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que se relacionam ao desempenho agrônomo da planta.

O atributo fisiológico representa a capacidade da semente em desempenhar funções vitais de germinação, vigor e longevidade (BEWLEY et al., 2013). Neste contexto, o vigor merece destaque, e deve ser considerado na implantação de uma lavoura, uma vez que pode ser definido como o conjunto de características da semente que determinam o potencial para a emergência e

o rápido desenvolvimento de plântulas, sob ampla diversidade de condições ambientais (MARCOS FILHO, 2015).

O estresse causado pelo déficit hídrico é um dos maiores problemas enfrentados pela agricultura brasileira, situação que afeta o estabelecimento, crescimento, desenvolvimento das plantas, a produtividade e a qualidade das sementes. A restrição hídrica pode influenciar negativamente na retomada do crescimento do embrião, no processo de abertura e fechamento estomático ao reduzir a concentração interna de CO₂, fato que resulta em menor taxa fotossintética (LOPES & LIMA, 2015; AUMONDE et al., 2017). Pode ainda, promover o aumento da formação de espécies reativas de oxigênio resultando em danos oxidativos nas estruturas celulares (SHAO et al., 2008; KIM & KWAK, 2010).

Em resposta às condições estressoras e frente a produção espécies reativas de oxigênio (ROS), as plantas por meio do mecanismo antioxidante buscam atuar sobre compostos tóxicos com vistas a proteção contra o colapso do metabolismo vegetal (GILL & TUTEJA, 2010). As enzimas antioxidantes são capazes de evitar a formação de radicais livres, sequestrá-los, ou promover sua degradação, prevenindo a ocorrência de danos as células das plantas (SERKEDJIEVA, 2011).

Desta maneira, em situações de restrição hídrica, principalmente no período inicial de desenvolvimento da cultura, o emprego de sementes de alto vigor com possível maior eficiência do sistema antioxidante de defesa, com melhor ajuste celular das sementes, pode favorecer o estabelecimento do estande de plantas e propiciar maiores taxas de crescimento, uma vez que possuem maior capacidade de aproveitar recursos do meio, como água, luz e nutrientes.

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o crescimento inicial e a atividade enzimática em plantas de trigo originadas de sementes de diferentes níveis de vigor ranqueados via estresse por alta temperatura e umidade e submetidas a influência da restrição hídrica.

5.2 Material e métodos

O trabalho foi realizado em ambiente controlado, no Campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas-RS, situado na latitude 31° 48' 15.12" S e longitude 52° 24' 55.1874" W e altitude de 13 m. As análises foram efetuadas no Laboratório de Análise de Sementes do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel.

A semeadura foi realizada em bandejas de polietileno preto, contendo como substrato solo do horizonte A1 de um Planossolo Háplico Eutrófico Solódico, corrigido conforme de acordo com análise prévia e seguindo as recomendações da Comissão de Química e fertilidade do solo para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2004).

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x3x2 (duas cultivares x três níveis de vigor das sementes x duas condições hídricas do solo), com seis repetições. As cultivares utilizadas foram Toruk e Iguaçu, os níveis de vigor (alto 85 e 80%, médio 77 e 71% e baixo 60 e 61%, respectivamente) e regimes hídricos foram compostos por capacidade de campo e restrição hídrica.

As sementes foram submetidas ao estresse por alta temperatura e alta disponibilidade de umidade através do envelhecimento acelerado modificado para a obtenção dos níveis de vigor das sementes. Para isso foi efetuado o acondicionamento das sementes sobre tela metálica fixada no interior de caixas plásticas ("gerbox"), contendo a lâmina de 40 mL de solução salina saturada (PEDROSO et al., 2010). A solução salina saturada foi composta por 11 gramas de NaCl para cada 100 mL de água e as caixas plásticas contendo as sementes foram mantidas em BOD a 43°C (LIMA et al., 2006).

O lote de sementes de alto vigor não foi submetido ao envelhecimento acelerado e para a obtenção de lotes de médio e baixo vigor o período de envelhecimento variou entre cultivares e foi determinado através de pré-testes. Os períodos de estresse térmico e hídrico utilizados para o ranqueamento dos lotes foram de 96 e 108 horas para a cultivar Toruk e 84 e 96 horas para a cultivar Iguaçu para os lotes de médio e baixo vigor, respectivamente.

Após a semeadura em solo, o fornecimento de água para as plantas foi realizado de modo que fosse mantida a umidade do solo próxima a capacidade

de campo, sendo a restrição hídrica iniciada aos 10 dias após a emergência das plântulas e mantida pelo período de 10 dias após o início do estresse. Em seguida realizou-se a coleta das plantas para mensuração das variáveis de crescimento e para determinação da atividade das enzimas antioxidantes.

A determinação do período de estresse foi realizada com base em ensaios prévios, com base na coleta de material para avaliação do teor relativo de água das folhas e umidade gravimétrica do solo. A partir dos resultados prévios, foi determinado o estresse hídrico aos 10 dias após o início do estresse de acordo com metodologia de BARRS (1962). Os resultados foram expressos em porcentagem.

Para a avaliação da influência dos tratamentos no crescimento inicial e na atividade de enzimas antioxidantes de plantas de trigo, foram realizadas as seguintes análises:

Emergência de plântulas: conduzido com seis repetições de 50 sementes, a avaliação do número de plântulas emergidas foi realizado aos 25 dias após a semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas emergidas (%).

Índice de velocidade de emergência: foi realizado conjuntamente com o teste de emergência de plântulas, utilizando seis repetições de 50 sementes por tratamento. Realizou-se, diariamente, a contagem do número de plântulas emergidas. O índice de velocidade de emergência foi calculado de acordo com Vieira & Carvalho (1994) e os resultados expressos de forma adimensional.

Área foliar: foi determinada pela aferição da área de folhas por meio de medidor de área foliar modelo LI-3100, aos 25 dias após semeadura, sendo utilizadas seis repetições de 10 plantas. Os resultados foram expressos em metro quadrado (m²).

Massa seca de parte aérea e raízes: foram obtidas a partir da aferição de seis repetições de 10 plantas, coletadas ao final do teste de emergência de plântulas. A parte aérea e as raízes foram acondicionadas, separadamente, em envelopes de papel pardo e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada sob temperatura de 70 °C, até massa constante. Os valores de massa seca foram obtidos através de balança de precisão e os resultados expressos em gramas (g).

Razão de parte aérea e raiz: determinada a partir de seis repetições de 10 plantas coletadas ao final do teste de emergência de plântulas em casa de vegetação. Para a determinação utilizou-se a equação $P_w = W_{pa}/W_r$, onde W_{pa} se refere à massa seca alocada na parte aérea e W_r indica massa seca alocada nas raízes.

Razão de área foliar: estimada a partir de seis repetições de 10 plantas coletadas ao final do teste de emergência. Para isso empregou-se a equação $F_a = A_f/W_t$, onde A_f corresponde à área foliar e W_t corresponde à massa seca total da planta.

Razão de massa foliar: estimada a partir de seis repetições de 10 plantas coletadas ao final do teste de emergência, empregou-se a equação $F_w = W_f/W_t$, onde W_f refere à massa seca alocada nas folhas e W_t corresponde a massa seca total da planta.

Para determinação da atividade do sistema enzimático antioxidante foram avaliadas a atividade das enzimas Superóxido dismutase (SOD), Catalase (CAT) e Ascorbato peroxidase (APX). Para tal, folhas e raízes (0,250 g) de plantas, foram coletadas 25 dias após semeadura e armazenadas a -80 °C até os ensaios enzimáticos serem quantificados.

Para extração, as amostras foram maceradas com auxílio de nitrogênio líquido (N_2) e polivinilpolipirrolidona (10 %), sendo homogeneizados em 1,5 mL do tampão de extração fosfato de potássio 100 mM pH 7,8, contendo EDTA 0,1 mM e ácido ascórbico 10 mM. O homogeneizado foi centrifugado a 13.000 g, por 20 minutos, a 4 °C e o sobrenadante, coletado para determinação da atividade das enzimas e para a quantificação das proteínas pelo método de Bradford (1976).

A determinação da atividade da enzima superóxido dismutase (SOD, EC 1.15.1.1) foi determinada pela capacidade da enzima em inibir a fotoredução do azul de nitrotetrazólio (NBT) (GIANNOPOLIS & RIES, 1977), em um meio de reação composto por fosfato de potássio 100 mM pH 7,8, metionina 14 mM, EDTA 0,1 μ M, NBT 75 μ M e riboflavina 2 μ M. Os tubos com o meio de reação e a amostra foram iluminados por 7 minutos, com uma lâmpada fluorescente de 20 W. Um controle, contendo o mesmo meio de reação sem a amostra foi iluminado e um branco, contendo o meio de reação incluindo amostra e o meio de reação, permaneceu no escuro. As leituras foram realizadas a 560 nm e o

cálculo da enzima foi realizado com base na equação: % DE INIBIÇÃO = (A560 amostra com extrato enzimático – A560 controle sem enzima) / (A560 controle sem enzima), considerando que uma unidade da SOD corresponde à quantidade de enzima capaz de inibir em 50 % a fotorredução do NBT nas condições de ensaio. Os resultados foram expressos em Umg^{-1} de proteína.

A atividade da catalase (CAT, EC 1.11.1.6) foi realizada como descrito por Azevedo et al. (1998), com base no consumo de H_2O_2 (coeficiente de extinção $39,4 \text{ mM cm}^{-1}$). O meio de reação foi composto por tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 7,0), H_2O_2 12,5 mM, água e o extrato enzimático, sendo a atividade monitorada pelo decréscimo na absorbância a 240 nm durante dois minutos incubado a 28°C . Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína.

A atividade da ascorbato peroxidase (APX, EC 1.11.1.11) foi medida conforme Nakano & Asada (1981), monitorando-se a taxa de oxidação do ascorbato (ASA), a 290 nm. O meio de reação composto de tampão fosfato de potássio 100 mM pH 7,0, ácido ascórbico 0,5 mM e H_2O_2 0,1 mM, incubado a 28°C . O decréscimo na absorbância foi monitorado por um período de dois minutos a partir do início da reação. A atividade da enzima foi calculada utilizando o coeficiente de extinção molar de $2,8 \text{ mol}^{-1}\text{L cm}^{-1}$. Os resultados foram expressos em $\mu\text{mol ASA min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, se significativos a 5% de probabilidade pelo teste F, submetidos à análise de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.3 Resultados e discussão

Não foi constatada interação significativa entre os fatores estudados para as variáveis compostas por índice de velocidade de emergência, emergência de plântulas, massa seca de parte aérea e razão de massa foliar (Tabela1). Contudo, interação significativa foi observada entre nível de vigor x regime hídrico para as variáveis de área foliar, catalase aferida na folha (CAT_{fo}) e ascorbato peroxidase quantificada na foha (APX_{fo}). Constatou-se interação

significativa entre cultivar x nível de vigor para as variáveis CAT_{fo} e APX_{fo} , e também interação significativa entre cultivar x regime hídrico para as variáveis de razão parte aérea/raiz e APX_{fo} .

Ainda, entre cultivar x nível de vigor x regime hídrico para as variáveis de massa seca de raiz (W_r), massa seca total (W_t), razão de área foliar (F_a), superóxido dismutase na folha (SOD_{fo}), superóxido dismutase na raiz (SOD_{ra}), catalase na raiz (CAT_{ra}) e ascorbato peroxidase na raiz (APX_{ra}), conforme pode ser constatado na tabela 1.

A cultivar Iguaçu atingiu superioridade nos valores de emergência de plântulas quando relacionada com a cultivar Toruk (Tabela 1). Valores superiores de emergência foram constatados para os tratamentos que constaram de sementes de alto e médio vigor, em relação àquelas de baixo vigor. Constatou-se o acréscimo de aproximadamente 18 % nos valores de emergência de plântulas quando utilizadas sementes de alto vigor comparativamente à utilização de sementes com baixo vigor. Não foram constatadas diferenças significativas entre os valores de emergência dos diferentes regimes hídricos (Tabela 1).

Para os valores de índice de velocidade de emergência, 'Toruk' demonstrou-se superior, ou seja, apresentou maior número de plântulas emergidas por dia em relação a 'Iguaçu' (Tabela 1). Sementes de alto vigor proporcionaram um maior índice de velocidade de emergência de plântulas, comparativamente àquelas de médio e baixo vigor, atingindo uma superioridade de aproximadamente 15 e 26 %, respectivamente (Tabela 1).

Os resultados do índice de velocidade de emergência e da emergência em campo, indicam a maior capacidade das sementes de alto vigor em germinar e proporcionar a emergência rápida das plântulas como reflexo do melhor e mais eficiente funcionamento de organelas e aproveitamento de reservas contidas nas sementes, favorecendo assim, as plântulas em seu estabelecimento inicial, a melhor distribuição de plantas na lavoura e quanto ao aproveitamento dos recursos do meio de cultivo, ou seja, água, luz, CO_2 e radiação solar.

