

LAURA MARITZA SAAVEDRA TOBAR

USO DA TERMOMETRIA DE INFRAVERMELHO NA PREDIÇÃO DE TOLERÂNCIA  
AO CALOR EM TRIGO EM DOIS AMBIENTES DE CULTIVO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA**  
**MINAS GERAIS – BRASIL**  
**2013**

LAURA MARITZA SAAVEDRA TOBAR

USO DA TERMOMETRIA DE INFRAVERMELHO NA PREDIÇÃO DE  
TOLERÂNCIA AO CALOR EM TRIGO EM DOIS AMBIENTES DE CULTIVO

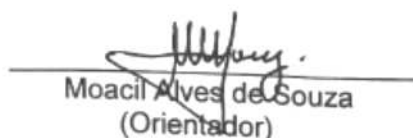
Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Viçosa, como  
parte das exigências do Programa de  
Pós-Graduação em Fitotecnia, para  
obtenção do título de *Magister  
Scientiae*.

APROVADA: 03 de dezembro de 2013.

  
Wagner Luiz Araújo

  
José Eustáquio de Souza Carneiro

  
Tocio Sedyama

  
Moacil Alves de Souza  
(Orientador)

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

T628u  
2013 Tobar, Laura Maritza Saavedra, 1984-  
    Uso da termometria de infravermelho na predição de  
    tolerância ao calor em trigo, em dois ambientes de cultivo /  
    Laura Maritza Saavedra Tobar. – Viçosa, MG, 2013.  
    vi, 32 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Moacil Alves de Souza.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. *Triticum aestivum*. 2. Trigo - Efeito da temperatura.  
3. Stress (Fisiologia). 4. Têrmômetros e termometria.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.  
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22 ed. 633.11

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter-me acompanhado ao longo deste processo, sendo minha luz nos momentos de obscuridade, minha fortaleza nos momentos de debilidade; por ter-me dado uma vida cheia de aprendizagem e experiências e por ter colocado pessoas no meu caminho que contribuíram para que este sonho hoje fosse uma realidade.

A Raul Garzon. Você foi a pessoa que sempre acreditou em mim mesmo quando tudo não passava de um sonho. Você foi a motivação para que eu sentisse que poderia acontecer. Agradeço-lhe por ter sido parte deste processo.

Aos meus pais, Rosa e Jose, pelo amor e o apoio incondicional, pelos ensinamentos dados ao longo da minha vida, por terem me dado os valores fundamentais para a minha formação e me ensinado a valorizar as coisas lindas da vida.

Ao Professor Moacil Alves de Souza, por ter-me dado a confiança e a oportunidade de fazer parte da sua equipe de trabalho, pela orientação e ensinamentos durante o mestrado.

Aos professores Wagner L. Araújo, José Eustáquio de Souza Carneiro e Tocio Sedyama pela participação da banca de defesa.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade que me deram de realizar meu mestrado em tão prestigiosa universidade.

Aos amigos Francisco Rodríguez, Astrid Sepúlveda, Danubia Nobre e Giovana Berbert, pela companhia, amizade e apoio incondicional quando mais precisei.

Aos funcionários do Vale da Agronomia e aos estagiários do Programa Trigo: Helena Santiago, Hilda Glória, Letícia Camargos, Adérico Badaró, Guilherme Valory e João Romero

À Magda Yuran, por ter sido uma grande amiga e companheira neste tempo. Apesar da distância, você sempre me fez sentir mais perto da minha casa e foi uma fortaleza nos momentos em que a saudade se tornava insuportável.

À minha sobrinha Valentina. Meu amor você sempre foi uma grande motivação para mim, só ao escutar a sua voz meu coração se enche de alegria e fortaleza. Te amo.

*Muchas gracias!*

## **BIOGRAFIA**

**Laura Maritza Saavedra Tobar**, filha de José Domingo Saavedra e Rosa Evelia Tobar, nasceu em 22 de julho de 1984 na cidade de Bogotá D.C., Colômbia.

Diplomada Engenheira Agrônoma no ano de 2010 pela Universidade de Cundinamarca, Fusagasugá, Colômbia.