Os maiores valores do índice de velocidade de emergência, estão atrelados ao superior vigor de sementes, constituindo indicativo da maior

eficiência na reorganização do sistema de membranas celulares, hidrólise, metabolização e alocação de reservas na plântula (PESKE et al., 2012).

Quanto a alocação de massa seca de parte aérea, tanto a cultivar 'Toruk' quanto a 'Iguaçu' não diferiram significativamente em termos de parte aérea (Tabela 1). Plantas oriundas de sementes de alto vigor apresentaram performance superior na alocação de massa seca de parte aérea comparativamente àquelas provenientes de sementes de médio e baixo vigor, quando apresentaram superioridade de 18 e 27%, respectivamente. Os valores de massa seca de parte aérea foram superiores para plantas mantidas na capacidade de campo comparativamente àquelas expostas a restrição hídrica, as quais atingiram o acréscimo de 27%.

Sementes de alto vigor retomam o crescimento de maneira mais rápida, o que constitui vantagem competitiva na ocupação do espaço na lavoura, assim como, no aproveitamento dos recursos disponíveis (CANTARELLI, 2015).

Os valores de razão de massa foliar (F_w) foram superiores para a 'Toruk' em relação a cultivar Iguaçu (Tabela 1). Não foram constatadas diferenças significativas nos valores de F_w em plantas provenientes dos diferentes níveis de vigor, contudo, plantas mantidas sob capacidade de campo atingiram superioridade nos valores de F_w comparativamente àquelas submetidas à restrição hídrica, sendo constatado um acréscimo de aproximadamente 9% naquelas sob capacidade de campo.

O maior F_w observado em plantas cultivadas sob capacidade de campo indica que estas plantas apresentaram maior alocação de massa seca em folhas comparativamente às outras estruturas da planta, ou seja, apresentaram maior contribuição para a formação da matéria seca total comparativamente às raízes e colmos. Por outro lado, a menor F_w em plantas cultivadas em condição de restrição hídrica demonstra menor alocação de massa nas folhas em detrimento das demais estruturas, possivelmente com maior alocação em raízes visando a maior absorção de água para a manutenção da turgescência celular.

Assim, é notável que o estresse causado pela restrição hídrica afetou a quantidade de massa seca alocada em folhas. Em condições de estresse prolongado pode haver a ocorrência de atraso e a redução da atividade

fotoassintética das folhas, assim como, da translocação de fotoassimilados (SACHS & VARTAPETIAN, 2007).

Os valores de área foliar foram superiores em plantas originadas de sementes de alto vigor, comparativamente àquelas de baixo vigor quando mantidas sob capacidade de campo e submetidas a restrição hídrica, constatando-se os acréscimos de aproximadamente 26 e 18%, respectivamente (Tabela 2).

As plantas cultivadas em capacidade de campo atingiram superioridade nos valores de área foliar em relação àquelas submetidas à restrição hídrica, tanto quando formadas por sementes de alto quanto de médio vigor (Tabela 2). Contudo, não se constatou diferença significativa entre àquelas mantidas em capacidade de campo e as submetidas sob a restrição hídrica, quando originadas de sementes de baixo vigor.

Os resultados obtidos no trabalho são semelhantes aos encontrados na literatura para outras espécies, os quais relatam o decréscimo nos valores da área foliar em virtude do menor potencial de água no solo (FUMIS & PEDRAS, 2002; SANTOS et al., 2012), sendo este, considerado um dos principais fatores atrelado a menor taxa de acúmulo de massa seca em plantas expostas a restrição hídrica (SANTOS et al., 2012). Além disso, é importante destacar que a deficiência hídrica induz o fechamento estomático, reduz à produção de assimilados, a abscisão de folhas, diminuindo parte aerea e aumentando sistema de raízes para explorar o solo em busca de água. Altera o metabolismo vegetal prejudicando a formação de área foliar e reduzindo a taxa fotoassintética (SHAO et al., 2008).

Tabela 1 –Emergência de plântulas (EP), índice de velocidade de emergência (IVE), área foliar (Af), massa seca de parte aérea (Wpa), massa seca de raiz (Wr), razão de parte aérea/raiz (Pw), razão de área foliar (Fa), razão de massa foliar (Fw), Superóxido dismutase na folha (SOD fo) e raiz (SOD ra), Catalase na folha (CAT fo) e raiz (CAT ra) e Ascorbato peroxidase na folha (APX fo) e raiz (APX ra) de plantas de duas cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) em função de lotes de sementes com diferentes níveis de vigor e da restrição hídrica. Capão do Leão –RS, 2017

	E	IVE	Af	Wpa	Wr	Wt	Pw	Fa	Fw	SODpa	SODr	CATpa	CATr	APXpa	APXr
	(%)	-	(m ²)	(g)	(g)	(g)	-	(m ² g ⁻¹)	(g g ⁻¹)	U mg ⁻¹ de proteína	U mg ⁻¹ de proteína	μmol H ₂ O ₂ min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína	μmol H ₂ O ₂ min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína	μmolAscorb min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína	μmolAsc orb min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína
Cultivar															
Toruk	68,111 b	5,784 b	0,000386 a	0,0280 a	0,0106 b	0,0392 a	2,688 a	0,0102 a	0,518 a	2,118 a	20,106 a	0,0018 b	0,320 b	0,0125 a	0,118 a
Iguaçu	85,222 a	6,498 a	0,000369 a	0,0249 a	0,0135 a	0,0385 a	1,785 b	0,0101 a	0,464 b	1,809 b	14,637 b	0,0020 a	0,338 a	0,0125 a	0,105 b
Vigor															
Alto	83,333 a	7,094 a	0,000428 a	0,0312 a	0,0146 a	0,0454 a	2,034 b	0,0099 b	0,487 a	2,011 a	16,593 b	0,0018 a	0,397 a	0,136 a	0,102 b
Médio	78,167 a	6,061 b	0,000373 b	0,0256 b	0,0114 b	0,0371 b	2,275 a	0,0100 ab	0,487 a	1,988 a	15,271 b	0,0019 a	0,312 b	0,0125 b	0,105 b
Baixo	68,500 b	5,267 c	0,000332 c	0,0227 b	0,0101 b	0,0342 b	2,400 a	0,0105 a	0,485 a	1,892 a	20,247 a	0,0020 a	0,279 c	0,0114 b	0,127 a
Regime hídrico															
CC	76,333 a	6,098 a	0,000416 a	0,0306 a	0,0124 a	0,0439 a	2,534 a	0,0098 b	0,509 a	1,331 b	19,857 a	0,0017 b	0,249 b	0,0107 b	0,115 a
RH	77,000 a	6,183 a	0,000339 b	0,0223 b	0,0117 a	0,0339 b	1,939b	0,0105 a	0,464 b	2,596 a	14,886 b	0,0021 a	0,409 a	0,0144 a	0,107 a
Valor de F															
Cultivar (C)	51782*	12,331*	3055 ^{ns}	3,973 ^{ns}	36,499*	0,134 ^{ns}	133,92*	0,268 ^{ns}	52,823*	31,734*	87,096*	4,513*	5,891*	0,000062 ^{ns}	4,483*
Regime hídrico (RH)	0,079 ^{ns}	0,175 ^{ns}	65,308*	27,562*	1,936 ^{ns}	27,637*	558,194*	13,624*	28,205*	531,66*	71,959*	32,817*	448,69*	98,153*	1,756 ^{ns}
Vigor (V)	13369*	27,008*	33,758*	10,079*	33,588*	12,702*	7,607*	4,951*	0,016 ^{ns}	1,758 ^{ns}	25,765*	2,034 ^{ns}	87,802*	11,852*	6,712*
C x RH	0,035 ^{ns}	0,587 ^{ns}	3,414 ^{ns}	1,983 ^{ns}	0,582 ^{ns}	1,960 ^{ns}	18,852*	6,530*	3,619 ^{ns}	72,163*	32,048*	0,150 ^{ns}	83,075*	30,545*	1,472 ^{ns}
C x V	0,046 ^{ns}	1,206 ^{ns}	6,211 ^{ns}	1,626 ^{ns}	0,949 ^{ns}	1,032 ^{ns}	0,398 ^{ns}	0,487 ^{ns}	2,069 ^{ns}	0,425 ^{ns}	29,646*	8,490*	45,742*	27,136*	15,343*
RH x V	0,867 ^{ns}	1,037 ^{ns}	1,093*	0,606 ^{ns}	0,384 ^{ns}	0,635 ^{ns}	1,668 ^{ns}	7,691*	0,264 ^{ns}	5,338*	11,297*	6,426*	67,189*	25,119*	22,571*
C x RH x V	0,041 ^{ns}	0,567 ^{ns}	2,167 ^{ns}	2,846 ^{ns}	6,141*	4,812*	1,140 ^{ns}	8,039*	2,785 ^{ns}	5,550*	53,244*	0,642 ^{ns}	27,529*	1,966 ^{ns}	10,072*
CV(%)	13,16	14,06	10,70	25,27	16,54	20,58	14,799	6,94	7,44	9,69	11,687	13,87	7,95	10,25	18,511

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5% de probabilidade. ^{ns} e *: não significativo e significativo a 5% de probabilidade pelo teste F. CC: Capacidade de campo, RH: restrição hídrica.

A razão de parte aérea/raiz foi superior em plantas da cultivar 'Toruk' para plantas mantidas sob capacidade de campo e para aquelas submetidas à restrição hídrica (Tabela 2). Corroborando aos resultados de F_w , as Plântulas mantidas sob capacidade de campo atingiram superioridade nos valores de razão de parte aérea/raiz em comparação às aquelas submetidas à restrição hídrica, para ambas as cultivares, atingindo um acréscimo de aproximadamente 30 e 13 %, para a cultivar Toruk e Iguaçu, respectivamente (Tabela 2). Este resultado indica que sob a incidência da restrição hídrica as plantas direcionaram maior quantidade de assimilados para as raízes, visando aumentar o volume de raízes para a absorção de água e a manutenção da vitalidade da planta.

Tabela 2 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa nível de vigor X regime hídrico para a variável área foliar e desdobramento dos efeitos simples da interação significativa cultivar X regime hídrico para a variável razão parte aérea/raiz

	Área foliar (m ²)			Razão parte aérea/raiz	
	Alto vigor	Médio vigor	Baixo vigor	Toruk	Iguaçu
CC	0,000471 aA*	0,000430 aB	0,000348 aC	3,155 aA	1,913 aB
RH	0,000385 bA	0,000317 bB	0,000316 aB	2,221 bA	1,657 bB
CV (%)	10,70			14,80	

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CC: Capacidade de campo, RH: restrição hídrica.

A massa seca de raiz não atingiu diferença significativa entre cultivares 'Toruk' e 'Iguaçu' para plantas mantidas em capacidade de campo, contudo, para a cultivar 'Iguaçu' as plantas atingiram superioridade nos valores de massa seca de raízes quando provenientes de sementes de alto vigor e cultivadas sob restrição hídrica, (Tabela 3).

Os valores de massa seca de raízes foram superiores em plantas submetidas a restrição hídrica comparativamente aquelas mantidas em capacidade de campo, para aquelas provenientes de sementes de alto vigor, atingindo superioridade de 7,8%. No entanto, as plantas mantidas em capacidade de campo atingiram superioridade em relação aquelas expostas a restrição hídrica, quando provenientes de sementes de médio vigor para a cultivar 'Toruk'. Não foi constatada diferença

significativa entre plantas mantidas em capacidade de campo ou expostas à restrição hídrica quando originadas de sementes de baixo vigor.

Plantas provenientes de sementes de alto vigor, sem diferir daquelas de médio vigor atingiram superioridade nos valores de massa seca de raízes quando foram mantidas em capacidade de campo para a cultivar Toruk. De modo semelhante, plantas provenientes de sementes de alto vigor atingiram superioridade quando expostas a restrição hídrica, para a cultivar Toruk e àquelas mantidas em capacidade de campo para “Iguaçu”. Plantas provenientes de sementes de alto, médio e baixo vigor da cultivar Iguaçu, submetidas a restrição hídrica, não apresentaram diferenças significativas nos valores de massa seca de raízes.

Em relação a massa seca total, não foram constatadas diferenças significativas plantas das cultivares ‘Toruk’ e Iguaçu’ quando mantidas em capacidade de campo. Todavia, plantas da cultivar ‘Toruk’ formada a partir de sementes de alto vigor e expostas a restrição hídrica, obtiveram superioridade nos valores de massa seca total; e, quando provenientes de sementes de médio e baixo vigor, plantas da cultivar ‘Iguaçu’ atingiram superioridade em relação aquelas da cultivar ‘Toruk’.

Valores de massa seca total não diferiram entre si para plantas submetidas a restrição hídrica e àquelas mantidas em capacidade de campo, para a cultivar ‘Toruk’ independentemente do nível de vigor das sementes, assim como, para plantas da cultivar ‘Iguaçu’ provenientes de sementes de alto e médio vigor. Contudo, plantas provenientes de sementes de baixo vigor, expostas a restrição hídrica foram superiores àquelas mantidas na capacidade de campo, para a cultivar Iguaçu.

Não foram constatadas diferenças significativas nos valores de massa seca total entre plantas provenientes de sementes de alto, médio e baixo vigor para a cultivar ‘Toruk’ quando mantidas em capacidade de campo e àquelas da cultivar ‘Iguaçu’ quando expostas a restrição hídrica.

Em contrapartida, plantas provenientes de sementes de alto vigor atingiram superioridade de 28 e 29% nos valores de massa seca total comparativamente a plantas de sementes de médio e baixo vigor, respectivamente, para plantas da cultivar Toruk expostas a restrição hídrica. De modo semelhante, plantas provenientes de sementes de alto vigor alcançaram aproximadamente 29 e 43% de acréscimo nos valores de massa seca total, comparativamente àquelas de sementes

de médio e baixo vigor, respectivamente, para a cultivar Iguaçu, mantidas na capacidade de campo.

A restrição hídrica, segundo Vieira et al. (2013), afeta o acúmulo de massa de massa seca, sendo o nível de resposta dependente do genótipo. De acordo com Schuch et al. (2009), o maior tamanho inicial das plantas está relacionado com a maximização da exploração de recursos do ambiente, o que favorece o seu desenvolvimento. Resultados semelhantes, indicando um maior incremento de massa seca em plantas oriundas de sementes com alto vigor são descritos por Schuch et al. (2000), onde constataram que as diferenças na produção de massa seca foram gradativamente aumentando com o crescimento de plantas de aveia.

A razão de área foliar (F_a) não diferiu entre plantas da cultivar 'Toruk' e 'Iguaçu' quando comparadas os tratamentos de alto e de baixo vigor, tanto em capacidade de campo quanto na condição de restrição hídrica (Tabela 3). As plantas da cultivar 'Iguaçu' obtiveram superioridade para F_a quando as plantas foram provenientes de sementes de médio vigor e mantidas na capacidade de campo, em contrapartida, plantas da 'Toruk' originadas de sementes de médio vigor de sobressaíram àquelas da 'Iguaçu' quando expostas à condição de restrição hídrica.

Não foram constatadas diferenças significativas nos valores de F_a quando as plantas foram mantidas na capacidade de campo e sob influência da restrição hídrica ao serem originadas de sementes de alto vigor, indiferentemente da cultivar. Plantas submetidas a restrição hídrica, da cultivar Toruk, oriundas de sementes de médio e baixo vigor, atingiram superioridade de 12 e 17%, respectivamente, comparativamente àquelas mantidas na capacidade de campo para F_a . As plantas mantidas em capacidade de campo, da cultivar Iguaçu, foram superiores para o tratamento que constou de sementes de médio vigor. E, em contrapartida, àquelas submetidas à restrição hídrica foram superiores quando oriundas sementes de baixo vigor, (Tabela 3).

Os valores de F_a não diferiram entre plantas dos diferentes níveis de vigor para a cultivar 'Toruk' quando mantidas na capacidade de campo. Plantas provenientes de sementes de médio e baixo vigor atingiram superioridade nos valores de F_a para aquelas da "Toruk" submetida a restrição hídrica e àquelas da "Iguaçu" em capacidade de campo (Tabela 3).

Tabela 3 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa cultivar X nível de vigor X regime hídrico para as variáveis massa seca de raiz e massa seca total e razão de área foliar

Massa seca de raiz (g)				
Vigor	Toruk		Iguaçu	
	CC	RH	CC	RH
Alto	0,0130 Ba α *	0,0141 Aa α	0,0178 Aa α	0,0138 Aa β
Médio	0,0108 Aa β	0,0088 Bb α	0,0126 Ab α	0,0134 Aa α
Baixo	0,00855 Ab α	0,0085 Ab α	0,0115 Ab α	0,0117 Aa α
CV(%)	16,54			
Massa seca total (g)				
Vigor	Toruk		Iguaçu	
	CC	RH	CC	RH
Alto	0,0484 Aa α	0,0408 Aa α	0,0556 Aa α	0,0369 Aa β
Médio	0,0452 Aa α	0,0293 Ab β	0,0392 Ab α	0,0348 Aa α
Baixo	0,0430 Aa α	0,0288 Ab β	0,0318 Bb α	0,0330 Aa α
CV(%)	20,58			
Razão de área foliar (m ² g ⁻¹)				
Vigor	Toruk		Iguaçu	
	CC	RH	CC	RH
Alto	0,0099 Aa α	0,0098 Ab α	0,0096 Ab α	0,0103 Aa β
Médio	0,0094 Ba β	0,0107 Aa β	0,0106 Aa α	0,0094 Bb β
Baixo	0,0097 Ba α	0,0117 Aa α	0,0098 Ba β	0,0109 Aa α
CV(%)	6,94			

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para regime hídrico dentro de cada cultivar em cada nível de vigor, mesma letra minúscula na coluna para nível de vigor dentro de cada regime hídrico em cada cultivar e mesma letra grega para cultivar para cada nível de vigor dentro do mesmo regime hídrico não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CC: Capacidade de campo, RH: restrição hídrica.

O aumento dos valores de F_a em plântulas oriundas de sementes de baixo vigor e àquelas expostas a restrição hídrica, indicam que ocorreu uma alteração na relação entre o acúmulo de massa seca (W_t) e a área foliar (A_f) das plântulas. Este fato pode estar relacionado com a restrição hídrica atuar no processo de abertura e fechamento estomático, reduzindo a concentração interna de CO_2 , fato que resulta em menor taxa fotossintética e reduz a síntese de assimilados (LOPES & LIMA, 2015).

Ao analisar os dados de quantificação de enzimas antioxidantes, observou-se que os valores da atividade da enzima SOD medida nas folhas da cultivar 'Toruk' foi superior quando as plantas foram mantidas na capacidade de campo, para todos os níveis de vigor das sementes. As plantas da 'Iguaçu' atingiram superioridade na

atividade da enzima SOD quando determinada em folhas de plantas expostas à restrição hídrica, para os níveis de alto e médio vigor das sementes. Contudo, não foram constatadas diferenças significativas para SOD entre plantas das diferentes cultivares submetidas a restrição hídrica e originadas de sementes de baixo vigor (Tabela 4).

As plantas submetidas à restrição hídrica atingiram superioridade na atividade da enzima SOD em folhas comparativamente àquelas mantidas na capacidade de campo, independente da cultivar e do nível de vigor das sementes (Tabela 4).

Não foram constatadas diferenças significativas na atividade da enzima SOD em folhas de plantas dos três níveis de vigor da semente ao avaliar 'Toruk' em ambas as condições hídricas e ao analisar 'Iguaçu' mantida na capacidade de campo. Entretanto, superioridade nos valores foram constatados para plantas oriundas de sementes de alto e de médio vigor da cultivar 'Iguaçu' submetidas a restrição hídrica (Tabela 4).

A atividade da enzima SOD foi superior em raízes de plantas da cultivar 'Toruk' comparativamente a cultivar 'Iguaçu', para plantas oriundas de sementes de alto e médio vigor mantidas na capacidade de campo e plantas oriundas de sementes de médio e baixo vigor, submetidas a restrição hídrica. Já, plantas da cultivar Iguaçu, alcançaram maior atividade da enzima SOD, naquelas provenientes de sementes de baixo vigor e mantidas na capacidade de campo (Tabela 4).

As plantas mantidas na capacidade de campo atingiram maior atividade da enzima SOD nas raízes quando provenientes de sementes de alto e de médio vigor para cultivar 'Toruk' e daquelas oriundas de sementes de baixo vigor da cultivar 'Iguaçu'. No entanto, maior atividade da enzima SOD nas raízes foi constatada para plantas mantidas sob restrição hídrica e originadas de sementes com alto vigor da cultivar 'Iguaçu', enquanto, plantas provenientes de sementes com baixo vigor da cultivar 'Toruk' e de médio vigor da cultivar 'Iguaçu' não obtiveram diferenças significativas para capacidade de campo e restrição hídrica (Tabela 4).

Em plantas originadas de sementes de alto vigor foi constatada maior atividade da enzima SOD em raízes quando as mesmas foram mantidas na capacidade de campo, para a cultivar Toruk. Contudo, para a mesma cultivar e sob restrição hídrica, valores superiores da atividade da enzima SOD medida em raízes foi verificada em plantas provenientes de sementes de médio e de baixo vigor (Tabela 4).

Maior atividade da enzima SOD em raízes foi constatada para plantas provenientes de sementes com baixo vigor, da cultivar Iguaçu, mantidas na capacidade de campo. Todavia, não foram constatadas diferenças significativas entre plantas oriundas de sementes dos três níveis de vigor para a cultivar 'Iguaçu' exposta a restrição hídrica (Tabela 4).

Ao analisar a atividade da enzima CAT em raízes, observou-se valor superior em raízes da 'Toruk' formada a partir de sementes de alto vigor para ambos os regimes hídricos, assim como para àquelas de sementes de médio vigor, sob capacidade de campo (Tabela 4).

Para a cultivar 'Iguaçu' verificou-se superioridade nos valores de atividade da enzima CAT em raízes quando as plantas foram originadas de sementes de baixo vigor, em ambos regimes hídricos. Para plantas originadas de sementes de médio vigor e expostas a restrição hídrica ocorreu resultado similar para CAT quantificada em raízes (Tabela 4).

A superior atividade da enzima CAT em raízes foi constatada para plantas expostas a restrição hídrica, para a 'Iguaçu' e independentemente do nível de vigor das sementes. De forma semelhante, maior atividade foi constatada em plantas expostas a restrição hídrica e oriundas de sementes de alto e baixo vigor, da cultivar 'Toruk' (Tabela 4).

Valores superiores da atividade de enzima CAT em raízes foram constatados em plantas provenientes de sementes de médio vigor quando mantidas na capacidade de campo, e alto vigor, quando foram submetidas a restrição hídrica, para a cultivar Toruk. Já, plantas mantidas em capacidade de campo da cultivar Iguaçu, não obtiveram diferenças significativas entre os níveis de vigor das sementes, enquanto que aquelas submetidas a restrição obtiveram superioridade em plantas oriundas de sementes de alto e baixo vigor (Tabela 4).

A atividade da enzima APX quantificada em raízes não diferiu entre as cultivares para plantas mantidas na capacidade de campo oriundas de sementes de alto vigor e para aquelas oriundas de sementes de baixo vigor, expostas a restrição hídrica. Entretanto, ocorreu superioridade para àquelas da cultivar Toruk originadas de sementes com médio vigor, em ambos regimes hídricos, e para àquelas da cultivar Iguaçu oriundas de sementes de baixo vigor, quando mantidas em capacidade de campo (Tabela 4).

Tabela 4 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa cultivar X nível de vigor X regime hídrico para as variáveis Superóxido dismutase na folha (SOD_{fo}) e na raiz (SOD_{ra}), Catalase na raiz (CAT_{ra}) e Ascorbato peroxidase na raiz (APX_{ra})

SOD _{fo} (U mg ⁻¹ de proteína)				
Vigor	Toruk		Iguaçu	
	CC	RH	CC	RH
Alto	1,746 aBα	2,603 aAβ	0,788 aBβ	2,906 aAα
Médio	1,756 aBα	2,460 aAβ	0,958 aBβ	2,777 aAα
Baixo	1,654 aBα	2,491 aAα	1,082 aBβ	2,341 bAα
CV(%)	9,686			
SOD _{ra} (U mg ⁻¹ de proteína)				
Vigor	Toruk		Iguaçu	
	CC	RH	CC	RH
Alto	30,526 aAα	12,198 bBα	10,109 bBβ	13,538 aAα
Médio	21,162 bAα	17,080 aBα	10,466 bAβ	12,388 aAβ
Baixo	21,065 bAβ	18,606 aAα	25,815 aAα	15,503 aBβ
CV(%)	11,687			
CAT _{ra} (μmol H ₂ O ₂ min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína)				
Vigor	Toruk		Iguaçu	
	CC	RH	CC	RH
Alto	0,296 bBα	0,556 aAα	0,238 aBβ	0,500 aAβ
Médio	0,358 aAα	0,268 bBβ	0,217 aBβ	0,403 bAα
Baixo	0,169 bBβ	0,273 bAβ	0,217 aBα	0,456 aAα
CV(%)	7,450			
APX _{ra} (μmol Ascorb min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína)				
Vigor	Toruk		Iguaçu	
	CC	RH	CC	RH
Alto	0,0884 bAα	0,106 aAβ	0,0729 bBα	0,142 aAα
Médio	0,154 aAα	0,115 aBα	0,0687 bAβ	0,0818 bAβ
Baixo	0,132 aAβ	0,109 aAα	0,174 aAα	0,0898 bBα
CV(%)	18,511			

*Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha para regime hídrico dentro de cada cultivar em cada nível de vigor, mesma letra minúscula na coluna para nível de vigor dentro de cada regime hídrico em cada cultivar e mesma letra grega para cultivar para cada nível de vigor dentro do mesmo regime hídrico não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CC: Capacidade de campo, RH: restrição hídrica.