Em março de 2012 ingressou no programa de Mestrado em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, vindo a defender o título de *Magister Scientiae*, em dezembro de 2013.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT .....	vi
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	10
3.1. AMBIENTE E ÉPOCA DE INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS .....	10
3.2. CULTIVARES AVALIADAS .....	11
3.3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	12
3.3.1. AMBIENTE EM VASOS .....	12
3.3.2. AMBIENTE EM SOLO.....	12
3.4. CARÁTERES AVALIADOS .....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS .....	25
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	26

## RESUMO

TOBAR, Laura Maritza, M. Sc, Universidade Federal de Viçosa, Dezembro de 2013. **Uso da Termometria de Infravermelho na Predição de Tolerância ao Calor em Trigo em Dois Ambientes de Cultivo**. Orientador: Moacil Alves de Souza.

Mesmo o trigo sendo originário de climas frios, o uso de cultivares adaptadas possibilita sua produção em regiões de climas tropicais, mas as altas temperaturas durante seu ciclo podem tornar um dos principais estresses abióticos, limitando seu bom desenvolvimento e, conseqüentemente, levando a diminuição drástica no potencial produtivo. A produção de trigo na região central do Brasil é afetada devido aos incrementos da temperatura que se apresentam durante os diferentes estados fenológicos da planta. Deste modo, o conhecimento de metodologias de acesso fácil e de uso prático, que sejam eficientes para a seleção de plantas em condições de campo é imprescindível para a identificação e a obtenção de cultivares com tolerância ao calor. O objetivo deste trabalho foi Avaliar a depressão da temperatura do dossel por meio do método da termometria infravermelha e caracteres agronômicos em cultivares de trigo, semeadas em vasos com solo e em cultivo convencional a fim de comparar o comportamento das cultivares nos dois ambientes, visando qual destas apresentam tolerância ao estresse de calor. O experimento foi conduzido na Estação Experimental Prof. Diogo Alves de Melo – da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado. As cultivares avaliadas foram: Aliança, Anahuac, Embrapa 22, BRS 254, BRS 264 e BRS 207, sendo semeadas no final do mês junho com temperaturas variáveis ao longo do desenvolvimento das plantas. A depressão da temperatura no dossel não apresentou diferenças entre as cultivares. O efeito apresentado foi de local, o que foi atribuído ao fato de que, durante o desenvolvimento das plantas o ambiente não apresentou estresse acentuado pelo calor, considerando que a temperatura média do ar encontrava-se numa faixa entre 18 a 21°C, considerada adequada para o desenvolvimento da cultura de trigo. A ocorrência de ventos possivelmente reduziu a temperatura no dossel das plantas cultivadas em vasos, fazendo com que estas apresentassem maiores valores de depressão de temperatura em comparação com as plantas cultivadas no solo. Para a maioria dos caracteres agronômicos avaliados houve diferença significativa entre ambientes e entre cultivares, apresentando-se o ambiente nos vasos com maiores valores de médias, exceto o índice de colheita e massa de mil grãos que foram maiores no cultivo convencional.

## ABSTRACT

TOBAR, Laura Maritza, M. Sc, Universidade Federal de Viçosa, December 2013. **Use of Infrared Thermometry and the Evaluation of Agronomic Traits in Wheat Cultivar Heat Tolerance Prediction. Coordinator:** Moacil Alves de Souza.

Even though wheat is originated from cold climates, the use of adapted cultivars allows its production in regions with tropical climates, but high temperatures during the crop cycle may become one of the main factors that cause abiotic stress, limiting the well development of the plant and, consequently, a drastic decline in the productivity potential. The wheat production in the central region of Brazil is observed to have been affected because of the increases in temperature which are presented during the different phenological stages, becoming alike to the main limiting factor to its full development. The knowledge of methodologies that are easy to access and are of practical use, which are efficient for plant selection in field conditions is indispensable for the recognition and obtainment of cultivars with tolerance to heat. The objective of this work was to Evaluate canopy temperature depression through the use of infrared thermometry and agronomic traits in wheat cultivars, sown in pots with soil in through conventional cultivation with the intent to compare cultivar reaction to each environment, aiming to confirm which of these present tolerance to heat stress. The experiment was conducted at the Experimental Station Professor Diogo Alves de Melo - of the Federal University of Viçosa (UFV), Viçosa-MG. A completely randomized design was utilized. Six cultivars are utilized for use in the central region of Brazil: Aliança, Anahuac, Embrapa 22, BRS 254, BRS 264 and BRS 207. The cultivars were sown towards the end of July with varying temperatures throughout the development of the plant. There were no significant differences between cultivars when comparing the decline in the temperature of the evaluated plant organs. Only local effects were existent, which was attributed to the fact that, during the general culture development the average air temperature didn't reach values that are considered stressful, being found between 18 and 21°C, which is considered an ideal temperature range for wheat culture. The occurrence of winds may have reduced the canopy temperature of the plants sown in pots, which made these present higher temperature decline values when compared to plants cultivated in the environment's soil. Most of the agronomic traits evaluated present significant differences between environments and between cultivars, being that the pots' environment had the highest average values except for the harvesting index and the weight of one thousand grains, which were bigger in the conventional cultivation.