Não foram constatadas diferenças significativas entre plantas mantidas em capacidade de campo e àquelas expostas a restrição hídrica, provenientes de sementes de alto e baixo vigor, da cultivar Toruk e para àquelas oriundas de

sementes de médio vigor da cultivar Iguaçu (Tabela 4). Contudo, foi constatada superioridade àquelas mantidas em capacidade de campo, provenientes de sementes de médio vigor, para a “Toruk” e àquelas de baixo vigor da cultivar Iguaçu. Em contrapartida, os valores da APX em raízes foram superiores para aquelas expostas a restrição hídrica, oriundas de sementes de baixo vigor, da cultivar Iguaçu (Tabela 4).

Plantas provenientes de sementes de médio e de baixo vigor atingiram maior atividade da enzima APX em raízes quando mantidas em capacidade de campo, não ocorrendo diferenças significativas entre os níveis de vigor quando expostas a restrição hídrica, para a cultivar “Toruk” (Tabela 4). De forma semelhante, valores superiores da atividade da enzima APX em raízes foram constatados para plantas provenientes de sementes de baixo vigor, quando mantidas em capacidade de campo para a “Iguaçu”. Todavia, quando analisada plantas mantidas sob restrição hídrica, a “Iguaçu”, àquelas provenientes de sementes com alto vigor alcançaram superioridade nos valores da enzima APX em raízes (Tabela 4).

A atividade da enzima CAT medida nas folhas foi superior para a cultivar ‘Iguaçu’ quando as plantas foram originadas a partir de sementes de alto e médio vigor. No entanto, a superioridade foi obtida na cultivar ‘Toruk’ quando as plantas foram produzidas por sementes de baixo vigor (Tabela 5). Não foi constatada diferença significativa nos valores da enzima CAT entre os diferentes níveis de vigor das sementes, para a cultivar Iguaçu. Entretanto, plantas originadas de sementes de baixo vigor alcançaram maior atividade da enzima CAT para a cultivar Toruk (Tabela 5).

Quando analisada a interação entre níveis de vigor x regime hídrico, para a variável CAT_{fo} , constatou-se que plantas expostas a restrição hídrica, originadas de sementes de alto e médio vigor, demonstraram maior atividade da enzima CAT. Contudo, não foi constatada diferença na atividade enzimática para aquelas oriundas de sementes de baixo vigor.

As plantas de trigo originadas por sementes de baixo vigor demonstraram maior atividade da enzima CAT nas folhas em relação àquelas de médio e alto vigor quando mantidas na capacidade de campo. De maneira similar, plantas oriundas de sementes com baixo e médio vigor atingiram a maior atividade da enzima CAT nas folhas quando submetidas a restrição hídrica (Tabela 5).

Analisando a interação entre cultivar x vigor, foi constatada maior atividade da enzima APX nas folhas de plantas da cultivar 'Iguaçu' quando formadas a partir de sementes de alto vigor. Entretanto, a maior atividade foi aferida em plantas da cultivar 'Toruk' provenientes de sementes de baixo vigor (Tabela 5).

Maior atividade da enzima APX folhas de plantas provenientes de sementes com alto vigor foram constatadas, em relação àquelas oriundas de médio e baixo vigor para a cultivar Iguaçu. Todavia, não foram constatadas diferenças significativas nas folhas de plantas provenientes de diferentes níveis de vigor, para a cultivar Toruk (Tabela 5).

Na interação entre vigor x regime hídrico e para a variável APX_{fo} , constatou-se que plantas expostas a restrição hídrica atingiram superioridade na atividade da enzima APX quando provenientes de sementes de alto e médio vigor, não apresentando diferença significativa entre os regimes hídricos quando proveniente de sementes com baixo vigor (Tabela 5).

Não foram constatadas diferenças significativas na atividade da enzima APX medida em folhas, entre plantas provenientes dos diferentes níveis de vigor, quando mantidas em capacidade de campo. Contudo, àquelas oriundas de sementes de alto vigor, atingiram superioridade nos valores da atividade da enzima APX, quando submetidas a restrição hídrica (Tabela 5).

Quando analisada a interação cultivar x regime hídrico para a variável APX_{fo} , foi verificado que a atividade da enzima foi superior para plantas da cultivar 'Toruk' comparativamente àquelas da cultivar 'Iguaçu' quando em capacidade de campo. Resposta contrária foi constatada quando analisada plantas submetidas à restrição hídrica, em que a atividade foi superior para plantas da cultivar 'Iguaçu' (Tabela 5).

As plantas mantidas na capacidade de campo atingiram superioridade para atividade da enzima APX em folhas, comparativamente àquelas expostas a restrição hídrica, em ambas as cultivares (Tabela 5).

As plantas desenvolveram mecanismos de defesa, enzimáticos e não enzimáticos que possuem a capacidade de neutralizar a ação citotóxica das espécies reativas de oxigênio (BARBOSA et al., 2014). Estes mecanismos antioxidantes podem evitar a formação de radicais livres, sequestra-los ou então, promover a sua degradação, prevenindo desta forma, os danos às células das plantas (SERKEDJIEVA, 2011).

Tabela 5 - Desdobramento dos efeitos simples da interação significativa nível de vigor X regime hídrico para as variáveis Catalase na folha (CAT_{fo}) e Ascorbato peroxidase na folha (APX_{fo}), desdobramento dos efeitos simples da interação significativa vigor X cultivar para as variáveis CAT_{fo} e APX_{fo} e desdobramento dos efeitos simples da interação significativa cultivar X regime hídrico para a variável APX_{fo}

CAT _{fo} (μmol H ₂ O ₂ min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína)			
	Alto vigor	Médio vigor	Baixo vigor
Toruk	0,00158 bB	0,00178 bB	0,00213 aA
Iguaçu	0,00203 aA	0,00208 aA	0,00185 bA
CV (%)	13,867		
CAT _{fo} (μmol H ₂ O ₂ min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína)			
	Alto vigor	Médio vigor	Baixo vigor
Capacidade de campo	0,00150 bB	0,00160 bB	0,00196 aA
Restrição hídrica	0,00211 aB	0,00225 aA	0,00201 aA
CV (%)	13,867		
APX _{fo} (μmol Ascorb min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína)			
	Alto vigor	Médio vigor	Baixo vigor
Toruk	0,0120 bA	0,0125 aA	0,0131 aA
Iguaçu	0,0153 aA	0,0125 aB	0,0097 bC
CV (%)	10,252		
APX _{fo} (μmol Ascorb min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína)			
	Alto vigor	Médio vigor	Baixo vigor
Capacidade de campo	0,0100 bA	0,0110 bA	0,0110 aA
Restrição hídrica	0,0172 aA	0,0140 aB	0,0119 aC
CV (%)	10,252		
APX _{fo} (μmol Ascorb min ⁻¹ mg ⁻¹ de proteína)			
	Toruk		Iguaçu
Capacidade de campo	0,0117 aA		0,0097 aB
Restrição hídrica	0,0133 bB		0,0154 bA
CV (%)	10,252		

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CC: Capacidade de campo, RH: restrição hídrica.

Contudo, em situações de estresse ambiental, quando o equilíbrio entre a produção de ROS e a atividade dos mecanismos antioxidantes é rompido a favor dos compostos oxidantes, o resultado é a ocorrência de danos oxidativos nas estruturas celulares (KIM & KWAK, 2010).

Entre os mecanismos de defesa, destacam-se a enzimas antioxidantes superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e catalase. As enzimas catalisam

reações químicas e mediam praticamente toda a enorme quantidade de reações bioquímicas que constituem a vida (BARBOSA et al., 2014).

Estas enzimas antioxidantes estão distribuídas em diferentes compartimentos celulares e contribuem no controle das ROS em plantas. As superóxido-dismutase são consideradas a primeira linha de defesa contra as ROS, e participam da modulação do nível do H_2O_2 em cloroplastos, mitocôndrias, citosol e peroxissomos (BHATTACHARJEE, 2010).

Já, a catalase é uma das principais enzimas que atuam na eliminação do H_2O_2 gerado durante a fotorrespiração e a beta-oxidação dos ácidos graxos, atuando nos peroxissomos e glioxissomos, podendo também ser encontrada em mitocôndrias, onde converte duas moléculas de H_2O_2 a H_2O e oxigênio molecular (BARBOSA et al., 2014; DUBEY, 2011)

A ascorbato peroxidase é uma heme-proteína, da Classe I da superfamília das peroxidases, com distintas formas isoenzimáticas, diversamente reguladas, podem ser encontradas no citosol, mitocôndrias, peroxissomos, cloroplastos e parede celular (DABROWSKA et al., 2007). Esta enzima tem alta afinidade com o H_2O_2 , possibilitando a eliminação do H_2O_2 mesmo em concentrações baixas (LOCATO et al., 2010).

De maneira geral, plântulas originadas de sementes de alto vigor demonstraram capacidade de emergir de forma mais rápida, fato expresso pelo resultado do índice de velocidade de emergência. Esta capacidade, é determinante principalmente em condições de ambiente não favorável, pois torna mais curto alguns períodos críticos de estádios mais suscetíveis a condições adversas na fenologia da planta, os quais, envolvem desde o início do período de embebição da semente até a emergência completa da plântula. Os resultados de emergência corroboraram com os do índice de velocidade de germinação, traduzindo o vigor das sementes em um estande de plantas estabelecido de forma mais rápida e uniforme.

Neste sentido, plantas provenientes de sementes de alto vigor obtiveram um maior crescimento inicial, tanto em condições normais de água no solo quanto em condições de restrição hídrica. Podendo ser constatado uma superioridade nos valores de área foliar, massa seca de raízes, massa seca de parte aérea e massa seca total. Todavia, com resultados inferiores de razão de área e massa foliar e também menor razão parte aérea/raiz.

As plantas que foram expostas a restrição hídrica expressaram maior atividade de enzimas antioxidantes, fato que pode ser relacionado a tentativa de eliminação de compostos oxidativos produzidos devido ao estresse que estas foram expostas. Àquelas originadas de sementes de alto vigor, apresentaram evidência de maior atividade enzimática quando submetidas a condição de restrição hídrica, indicando uma melhor condição celular, ou seja, o melhor o ajuste celular da semente, que é indicado pelo maior vigor e pode estar relacionado a uma condição mais eficaz de respostas das plantas frente a um estresse ambiental.

5.4 Conclusões

Sementes de alto vigor proporcionam uma maior velocidade e porcentagem de emergência de plântulas.

A resposta de crescimento do trigo independe da cultivar empregada, tendo superioridade para plantas originadas de sementes com alto vigor em capacidade de campo.

Plantas expostas a restrição hídrica possuem uma maior atividade de enzimas antioxidantes, independente da cultivar.

O nível de vigor alto das sementes promove incremento nos valores da atividade enzimática das plantas quando expostas a restrição hídrica.

O alto vigor das sementes resulta na formação de plantas com maior área foliar e superior alocação de massa seca em parte aérea e nas raízes, tanto em condições de capacidade campo quanto em condições de restrição hídrica.

6. Capítulo V – Ecofisiologia de plantas de trigo em função do vigor de sementes e da restrição hídrica

6.1 Introdução

A produção brasileira de trigo não supre a demanda do alto consumo dos grãos desta espécie, os quais possuem elevado e amplo consumo da dieta alimentar humana e animal (BORÉM & SCHEEREN, 2015). A produção Nacional do grão gira em torno de 5,2 milhões de toneladas, com uma produtividade média de aproximadamente 2500 Kg ha⁻¹ (CONAB, 2018).

Devido a este déficit de produção, se torna necessária a importação do produto. Notadamente, são necessárias alternativas visando alcançar a autossuficiência da produção de trigo, dentre as quais, a elevação da produtividade e a expansão da área cultivada (OLIVEIRA et al., 2011; BORÉM & SCHEEREN, 2015). Vários fatores podem estar atrelados a baixa produtividade da cultura, dentre os quais fatores climáticos, fertilidade do solo, manejo fitossanitário e fatores estressores bióticos e abióticos.

No mesmo sentido, as sementes empregas na implantação de uma lavoura tem influência direta no resultado final, ou seja, na produtividade da cultura. Assim, a utilização de sementes de elevada qualidade permite a obtenção de plantas de performance superior, capazes de apresentar respostas superiores mesmo quando expostas a condições de ambiente não consideradas ótimas.