## 1. INTRODUÇÃO

A produção mundial do trigo é superior a 600 milhões de toneladas por ano (FAO, 2012), posicionando-se como a segunda maior produção de grãos em nível mundial (USDA, 2010). A produção de trigo no Brasil concentra-se principalmente nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná (Schuch et al., 2000), sendo responsável por mais de 90% da produção nacional (CONAB, 2010). A produção brasileira de trigo representa menos de 50% do consumo interno, fazendo com que o Brasil seja um dos principais países importadores e com tendência a que estas importações sejam incrementadas devido às intempéries climáticas que a cultura tem que enfrentar na região sul (Cunha et al., 2001).

A região central do Brasil tem apresentado grande potencial para a expansão do trigo, caracterizando-se por oferecer condições adequadas para o desenvolvimento da cultura, tanto ambientais quanto de comercialização que garante sua sustentabilidade, oferecendo segurança e confiabilidade ao produtor (Albrecht et al., 2005). Porém nesta região tem-se constatado que a ocorrência de temperaturas elevadas constitui o principal fator limitante para o desenvolvimento pleno das plantas, limitando o seu potencial produtivo.

Fato que vem chamando a atenção nos últimos anos é o aquecimento global. Estudos realizados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), com o horizonte de tempo do ano 2060, envolvendo 25 países, entre os quais se encontra o Brasil, projetam impactos negativos do aumento da temperatura nas culturas de trigo e de milho. Por outro lado, ao avaliar quatro cenários de emissões de gases há previsões de que até 2100 a temperatura no planeta possa aumentar entre 0,3 °C e 1,7 °C se implementadas políticas climáticas para a diminuição de emissões de gases (IPCC, 2007).

Como consequência do estresse ao calor no trigo, vários autores tem reportado redução na fotossíntese, aumento da respiração, inibição na síntese de amido no desenvolvimento de grãos, redução do número de espigas por planta, do número de grãos por espiga, do peso dos grãos e aceleração da senescência da planta.

É necessário implementar estratégias de sustentabilidade na triticultura brasileira, que visem significativos aumentos de produção mantendo as normas de qualidade do grão e visando uma melhoria do mesmo. Além disso, tem-se que priorizar a diminuição das importações mediante a expansão da área cultivada já que ainda se importa a maior parte do trigo consumido no Brasil (Agrianual, 2008).

Desta forma, estratégias que visem à autossuficiência na produção de trigo devem ser priorizadas e desenvolvidas para garantir a segurança alimentar, tendo em conta que o trigo é um dos cereais com maior geração de produtos na alimentação humana.

Objetivou-se neste trabalho avaliar a depressão da temperatura do dossel por meio do método da termometria infravermelha e caracteres agronômicos em cultivares de trigo, cultivadas em vasos com solo e em cultivo convencional, visando tolerância ao calor.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O trigo (*Triticum aestivum* L.) foi uma das primeiras espécies a ser cultivada no mundo, sendo uma planta originária do cruzamento de outras gramíneas silvestres que existiam próximas ao rio Tigre e Eufrates (Silva et al., 2000). Pertence à família Poaceae, tribo Triticeae (Hordeae), sub-tribo Triticinae e gênero *Triticum*. A sub-tribo compreende quinze espécies, reunidas em três grupos, derivados em função do seu número de cromossomos, sendo  $n=7$ , a série diplóide constituída por 14 cromossomos, tetraplóide por 28 cromossomos e hexaplóide por 42 cromossomos (Sleper e Poehlman, 2006).

O centro de origem do trigo é no sudoeste da Ásia, na costa do Mar Mediterrâneo e tem sido cultivado há mais de 10.000 anos (Sleper e Poehlman, 2006). Por ser um alimento básico para grande maioria da população, é cultivado em diferentes condições ambientais, desde a Argentina até a Finlândia, o que exige trabalhos intensos de seleção, visando à adaptação da cultura ao ambiente de cultivo (Klar e Denadai, 1996; Fumis et al., 1997). Até chegar aos tipos de trigo hoje conhecidos, muitos anos de pesquisa e melhoramento foram necessários.