A qualidade das sementes é definida pelo somatório de atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários (PESKE et al., 2012). Todavia, a qualidade fisiológica representa a capacidade da semente em desempenhar funções vitais de germinação, vigor e longevidade (BEWLEY et al., 2013). O vigor compreende um conjunto de características da semente que determinam o potencial para a emergência e o rápido desenvolvimento de plântulas normais, sob ampla diversidade de condições de ambiente (MARCOS FILHO, 2015).

A restrição hídrica constitui situação comum à produção de diversas culturas e pode apresentar impacto negativo no crescimento, no desenvolvimento e no rendimento das plantas, por ocasionar o fechamento estomático, redução na taxa de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos, acelerar a senescência e a abscisão foliar, reduzir o desenvolvimento celular e afetar a partição adequada de assimilados entre os diferentes órgãos da planta (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Neste sentido, situações adversas de cultivo refletem negativamente no crescimento e rendimento vegetal, podendo ser atribuído em parte, às alterações no processo fotossintético, o qual envolve a captação de energia radiante e fixação do dióxido de carbono (FORCE et al., 2003; PANDA et al., 2006).

Como opção para estudar as respostas de plantas frente a condição de estresse abiótico, a análise de crescimento pode ser empregada, uma vez que constitui método quantitativo de baixo custo, preciso e utilizado para avaliar o crescimento vegetal ao longo do tempo e frente a diferentes condições de meio e de manejo (RADFORD, 1967; LOPES & LIMA, 2015; AUMONDE et al., 2017).

A análise de crescimento se baseia na coleta de dados primários, como área foliar, massa seca, altura e diâmetro. Sendo possível também fazer estimadas de algumas taxas de crescimento, como a taxa de produção de massa seca, taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida, dentre outras, que possibilitam estabelecer relações diretas com a produtividade final da cultura.

A partir do exposto, tem-se como hipótese, que a utilização de sementes de elevado vigor podem proporcionar a obtenção de plantas com maior eficiência de utilização de recursos do meio, e maior capacidade de acúmulo de massa seca, principalmente no período inicial de crescimento da cultura. Condições que poderão resultar em plantas com maior capacidade produtividade mesmo quando expostas a condições de restrição hídrica.

Deste modo, este trabalho tem como objetivo verificar o efeito do vigor das sementes no crescimento e na partição de massa seca de plantas de trigo submetidas a condição de estresse hídrico.

6.2 Material e métodos

Local, características de solo, tratos culturais

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação, disposta no sentido norte-sul, no Campus Capão do Leão da Universidade Federal de Pelotas-RS, situado na latitude 31° 48' 15.12" S e longitude 52° 24' 55.1874" W e altitude de 13 m. As análises foram realizadas no Laboratório de Fisiologia da Produção do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel.

A semeadura foi realizada em vasos de polietileno, com capacidade individual de 12 litros, foram distribuídas 10 sementes em cada vaso, após a emergência das plântulas foi realizado o desbaste com intuito de manter quatro plantas em cada vaso, onde cada planta correspondeu a uma repetição. A cultivar utilizada foi a Tbio Toruk.

Como substrato foi utilizado solo classificado como Albaqualf (USDA, 1999), com as seguintes características físicas e químicas: pH (H₂O): 4,5; P: 5,9 mg dm⁻³; K: 38 mg dm⁻³; Ca: 13,3 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,3 cmol_c dm⁻³; Al: 1,0 cmol_c dm⁻³; Cu: 0,1 mg dm⁻³; Zn: 0,8 mg dm⁻³; Mn: 32 mg dm⁻³; CTC: 16,2 cmol_c dm⁻³; saturação por bases: 85%; matéria orgânica: 0,83%; argila: 15%. A correção e adubação foi realizada seguindo recomendações do Manual de Adubação e Calagem dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS, 2004).

A correção do solo constou de 0,75 kg dm³ de calcário, PRNT 60%, que foi incorporado ao solo 30 dias antes da semeadura. Já a adubação de base foi realizada na pré-semeadura, constou de 0,011, 0,024, e 0,017 kg dm³ de N, P e K, respectivamente. Foram realizadas duas aplicações nitrogenadas em cobertura, que constaram de 0,035 e 0,020 kg m³, utilizou-se como fonte uréia (45%), super fosfato triplo (41%) e cloreto de potássio (58%) para nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente. O controle de pragas e doenças se deu de forma preventiva, conforme recomendações para a cultura.

Delineamento experimental

Para etapa do crescimento das plantas, o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 8$ (nível de vigor das sementes x regime hídrico x época de coleta), com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de dois níveis de vigor (alto e baixo), dois regimes hídricos (capacidade de campo e restrição hídrica na fase vegetativa e reprodutiva) e oito épocas de coleta (14, 28, 42, 56, 72, 84, 98 e 112).

Para a etapa do rendimento das plantas o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×2 (nível de vigor das sementes x regime hídrico), com quatro repetições. Os tratamentos consistiram na combinação de dois níveis de vigor (alto e baixo) e dois regimes hídricos (capacidade de campo e restrição hídrica na fase vegetativa e reprodutiva)

Caracterização dos lotes de sementes

A obtenção dos diferentes níveis de vigor das sementes foi realizada por meio de ranqueamento através do método do envelhecimento acelerado modificado, que constituiu no acondicionamento das sementes sobre tela metálica fixada no interior de caixas plásticas ("gerbox"), contendo a lâmina de 40 mL de solução salina saturada (PEDROSO et al., 2010), as caixas plásticas contendo as sementes foram mantidas em BOD a 43°C (LIMA et al., 2006).

Empregando-se lote inicial de sementes com alto vigor, determinou-se os períodos de envelhecimento acelerado modificado para a obtenção de lote de baixo vigor, através do emprego de pré-testes. Assim o período de envelhecimento utilizado foi o de 108 horas, o lote de sementes de alto não foi submetido ao envelhecimento acelerado.

Posteriormente ao ranqueamento dos lotes, foi verificada a qualidade das sementes, na intenção de manter lotes com germinação estaticamente idênticas, todavia, com distintos níveis de vigor. Para tal, o teste de germinação foi realizado a partir de quatro amostras com quatro subamostras de 50 sementes por tratamento. As sementes foram dispostas para germinar em rolos compostos por três folhas de papel de germinação, umedecidas com 2,5 vezes a massa do substrato seco. Os rolos foram mantidos em câmara de germinação do tipo BOD a temperatura de 20°C

e fotoperíodo de 12 horas e a avaliação da porcentagem de plântulas normais foi realizada aos oito dias após semeadura (BRASIL, 2009).

Adicionalmente, para avaliação do vigor das sementes de cada lote, foi empregado o teste de emergência em campo, avaliado a partir de quatro amostras de 100 sementes por tratamento, sendo a semeadura realizada em solo, utilizando o espaçamento nas entrelinhas de 0,17 m e a profundidade de semeadura de três centímetros. A avaliação foi realizada 21 dias após a semeadura e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas emergidas.

Regimes hídricos

O fornecimento de água para as plantas foi realizado de modo que fosse mantida a umidade do solo próxima a capacidade de campo. Para os tratamentos que constaram de restrição hídrica, dois períodos sem irrigação foram impostos durante o ciclo das plantas, a primeira imposição da restrição hídrica se deu na fase vegetativa (emborrachamento), correspondendo ao estágio 45 (ZADOKS et al., 1974), 72 dias após a semeadura (DAS). O segundo período de restrição hídrica se deu na fase reprodutiva (enchimento de sementes), 13 dias após a antese, correspondendo ao estágio 71 (ZADOKS et al., 1974), 97 dias após a semeadura. A suspensão da irrigação foi mantida até que o teor relativo de água das folhas chegou a valores próximos 45 %, aos 12 dias após o início da restrição (período vegetativo) e 6 dias (período reprodutivo), após a irrigação foi retomada normalmente até o final do ciclo das plantas.

No decorrer dos períodos de restrição hídrica e reidratação das plantas foi realizado o acompanhamento do teor relativo de água das folhas. Para a determinação do teor relativo de água, realizou-se coletas sucessivas de folhas, com intervalos regulares de 48 horas. O teor relativo de água foi realizado de acordo com metodologia de BARRS (1968). Os resultados foram expressos em porcentagem.

Crescimento de plantas e partição de assimilados

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

Os dados primários de área foliar (A_f), de matéria seca da folha (W_f), colmo (W_c), raízes (W_r) e espiga (W_{esp}) foram ajustados por meio de polinômios ortogonais (RICHARDS, 1969). Os valores da taxa de produção de matéria seca total (C_t) foram obtidos por meio de derivadas temporais das equações ajustadas da matéria seca total (W_t) (RADFORD, 1967). Para a determinação dos valores instantâneos da taxa de crescimento relativo (R_w) foi empregada a equação: $R_w = 1/W_t \cdot dW_t/dt$ e os valores instantâneos da taxa assimilatória líquida (E_a), razão de área foliar (F_a) e a razão de massa foliar (F_w) foram estimados por meio das equações: $E_a = 1/A_f \cdot dW_f/dt$; $F_a = A_f/W_t$; $F_w = W_f/W_t$ (RADFORD, 1967).

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

A eficiência de conversão da energia solar (ξ) foi determinada pela equação $\xi (\%) = (100 \cdot C_t \cdot \delta)/R_s$, sendo R_s o valor médio da radiação solar incidente ($\text{cal m}^{-2} \text{dia}^{-1}$) dez dias anteriores ao C_t correspondente e δ valor calorífico de $4421,61 \text{ cal g}^{-1}$ (DEMIRBAS, 2003).

A partição de matéria seca entre as diferentes estruturas da planta (raízes, colmo, folhas e espigas) no decorrer do ciclo das plantas foi determinada, separadamente, a partir da aferição da massa alocada em cada estrutura vegetal seguida pela transformação dos dados primários de alocação de massa seca de cada órgão para porcentagem.

Rendimento de plantas

A determinação do índice de colheita (IC) foi realizada pela equação $IC = W_{esp}/W_t$, sendo W_{esp} corresponde à massa seca das espigas e o W_t a matéria seca total da planta.

Análise estatística

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

Os dados referentes ao estudo do rendimento das plantas, foram submetidos a variância pelo teste F a 5% de probabilidade, e quando significativos submetidos a análise de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

6.3 Resultados e discussão

Caracterização dos lotes de sementes

Após o ranqueamento pelo teste de envelhecimento acelerado, realizou-se a caracterização inicial da qualidade das sementes de cada lote de sementes, que foram empregados no estudo do crescimento de plantas. Os valores de germinação dos lotes ficaram muito próximos entre si, variando entre 93 e 88%. Já o vigor das sementes foi diferencial entre os lotes, os valores foram de 85 e 60% para os lotes de alto e baixo vigor, respectivamente.

Teor relativo de água nas folhas

Os valores do teor relativo de água das plantas de todos os tratamentos, referentes aos períodos onde as plantas foram expostas a diferentes regimes hídricos estão expostos na figura 2.

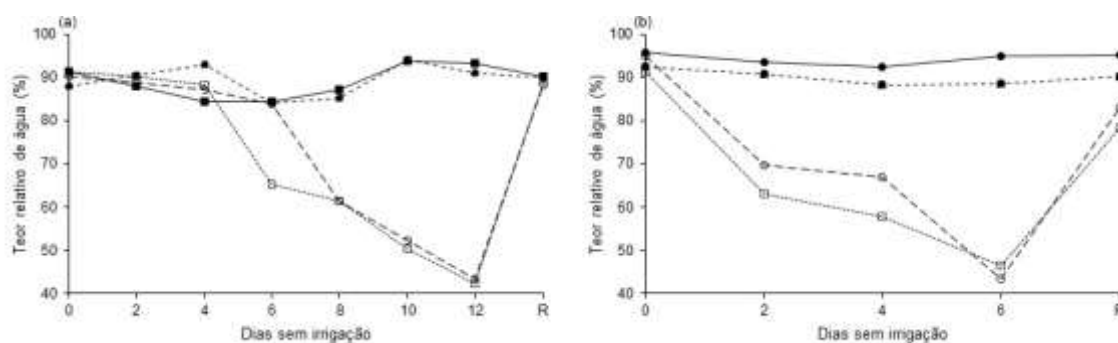


Figura 1 –Teor relativo de água de plantas provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor submetidas a diferentes regimes hídricos, no período vegetativo (a) e no período reprodutivo (b). Sendo: alto vigor sob capacidade de campo (—●—), alto vigor sob restrição hídrica (---■---), baixo vigor sob capacidade de campo (.....▲.....), e baixo vigor sob restrição hídrica (-.-.-◆-.-.-). Capão do Leão, 2016.