No Brasil a cultura do trigo vem alcançando, a cada dia, maior importância frente aos países produtores e exportadores, alicerçada nos ganhos de produtividade, na rentabilidade e na melhoria de sua qualidade industrial (Tibola et al., 2008).

O *Triticum aestivum* está entre as espécies vegetais de maior importância para a alimentação humana. A composição única de suas proteínas de reserva, que permite a obtenção de vários produtos por meio do processo de panificação, faz do trigo um cereal mundialmente consumido (Joshi et al., 2007). Este cereal possui importante papel no aspecto econômico e nutricional da alimentação humana, pois a sua farinha é largamente utilizada na indústria alimentícia (Ferreira, 2003). Devido às características de composição do seu grão, o trigo é utilizado na fabricação de pães, bolos, biscoitos, barras de cereais, além de macarrões, massas para pizza entre outras utilizações de seus derivados pela indústria. Sua diversidade de utilização, suas características nutricionais e sua facilidade de armazenamento têm feito do trigo o alimento básico de aproximadamente um terço da população mundial (Sleper e Poehlman, 2006), fornecendo 500 kcal de energia *per capita* por dia na China e na Índia, e mais de 1400 kcal *per capita* por dia no Irã e na Turquia (Dixon, 2009).

O trigo caracteriza-se por ser de clima frio, gerando uma produção mundial superior a 600 milhões de toneladas por ano e tendo a segunda maior produção de grãos em nível mundial (USDA, 2010). No Brasil a produção de trigo concentra-se na região Sul do país, nos estados do Rio Grande do Sul e Paraná, sendo esta cultura uma das principais alternativas de cultivo no inverno (Schuch et al., 2000), onde se obtém mais do 90% da produção nacional, que em média é de quatro milhões de toneladas (CONAB, 2010). Porém esta produção representa menos de 50% do consumo interno do cereal, o qual faz com que o Brasil seja um dos principais importadores deste cereal no mundo.

A migração do trigo em direção aos pólos e ao Equador pode ser atribuída à seleção natural e ao desenvolvimento de novas cultivares adaptadas às condições ambientais específicas (Cargnin et al., 2006). Nesse contexto, a região do Brasil Central apresenta ótimas condições para o estabelecimento e expansão da cultura de trigo, por oferecer características desejáveis que contribuem para o bom desenvolvimento da cultura, tais como, clima e solo, posição estratégica de mercado, capacidade de industrialização, características superiores de qualidade industrial para panificação, além de poder ser colhido na entressafra da produção dos estados do Sul (Albrecht et al., 2005).

O interesse em maximizar o rendimento de trigo tem estimulado o uso de um manejo intensivo nessa cultura. Esse manejo integra a adoção de determinadas práticas, como época de semeadura, espaçamento e densidade de semeadura adequada, aumento do nível de fertilidade do solo e controle de doenças, insetos e de acamamento de plantas (Rodrigues e Teixeira, 2003).

Segundo Sleper e Poehlman (2006) desde os primeiros trabalhos de melhoramento genético da cultura do trigo busca-se o aumento na produção e na qualidade de grãos, além de modificações na arquitetura das plantas, resistência ao acamamento, pragas e doenças. Atualmente os objetivos do melhoramento do trigo, visam o desenvolvimento de novas cultivares com tolerância ao calor, melhor potencial produtivo, melhor estabilidade de produção e que demonstrem adaptabilidade e qualidade no produto final.

O aumento de temperatura durante a época de cultivo constitui o principal fator limitante para o desenvolvimento pleno das plantas de trigo na região do Brasil-Central. Temperaturas acima ou abaixo das temperaturas críticas para esta espécie induz em perdas quantitativas e qualitativas na sua produção. Nesta região a produtividade de grãos de trigo pode-se reduzir em torno de 50%, quando se

compara as sementeiras no final do verão com as de inverno (Souza e Ramalho, 2001).

O estresse térmico é definido como o aumento da temperatura acima do valor crítico, por período de tempo suficiente para causar danos irreversíveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Souza et al., 2011). Segundo esses mesmos autores, desvio dos valores de temperatura, acima da faixa ótima, implica em alterações nos diversos processos metabólicos, que em casos extremos culminam com a morte prematura das plantas. A temperatura ótima para o desenvolvimento de trigo está na faixa de 18-24°C. Períodos curtos de exposição do trigo a temperaturas superiores a esta faixa, principalmente superior aos 30°C, proporcionam perdas significativas no rendimento de grãos e redução da qualidade destes (Stone e Nicolas, 1994).