Pode ser observado que plantas provenientes de sementes de alto e baixo vigor, mantidas na capacidade de campo, mantiveram valores de TRA entre 84 e 96%, em ambos os períodos. Já as plantas provenientes de sementes de alto e baixo vigor, expostas a restrição hídrica, tiveram seus valores de TRA reduzidos gradativamente com o aumento dos períodos sem irrigação, chegando a valores próximos a 40%, tanto no período vegetativo quanto no reprodutivo. Resultados semelhantes foram encontrados por (SANTOS et al., 2012).

Crescimento e partição de assimilados

A análise de variância revelou significância para o fator épocas de coleta das plantas aos caracteres de área foliar (A_f), massa seca de folhas (W_f), massa seca de colmo (W_c), massa seca de raízes (W_r), massa seca de espigas (W_{esp}) a 5% de probabilidade de erro pelo teste F (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância com os quadrados médios da área foliar (A_f), matéria seca de folhas (W_f), de colmo (W_c), de raízes (W_r) e espigas (W_{esp}). Capão do Leão, 2018

FV	GL	Quadrados Médios.				
		A_f	W_f	W_c	W_r	W_{esp}
Vigor (V)	1	0,0000128 ^{ns}	0,0418 ^{ns}	0,0486 ^{ns}	0,000231 ^{ns}	0,482 [*]
Regime hídrico (RH)	1	0,0000811 [*]	0,134 [*]	0,393 [*]	0,0266 [*]	0,522 [*]
Coletas (C)	7	0,000389 [*]	4,986 [*]	4,760 [*]	0,287 [*]	17,224 [*]
V x C	7	0,00000152 ^{ns}	0,0871 [*]	0,131 [*]	0,00236 ^{ns}	0,419 [*]
RH x C	7	0,00000984 [*]	0,0426 ^{ns}	0,0693 ^{ns}	0,00384 ^{ns}	0,246 [*]
V x RH	1	0,0000382 [*]	0,0638 ^{ns}	0,0346 ^{ns}	0,0182 [*]	0,154 ^{ns}
V x RH x C	7	0,00000402 ^{ns}	0,0488 ^{ns}	0,0131 ^{ns}	0,00261 ^{ns}	0,142 ^{ns}
Resíduo	96	0,00000384	0,0260	0,0998	0,0336	0,00321
Total	127					
Média		0,00644	0,711	0,693	0,494	0,0169
CV (%)		30,40	22,76	45,59	37,08	33,40

Nível de significância (P = *5%).

Nos quatro tratamentos, a produção de massa seca total (W_t) ajustou-se a tendência logística, com elevado coeficiente de determinação (acima de 0,98), como pode ser constatado na figura 2b. Plantas de ambos os tratamentos obtiveram um lento crescimento inicial, até os 42 dias após emergência (DAE), após, verificou-se uma fase de crescimento intenso.

Plantas provenientes de sementes de alto vigor se sobressaíram na produção de massa seca total comparativamente àquelas proveniente de sementes de baixo vigor, constatando-se maior produção de massa seca nas plantas mantidas em capacidade de campo, seguida daquelas expostas a período de restrição hídrica. Plantas provenientes de sementes de baixo vigor atingiram menor W_t , àquelas expostas a restrição hídrica sofreram acentuada redução na produção de W_t comparativamente as dos demais tratamentos.

As plantas provenientes de sementes de alto vigor expostas a restrição hídrica, e plantas provenientes de baixo vigor sob capacidade de campo e expostas a restrição hídrica sofreram redução de aproximadamente 14, 20 e 41%, respectivamente, comparativamente daquelas provenientes de sementes de alto vigor e mantidas na capacidade de campo.

O emprego de sementes de alto vigor proporcionou às plantas provenientes, uma maior alocação de massa seca, mesmo quando expostas a condições de restrição hídrica. O vigor de sementes possui relação com a capacidade do estabelecimento de plântulas normais em condições ambientais não ideais. Neste sentido, sementes de maior vigor proporcionam um estabelecimento mais rápido das plantas somado a obtenção de um estande mais adequado, assim, plantas que ocupam melhor o ambiente de cultivo podem aproveitar melhor recursos do meio, possibilitando uma maior capacidade de acúmulo de massa seca e maior potencial produtivo (PIMENTEL et al., 2017).

Os valores da taxa de produção de massa seca (C_t) se mantiveram baixos até os 42 DAE, isso decore em relação da baixa produção de massa seca total neste período, conforme pode ser observado na figura 2c.

Os valores máximos de C_t foram obtidos em torno dos 84 DAE para as plantas provenientes de sementes de alto vigor, e aos 70 DAE para àquelas provenientes de sementes de baixo vigor, que alcançaram valores inferiores. Constata-se também que plantas submetidas a restrição hídrica atingiram valores inferiores daquelas mantidas na capacidade de campo, tanto para àquelas provenientes de sementes de alto vigor, quanto para plantas provenientes de sementes de baixo vigor.

Neste sentido, plantas provenientes de sementes de alto vigor expostas a restrição hídrica sofreram uma redução de aproximadamente 12% nos valores máximos de C_t , enquanto que as plantas provenientes de sementes de baixo vigor sob capacidade de campo e expostas a restrição hídrica, reduziram seus valores máximos em aproximadamente 15 e 29% respectivamente.

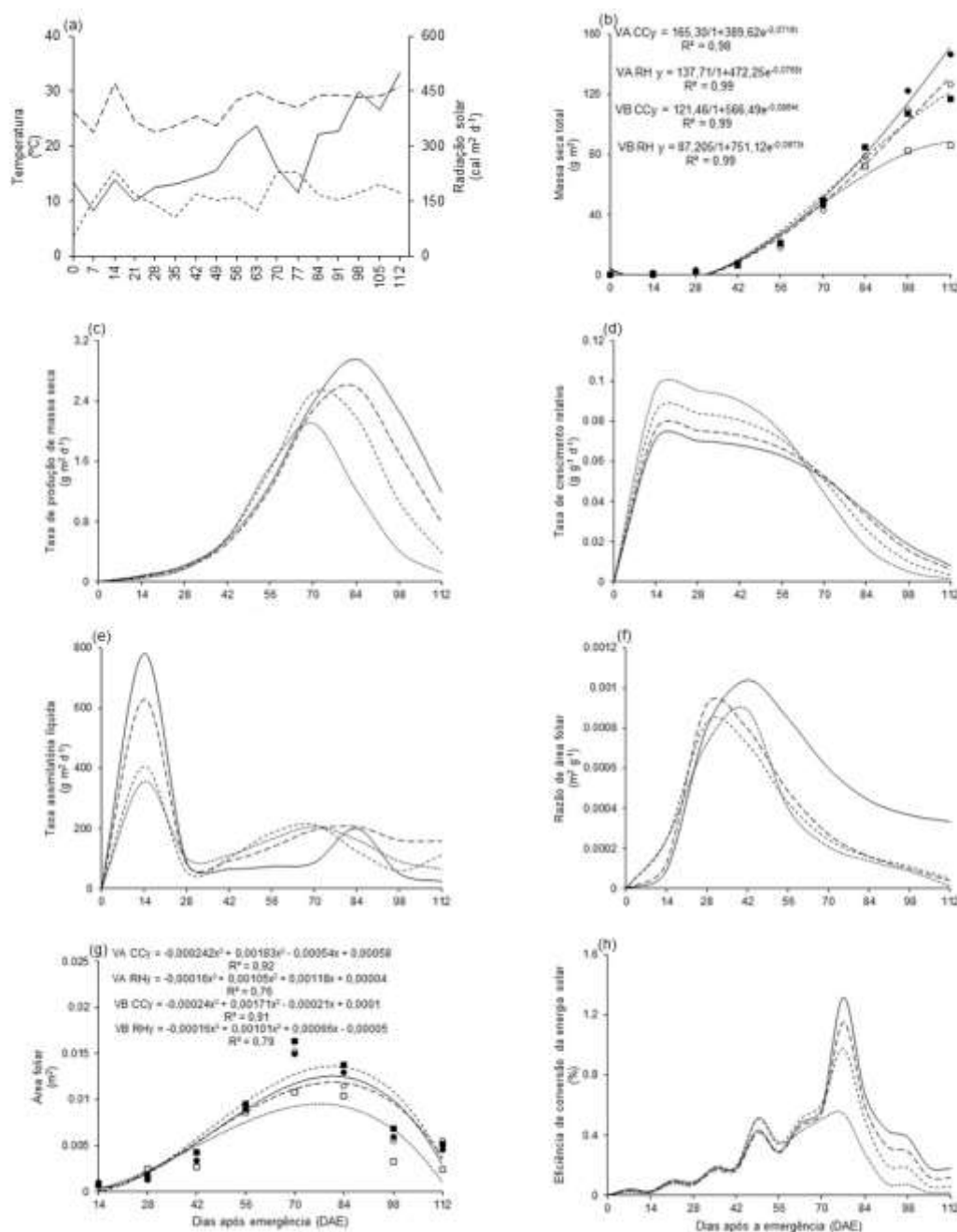


Figura 2 - Temperatura máxima, mínima e radiação solar (a), massa seca total (b), taxa de produção de massa seca (c), taxa crescimento relativo (d), taxa assimilatória líquida (e), razão de área foliar (f), área foliar (g), e eficiência de conversão da energia solar (h) de plantas de trigo provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor de sementes. Sendo: alto vigor sob capacidade de campo (—), alto vigor sob restrição hídrica (■ — ■), baixo vigor sob capacidade de campo (-----), e baixo vigor sob restrição hídrica (●.....●), Capão do Leão, 2016.

Plantas provenientes de sementes de alto vigor, e àquelas mantidas sob capacidade de campo alcançaram valores superiores de C_t , indicando um maior

incremento de massa seca por unidade de área e de tempo. É notável que plantas originadas de sementes com alto vigor foram mais eficientes na utilização dos recursos dos meios, haja vista que atingiram superioridade nos valores de C_t .

Neste contexto, o estresse por déficit hídrico resulta em diminuição nas taxas de crescimento e na produtividade devido à redução do potencial hídrico das folhas, o fechamento estomático e consequente diminuição das trocas gasosas, inibindo a fotossíntese e a respiração, podendo resultar na morte da planta (SHAO et al., 2008).

Os valores da taxa de crescimento relativo (R_w) atingiram o máximo aos 14 DAE, com posterior decréscimo dos valores até os 112 DAE (Figura 2d). Inicialmente, aos 14 DAE, plantas provenientes de sementes com baixo vigor atingiram maiores valores de R_w , contudo, a partir dos 70 DAE ocorreu uma inversão nos valores, a partir deste ponto, plantas provenientes de sementes com alto vigor obtiveram valores de R_w superiores.

A taxa assimilatória líquida (E_a), para plantas de todos os tratamentos, atingiu dois picos durante o ciclo (Figura 2e). O primeiro pico dos valores de E_a se deu aos 14 DAE, relacionado principalmente a predominância de folhas jovens, que possuem uma elevada capacidade fotossintética.

Já o segundo pico, ocorreu aos 70 DAE para plantas provenientes de sementes de baixo vigor, independente do regime hídrico, e para àquelas provenientes de sementes de alto vigor, expostas a restrição hídrica. Plantas provenientes de sementes de alto vigor, mantidas sob capacidade de campo, atingiram o segundo pico aos 84 DAE. A ocorrência do segundo pico de E_a está atrelado ao surgimento dos órgãos reprodutivos, estes, drenos metabólicos preferenciais, possuem elevada capacidade mobilizadora de assimilados.

É perceptível o efeito positivo do vigor das sementes nos valores de E_a no início do ciclo das plantas. Aos 14 DAE plantas provenientes de sementes de alto vigor, independentemente do regime hídrico, atingiram superioridade nos valores. Plantas provenientes de sementes de alto vigor, mantidas sob capacidade de campo atingiram um aumento de 48 e 54% comparativamente àquelas provenientes de baixo vigor, expostas a restrição hídrica e sob capacidade de campo, respectivamente.

A razão de área foliar (F_a) atingiu os máximos valores no início do ciclo das plantas (Figura 2f), ocorrendo uma diferença temporal-quantitativa nos valores de F_a

para plantas dos diferentes tratamentos. Plantas provenientes de sementes de alto vigor expostas a restrição hídrica e plantas de baixo vigor mantidas em capacidade de campo, atingiram valores máximos aos 28 DAE, já plantas provenientes de sementes de alto vigor mantidas em capacidade de campo e àquelas provenientes de sementes de baixo vigor expostas a restrição hídrica, alcançaram seus máximos valores aos 42 DAE.

Plantas provenientes de sementes de alto vigor e mantidas na capacidade de campo atingiram superioridade nos valores de F_a , constatando-se um acréscimo de aproximadamente 12, 20 e 14% comparativamente a plantas provenientes de alto vigor exposta a restrição hídrica e àquelas provenientes de sementes de baixo vigor expostas a restrição hídrica e as mantidas em capacidade de campo, respectivamente.

Os valores de área foliar (A_f) foram semelhantes até os 42 DAE para plantas de todos os tratamentos (Figura 2g), a partir deste ponto, plantas provenientes de sementes de alto vigor, independente do regime hídrico e para àquelas provenientes de sementes com baixo vigor mantidas sob capacidade de campo mantiveram tendência semelhante. Todavia, plantas provenientes de sementes de baixo vigor, submetidas a restrição hídrica, tiveram os valores de área foliar reduzidos.

A eficiência de conversão da energia solar (ξ) demonstrou respostas diferenciais entre plantas dos diferentes tratamentos, com os valores máximos atingidos aproximadamente aos 80 DAE (Figura 2h). Plantas provenientes de sementes de alto vigor mantidas na capacidade de campo, atingiram os maiores valores de ξ (1,32%), correspondendo a um acréscimo de aproximadamente 12, 26 e 59% para plantas provenientes de sementes de alto vigor submetidas a restrição hídrica e plantas provenientes de sementes de baixo vigor mantidas em capacidade de campo e expostas a restrição hídrica, respectivamente.

Analisando a partição de massa seca entre as diferentes estruturas das plantas, constatou-se que para plantas provenientes de alto vigor (Figura 3ab), independente do regime hídrico, o particionamento de assimilados para o colmo foi mais intenso no período inicial de desenvolvimento das plantas, entre os 28 e 70 DAE, comparativamente a plantas provenientes de sementes com baixo vigor (Figura 3cd)

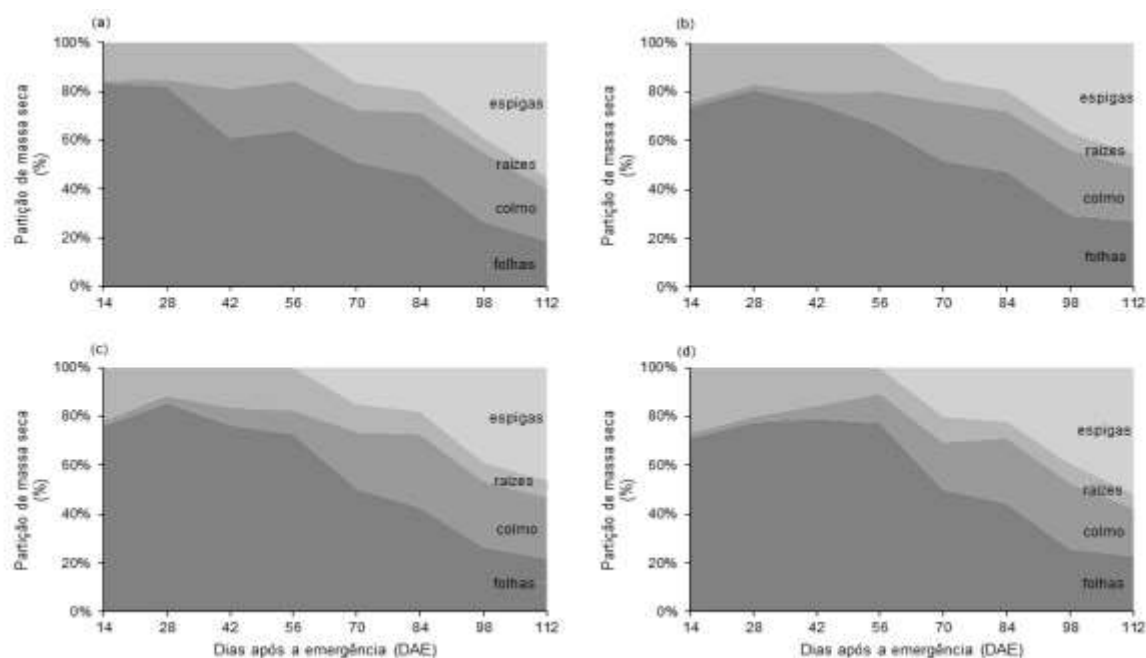


Figura 3 - Partição de massa seca em diferentes estruturas de plantas de trigo (*T. aestivum* L.) provenientes de sementes com diferentes níveis de vigor, submetidas a diferentes regimes hídricos, sendo alto vigor sob capacidade de campo (a), alto vigor sob restrição hídrica (b), baixo vigor sob capacidade de campo (c) e baixo vigor sob restrição hídrica (d).

Rendimento de plantas

Os valores de índice de colheita foram superiores para plantas mantidas em capacidade de campo em relação àquelas expostas a restrição hídrica, para plantas oriundas de ambos níveis de vigor (Tabela 2).

Tabela 2. Desdobramento dos efeitos simples da interação entre níveis de vigor e regimes hídrico para a variável índice de colheita. Capão do Leão – RS, 2016.

Nível de vigor	Índice de colheita	
	CC	RH
Alto vigor	0,55 aA*	0,45 aB
Baixo vigor	0,49 bA	0,44 aB
CV (%)	4,57	

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey $p \leq 0,05$.

Para plantas mantidas sob capacidade de campo, àquelas provenientes de sementes de alto vigor foram superiores em relação às provenientes de sementes

com baixo vigor, atingindo uma superioridade de aproximadamente 11%. Analisando as plantas expostas a restrição hídrica, não foram constatadas diferenças significativas entre plantas provenientes de sementes com alto e baixo vigor.

6.4 Conclusões

A produção de massa seca total, a taxa de produção de massa seca, taxa assimilatória líquida, índice de área foliar, razão de massa foliar e eficiência de conversão da energia solar foram superiores para plantas oriundas de sementes de alto vigor e mantidas sob capacidade de campo.

O acúmulo de massa seca no colmo é superior para plantas originadas de sementes com alto vigor.

O rendimento é superior para plantas originadas de sementes de alto vigor em relação às aquelas de baixo vigor em solo mantido na capacidade de campo.

O emprego de sementes de alto vigor é vital para um melhor desempenho de plantas em condições adversas, todavia, é uma excelente alternativa mesmo quando as condições de umidade de solo são ideais para o desenvolvimento da cultura do trigo.

7. Considerações finais

A utilização de sementes de alto vigor proporciona um melhor estabelecimento do estande de plantas, refletindo em maior número de espigas por área e maior produtividade, acrescida até 11%. Por outro lado, é perceptível um efeito de plasticidade das plantas provenientes de baixo vigor em virtude da falta de plantas na linha de semeadura, ocorrendo um aumento do número de afilhos férteis e número de sementes nos afilhos. Contudo, esse efeito não é suficiente para compensar a menor população de plantas, afetando negativamente a produtividade de sementes de trigo.

Plantas provenientes de sementes de alto vigor demonstraram crescimento diferencial, positivo, comparativamente às aquelas provenientes de sementes com baixo vigor. Neste sentido, foi constatado o aumento na produção de massa seca total, taxa de produção de massa seca, taxa de crescimento relativo, índice de área foliar e a eficiência de conversão da energia solar também foram superiores em plantas provenientes de sementes com alto vigor.

Atrelado ao crescimento diferenciado, constatou-se que o índice de colheita, para a cultivar Toruk, e a massa de mil sementes, para a cultivar Iguaçu, atingiram superioridade nos valores para plantas provenientes de sementes com alto vigor.

Plântulas originadas de sementes de alto vigor demonstraram capacidade de emergir de forma mais rápida, fato expresso pelo resultado do índice de velocidade de emergência. Esta capacidade, é determinante principalmente em condições de ambiente não favorável, pois torna mais curto alguns períodos críticos de estádios mais suscetíveis a condições adversas na fenologia da planta, os quais, envolvem desde o início do período de embebição da semente até a emergência completa da plântula. Os resultados de emergência corroboraram com os do índice de velocidade de germinação, traduzindo o vigor das sementes em um estande de plantas estabelecido de forma mais rápida e uniforme.

Neste sentido, plantas provenientes de sementes de alto vigor obtiveram um maior crescimento inicial, tanto em condições normais de água no solo quanto em

condições de restrição hídrica. Podendo ser constatado uma superioridade nos valores de área foliar, massa seca de raízes, massa seca de parte aérea e massa seca total. Todavia, com resultados inferiores de razão de área e massa foliar e também menor razão parte aérea/raiz.

Plantas expostas a restrição hídrica possuem uma maior atividade de enzimas antioxidantes, independente da cultivar. O nível de vigor alto das sementes promove incremento nos valores da atividade enzimática das plantas quando expostas a restrição hídrica. O alto vigor das sementes resulta na formação de plantas com maior área foliar e superior alocação de massa seca em parte aérea e nas raízes, tanto em condições de capacidade campo quanto em condições de restrição hídrica.

A produção de massa seca total, a taxa de produção de massa seca, taxa assimilatória líquida, índice de área foliar, razão de massa foliar e eficiência de conversão da energia solar foram superiores para plantas oriundas de sementes de alto vigor e mantidas sob capacidade de campo.

Plantas provenientes de sementes de alto vigor possuem maior rendimento quando o solo foi mantido na capacidade de campo. O rendimento é superior para plantas originadas de sementes de alto vigor em relação àsquelas de baixo vigor em solo mantido na capacidade de campo.

8. Referências bibliográficas

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

ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALISTS. **Seed vigour testing handbook**, AOSA, Zurich, Contribution nº 32 to the handbook on seed testing. 1983, 88p.

AUMONDE, T. Z.; LOPES, N. F.; MORAES, D. M.; PEIL, R. M. N.; PEDÓ, T. Análise de crescimento do híbrido de mini melancia Smile® enxertada e não enxertada. **Interciência**, v. 36, n. 9, p. 677-681, 2011.

AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; MONTEIRO, M.A.; KOCH, F. Análise de crescimento e do vigor como ferramenta de avaliação do estresse ambiental. In: AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; VILLELA, F.A. **Estresses ambientais e a produção de sementes: Ciência e aplicação**. Pelotas, RS: Ed. Cópias Santa Cruz, 2017, 313p.b

AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; VILLELA, F.A. **Estresses ambientais e a produção de sementes: Ciência e aplicação**. Pelotas, RS: Ed. Cópias Santa Cruz, 2017, 313p.a

AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E.G.; MORAES, D.M.; VILLELA, F.A.; LOPES, N.F. Análise de crescimento e partição de assimilados em plantas de maria-pretinha submetidas a níveis de sombreamento. **Planta daninha**, v.31, n.1, p.99-108, 2013.

AZEVEDO, R.A.; ALAS, R.M.; SMITH, R.J.; LEA, P.J. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum**, v.104, p.280-292, 1998.

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

BARRS, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological Sciences**. v.15, p.413-428, 1962.

BELTRÃO, N.E.M.; FIDELIS FILHO, J. OLIVEIRA, M.I.P. **Estimativa da Respiração de uma Comunidade de Plantas, Via Valores Primários (Área Foliar e Fitomassa)**. Circular Técnica, Campina Grande, 2008.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de Crescimento de Plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: Funep, 2003. 41p.

BEWLEY, J.D., BRADFORD, K.J., HILHORST, H.W.M. AND NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy**. Springer, New York, 2013.

BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p.1-30.

BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2015. 260 p

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

BRASIL - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DA REFORMA AGRÁRIA. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009, 399p.

CANTARELLI, L. D.; SCHUCH, L.O.B.; TAVARES, L.C.; RUFINO, C.A. Variabilidade de plantas de soja originadas de sementes de diferentes níveis de qualidade fisiológica. **Acta Agronômica**. v.64, n.3, p 234-238, 2015.

CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* [S. *parahyba* var. *amazonicum*] e *Schizolobium parahyba* [*Schizolobium parahybum*] à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 907-914, 2005.

CARVALHO, N.M. NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, 2012, 590p.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (CQFS RS/SC). **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10ed, Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004, 400p.

CONAB, (2017). **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, safra 2016/17**, (4) 12, Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília: Conab, 2017, < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_09_12_10_14_36_boletim_graos_setembro_2017.pdf>, Acesso: 20/09/2017.

CONAB. (2018). **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, safra 2017/18**, (12) Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab, 2018. < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso: 17/10/2018.

CORDEIRO, M.B.; DALLACORT, R.; FREITAS, P.S.L.; JUNIOR, S.S.; SANTI, A.; FENNER, W. Aptidão agroclimática do trigo para as regiões de Rondonópolis, São José do Rio Claro, São Vicente e Tangará da Serra, Mato Grosso, Brasil. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 9, n. 1, p. 96-101, 2015.

COTINGUIBA, G. G.; SILVA, J. R. DO. N.; AZEVEDO, R. RACKEL, DE. SÁ.; ROCHAB T. J. M.; SANTOS A. F. DOS. **Método de Avaliação da Defesa Antioxidante: Uma Revisão de Literatura**. UNOPAR Cient Ciênc Biol Saúde, v.15, n.3, p.231-237, 2013.