O excesso de calor, além de induzir perdas quantitativas e qualitativas na produção, encurta a duração do ciclo, reduz a área foliar, a estatura das plantas, a porcentagem de fecundação das flores, encurta o período de enchimento e acelera a senescência, além de diminuir o peso médio dos grãos do trigo. A fotossíntese é um dos processos fisiológicos mais sensíveis ao calor (Demirevska-Kepova et al., 2005), principalmente por causa da sensibilidade da membrana do tilacóide, com redução da produção de clorofila (Ristic et al., 2007). Em contrapartida, a respiração aumenta acentuadamente com a elevação da temperatura Taiz e Zeiger (2004). Como consequência, ocorre redução na síntese de amido e da deposição do mesmo nos grãos, afetando negativamente a produtividade (Harding et al., 1990).

As primeiras consequências atribuídas ou estresse por calor podem ser observados na fase de germinação e emergência das plântulas. Temperaturas superiores a 35°C sobre as sementes de trigo influenciam na mobilização das reservas, afetando as enzimas envolvidas na hidrólise do amido, suprimindo os nutrientes no embrião, afetando a capacidade e velocidade de germinação e o vigor, (Essemine et al., 2010). Seguidamente após a emergência, o aumento da temperatura no solo têm efeitos negativos sobre o potencial de crescimento da planta, ocorrendo redução no desenvolvimento das raízes e dos perfilhos (Souza, 1999). Na fase vegetativa, ou seja, da emergência ao início da diferenciação floral, pode-se observar mais acentuadamente redução do ciclo total da planta, ocasionada pelas altas temperaturas; além de reduções da altura das plantas e na área foliar.

A redução na área foliar é resultado do menor tamanho das folhas e diminuição no número de folhas por planta e de perfilhos (Souza, 1999). De acordo

com Porter e Gawith (1999) temperaturas superiores a 25°C reduzem o crescimento e alongamento do colmo, resultando em plantas de estatura reduzida, e ao mesmo tempo se apresenta uma inibição na formação de novas folhas, além de paralisar o desenvolvimento das mesmas.

O surgimento dos primeiros afilhos está intimamente associado com a emergência da folha, sendo que o aparecimento do primeiro perfilho somente ocorre após a formação completa da terceira folha, encerrando o desenvolvimento antes da antese. A redução do período para ocorrer o florescimento provoca redução drástica no número de afilhos por planta (Kleper et al., 1998). Hossain et al. (2012) observaram que temperaturas maiores que 30°C na fase vegetativa proporcionam menor quantidade de afilhos afetando negativamente a produtividade, uma vez que as plantas não conseguem se recuperar do estresse submetido.

Temperaturas superiores a 25°C na fase reprodutiva, que é uma etapa altamente sensível à temperatura (Souza, 1999; Farooq et al., 2011), afetam a formação do número de espiguetas e o número de grãos por espiguetas, interferindo na diferenciação dos componentes da espiga e na fecundação das flores, (Kleper et al., 1998; Porter e Gawith, 1999). Esta etapa acontece quando as plantas apresentam de duas a quatro folhas visíveis, caracterizada pelo estágio de iniciação da espiguetas terminal, onde ocorre a definição do número potencial de espiguetas/planta (Rodrigues et al., 2011).

Como se tem visto o estresse por calor afeta negativamente vários caracteres em trigo, com ênfase para os caracteres dias entre a emergência e o florescimento, e dias entre a emergência e a maturação, provocando reduções de 65 e 81 dias, respectivamente (Yildirim e Bahar, 2010). Em outro trabalho o efeito da temperatura elevada antecipou em 20 dias a antese em genótipos de trigo semeados em épocas tardias, com presença de temperaturas elevadas na fase reprodutiva (Ayenehet al., 2002).

Já a ocorrência de calor durante a antese aumenta a esterilidade das flores, afetando o número de grãos por espiga (Farooq et al., 2011) podendo provocar a esterilidade completa (Neilson et al., 2010). Aumentos de temperaturas de 15/10°C (diurno/noturno) para 21/16°C reduziu de 60 para 36 dias a duração do enchimento de grãos e quando a temperatura aumentou para 30/25°C o enchimento de grãos reduziu para 22 dias, afetando significativamente o peso de grãos (Streck, 2005). Resultado similar também foi verificado por Majoul et al. (2003) e Farooq et al. (2011). Além disso, a senescência precoce da folha tem sido considerada como

expressão da sensibilidade ao calor, reduzindo a área foliar ativa implicando em redução da fotossíntese e, conseqüentemente, redução da produção de grãos (Souza, 1999).