DABROWSKA, G. et al. Characteristics of the plant ascorbate peroxidase family. **Acta Biologica Cracoviensia**, v.49, n.1, p.7-17, 2007.

DAMATTA, F.M.; CHAVES, A.R.M.; PINHEIRO, H.A.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M.E. Drought tolerance of two field-grown clones of Coffea canephora. **Plant Science**, v.164, p.111-117, 2003.

DANIEL, C.; TRIBOI, E. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: Effects on gliadin content and composition. **Journal of Cereal Science**, v.32, p.45-56, 2000.

DEMIRBAS, A. Relationships between lignin contents and fixed carbon contents of biomass samples. **Energy Conversion Management**, v.44, p.1481-1486, 2003.

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

EGLI, D.B.; RUCKER, M. Seed vigor and the uniformity of emergence of corn seedlings. **Crop Science**, v.52, n.6, p.2774-2782, 2012.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.
Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2017, 10ª Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Trigo e Triticale. Londrina, PR, 27 e 28 de julho de 2016.

FAGHANI, E., J. Gharechahi, S. Komatsu, M. Mirzaei, R. A. Khavarinejad, F. Najafi, L. K. Farsad and G. H. Salekdeh: Comparative physiology and proteomic analysis of two wheat genotypes contrasting in drought tolerance. **Journal. Proteomics**. v.114, p.1-15. 2015.

FORCE, L.; CRITCHLEY, C.; VAN RENSEN, J. J. S. New fluorescence parameters for monitoring photosynthesis in plants. **Photosynthesis Research**, v. 78, p. 17- 33, 2003.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. A importância do uso de semente de soja de alta qualidade. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 20, n. 1 e 2, p.37-38, 2010.

FUMIS, T. DE F.; PEDRAS, J. F. Variação nos níveis de prolina, diamina e poliaminas em cultivares de trigo submetidas a déficits hídricos. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.37, p.449-453, 2002.

GEBBING, T.; SCHNYDER, H.; KURHBAUCH, W. The utilization of preanthesis reserves in grain filling of wheat. Assessment by steady state $^{13}\text{CO}_2$ / $^{12}\text{CO}_2$ labeling. **Plant Cell and Environment**, v.22, n.7, p.851-858, 1999.

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

GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.48, p.909-930, 2010.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.70–75, 2006.

GUIMARÃES, V.F.; ECHER, M.M.; MINAMI, K. Métodos de produção de mudas, distribuição de matéria seca e produtividade de plantas de beterraba. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n.3, p. 505–509, 2002.

GUTKOSKI, L. C.; KLEIN, B.; PAGNUSSATT, F. A.; PEDÓ, I. Características tecnológicas de genótipos de trigo (*Triticum aestivum* L.) cultivados no cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v.31, p.786-792, 2007.

HARRISON, M. T.; EVANS, J. R.; DOVE, H.; MORRE, A. D. Dual-purpose cereals: can the relative influences of management and environment on crop recovery and grain yield be dissected?. **Crop & Pasture Science**, v.62, n.11, p. 930-946, 2011.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D.; TRINDADE, M. G.; SOARES, B. B.; MOREIRA, J. A. A.; CANOVAS, A. D. Eficiência de uso da radiação solar na produtividade de trigo decorrente da adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 352-356, 2006.

HENNING, F. A.; MERTZ, L. M.; JACOB JR., E. A.; MACHADO, R. D.; FISS, G.; ZIMMER, P. D. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v.69, n.3, p.727-734, 2010.

HOFS, A.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T.; BARROS, A.C.S.A. Efeito da qualidade fisiológica das sementes e da densidade de semeadura sobre o rendimento de grãos e qualidade industrial de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**. Pelotas. v.26, n.2, p.55-62, 2004.

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

KIM, Y.H.; KWAK, S.S. The role of antioxidant enzymes during leaf development. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p.129-150.

KINIRY, J. R. Nonstructural carbohydrate utilization by wheat shaded during grain growth. **Agronomy Journal**, v.85, p.844-849, 1993.

KOCH, F., DELLAGOSTIN, S.M., VILLELA, F.A. AND AUMONDE, T.Z. Deterioração de sementes em pré e pós-colheita. In: AUMONDE, T.Z., PEDÓ, T., MARTINAZZO, E.G. AND VILLELA, F.A., Eds., **Estresses ambientais e a produção de sementes: Ciência e aplicação**, Ed. Cópias Santa Cruz, Pelotas, 2017, p.115-138.

KOLCHINSKI, E. M.; SCHUCH, L.O.B; PESKE, S.T. Crescimento inicial de soja em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.12, n.2, p.163-166, 2006.

KOLCHINSKI. E. M; SCHUCH. L. O. B; PESKE. S. T. Vigor de sementes e competição intraespecífica em soja. **Ciência Rural**, v. 35, n. 6, p. 1248-1256, 2005.

LIMA TC, MEDINA PF, FANAN P (2006) Avaliação do potencial fisiológico de sementes de trigo pelo teste de envelhecimento acelerado. **Revista Brasileira de Sementes**. V.57, n.2, 106-113.

LOCATO, V. et al. Reactive oxygen species and ascorbateglutathione interplay in signaling and stress responses. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfi eld: Science Publishers, 2010. p.45-64.

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

MAIA, P. S. P.; MAIA, P. S. P.; NETO, C. F. de O.; CASTRO, D. da S, FREITAS, J. M. N de.; LOBATO, A. K. da S.; COSTA, R. C. L. da. Conteúdo Relativo de Água, Teor de Prolina e Carboidratos Solúveis Totais em Folhas de Duas Cultivares de Milho submetidas a Estresse Hídrico. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, n.2, p. 918-920, 2007.

MARCOS-FILHO, J. (2015). **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015, 660 p.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2007. 451p.

MELO. P.T.B.S.; SCHUCH. L.O.B.; ASSIS. F.N; CONCENÇO. G. Comportamento Individual de plantas originadas de sementes com diferentes níveis de qualidade

fisiológica em populações de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n.2, p.84-94, 2006.

MIELEZRSKI, F.; SCHUCH, L.O.B.; PESKE, S.T.; PANOZZO, L.E.; PESKE, F.T.; CARVALHO, R.R. Desempenho individual e de populações de plantas de arroz híbrido em função da qualidade fisiológica das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, n.3, p.86-94, 2008.

MILLER, G.; SUZUKI, N.; CIFTCI-YILMAZ S.; MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell and Environment**, v.33, p. 453-467, 2010.

MUNIZ, F.R.; CARDOSO, M.G.; VON PINHO, E.V.R.; VILELA, M. Qualidade fisiológica de sementes de milho, feijão, soja e alface na presença de extrato de tiririca. **Revista Brasileira de Sementes**, v.29, n.2, p.195-204, 2007.

MONDO, V.H.V.; CICERO, S.M.; DOURADO-NETO, D.; PUPIM, T.L.; DIAS, M.A.N. Seed vigor and initial growth of corn crop. **Journal of Seed Science**, v.35, n.1, p.64-69, 2013.

MONDO, V.H.V.; CICERO, S.M.; DOURADO-NETO, D.; PUPIM, T.L.; DIAS, M.A.N. Vigor de sementes e desempenho de plantas de milho. **Brazilian Seed Journal**, v.34, n.1, p.143-155, 2012

MORI, C. Aspectos econômicos da produção e utilização. IN: BORÉN, A.; SCHEEREN, P.L. **TRIGO do plantio à colheita**. Editora UFV, 2015, 260 p.

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

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

OLIVEIRA DM, SOUZA AM, ROCHA VS, ASSIS JC. Desempenho de genitores e populações segregantes de trigo sob estresse de calor. **Bragantia**, v.70, n.1, p.25-32, 2011.

OZTURK. A.; CAGLAR. O.; BULUT. S. Growth and yield response of facultative wheat to winter sowing, freezing sowing and spring sowing at different seeding rates. **Journal of Agronomy and Crop Science**. v.192, p.10-16, 2006.

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

PEDROSO, D. C.; TUNES, L.M.; BARBIERI, A.P.; BARROS, A.C.S.A.; MUNIZ, M.F.B.; MENEZES, V.O. Envelhecimento acelerado em sementes de trigo. **Ciência Rural**, v.40, n.11, p.2389-2392, 2010.

PEIXOTO, C.P.; PEIXOTO, M.F.S.P. Dinâmica do crescimento vegetal: princípios básicos. In: CARVALHO, C.A.L.; DANTAS, A.C.V.L.; PEREIRA, F.A.C.; SOARES, A.C.F.; MELO FILHO, J.F. (Org.). **Tópicos em Ciências Agrárias**. 1 ed. Cruz das Almas - BA: Editora Nova Civilização, v. 1, 2009, p. 37-53.

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

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

RADFORD, P. J. Growth analysis formulae: their use and abuse. **Crop Science**, v. 7, n. 3, p. 171-175, 1967.

RICHARDS, F. J. The quantitative analysis of growth. In: STEWWARD, F. C. (Ed). **Plantphysiology**. New York: Academic Press, 1969. p.3-76.

SACHS, M.; VARTAPETIAN, B. Plant anaerobic stress I. Metabolic adaptation to oxygen deficiency. **Plant Stress**, v.1, p.123-135, 2007.

SANTOS, D.; GUIMARÃES, V.F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S.M.; MACEDO JÚNIOR, E.K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.16, n.8, p.836–842, 2012.

SANTOS. H.P.; MUSNDTOCK. C.M. Parâmetros da habilidade competitiva no estabelecimento de populações caracterizam o potencial de produção individual em trigo e aveia. **Revista Brasileira de Botânica**. v.25, p.43-53, 2002.

SCHEEREN, B.R.; PESKE, S.T.; SCHUCH, L.O.B.; BARROS, A.C.A. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.3 p.035-041, 2010.

SCHUCH, L. O. B.; KOLCHINSKI, E. M.; FINATTO, J. A. Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.1, p.144-149, 2009.

SCHUCH. L.O.B.. LIN. S.S. Efeito do envelhecimento rápido sobre o desempenho de sementes e de plantas de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, n.8, p.1163-1170, 1982.

SCHUCH. L.O.B.; NEDEL. J.L.; ASSIS. F.N.; MAIA. M.S. Crescimento em laboratório de plântulas de aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, v.21, n.1, p.229- 234,1999.

SCHUCH. L.O.B.; NEDEL. J.L.; ASSIS. F.N.; MAIA. M.S. Emergência a campo e crescimento inicial de aveia preta em resposta ao vigor de sementes. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.6, n.2, p.97-101, 2000.

SERKEDJIEVA, J. Antioxidant effects of plant polyphenols: a case study of a polyphenol-rich extract from *Geranium sanguineum* L. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2011, p.275-293.

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

SILVA, C.S. **Vigor de sementes de soja e desempenho da cultura**. 2010. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. UFPel. Pelotas – RS.

SILVA, L.C.; BELTERÃO, N.E.M.; AMORIM NETO, M.S. **Análise do crescimento de comunidades vegetais**. Embrapa Algodão, Campina Grande, 2000. 17p. (Circular Técnica, 34).

SINHÁ, S.; SAXENA, R. Effect of iron on lipid peroxidation, and enzymatic and nonenzymatic antioxidants and bacoside-a content in medicinal plant bacopa monnieri l. **Chemosphere**, v.62, p.1340-1350, 2006.

SLEPER, D. A.; POEHLMAN, J. M. **Breeding field crops**. Ames: Blackwell Pub Iowa, 2006. 424 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954p.

USDA. (1999). **Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys**. Washington: USDA.

VIEIRA, A.R.; VIEIRA, M.; G.G.C.; OLIVEIRA, J.A. Alterações fisiológicas e enzimáticas em sementes dormentes de arroz armazenadas em diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Sementes**, v.22, n.2, p.53-61, 2000.

VIEIRA, F.C.F.; SANTOS JUNIOR, C.D.; NOGUEIRA, A.P.O.; DIAS, A.C.C.; HAMAWAKI, O.T.; BONETTI, A.M. Aspectos fisiológicos e bioquímicos de cultivares de soja submetidos a déficit hídrico induzido por PEG 6000. **Bioscience Journal**, v.29, n.2, p.543-552, 2013.

WIETHOLTER, S. Fósforo no solo e a cultura do trigo. In: YAMADA, T; ABDALLA, S.R.S. (Ed). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da potassa e do fosfato; Instituto internacional da potassa, Piracicaba, 2004. p. 726.

YANG, J.; SEARS, R.G.; GILL, B.S.; PAULSEN, G.M. Growth and senescence characteristics associated with tolerance of wheat-alien amphiploids to high temperature under controlled conditions. **Euphytica**, v.126, p.185-193, 2002.

YOSHIDA, S. Physiological aspects of grain yield. Ann. **Rev. Plant Physiol.**, 23:437-464, 1972.

ZADOKS, J.C.; CHANG, T.T.; KONZAC, C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v.14, p.415-421, 1974.