O estresse térmico submetido após a antese induz o desenvolvimento de grãos enrugados e com peso reduzido, afetando a força de glúten, e principalmente, diminuindo a qualidade da farinha (Dias et al., 2008). A temperatura elevada tem sido identificada como um dos fatores ambientais que afetam a qualidade do trigo (Majoul et al., 2003), principalmente na fase de enchimento de grãos, comprometendo o conteúdo de proteínas, classificadas em metabólicas (globulinas e albuminas) e estruturais ou de reserva (gliadinas e gluteninas). As proteínas de reserva são as mais importantes para a qualidade industrial, pois associam a elasticidade das gluteninas e extensibilidade (ou viscosidade) das gliadinas, determinando o comportamento da massa. Altas temperaturas provocam efeitos deletérios sobre a qualidade da massa (Neilson et al., 2010), alterando a relação de gliadinas e gluteninas, aumentando a síntese de gliadinas enquanto que a síntese de gluteninas se mantém estável (Majoul et al., 2003).

A compreensão e avaliação dos mecanismos bioquímicos e fisiológicos em âmbito celular, molecular e morfológico, em complemento aos métodos tradicionais de seleção, constituem alternativas para selecionar genótipos tolerantes ao estresse de calor (Souza et al., 2011). A capacidade das plantas de sobreviverem e, principalmente, produzir elevados rendimentos de grãos é considerado como o principal mecanismo de tolerância ao calor (Wahid et al., 2007).

A tolerância ao estresse por calor esta associada à capacidade de genótipos em manter as taxas fotossintéticas estáveis sob altas temperaturas (Blum et al., 1994). Algumas alterações e mecanismos que possibilitem que as plantas possam enfrentar o estresse de calor podem ser caracterizadas conforme Wahid et al. (2007): stay-green, termoestabilidade de membrana, proteínas de choque térmico, além da atividade antioxidante (Farooq et al., 2012; Essemine et al. 2010). Também a planta apresenta características de escape para enfrentar o estresse por calor, entre as quais se destacam a depressão da temperatura dossel e a precocidade.

O caráter stay-green é caracterizado por prolongamento na duração da área verde dos colmos e das folhas, determinando que a fase de senescência se estenda (Silva et al., 2008). Na presença de estresse térmico a senescência foliar aumenta principalmente nas fases de pós-florescimento e enchimento de grãos (Farooq et al., 2011), com isto identificar genótipos tolerantes a senescência foliar, ou seja, com a

presença do caráter “stay-green”, demonstra ser uma eficiente estratégia no melhoramento para tolerância ao calor (al-Karaki, 2012). Colaborando com este fato, Fokar et al. (1998b) sugerem que o atraso na senescência foliar pode ser considerado como característica genética indicadora de tolerância ao calor, em função de favorecer a maior capacidade de enchimento de grãos sob temperaturas elevadas.

A termoestabilidade de membrana tem sido amplamente utilizada em estudos de tolerância ao calor, sendo uma característica herdável (Fokar et al., 1998) e com alta correlação com rendimento de grãos (Reynolds et al., 2001) e índice de tolerância ao calor (Dhanda e Munjal, 2006). O rompimento da membrana celular possibilita a fuga de eletrólitos das células para o meio e a concentração destes é quantificada pela condutância elétrica (Souza et al., 2011), sendo que a menor condutividade elétrica indica maior tolerância ao calor. Estudando a termoestabilidade de membrana, Dias et al. (2010) identificaram genótipos tolerantes ao estresse térmico através da alteração de alguns ácidos graxos. Dhanda e Munjal (2006) identificaram genótipos com capacidade geral de combinação para termoestabilidade de membrana, que podem ser utilizados em hibridações artificiais visando à seleção de populações tolerantes ao calor.

Quando o trigo é submetido ao estresse térmico ocorre redução na síntese de proteínas (Blumenthal et al., 1994), afetando a inibição e degradação das mesmas, porém algumas proteínas, denominadas de HSPs (proteínas de choque térmico), são induzidas, podendo muitas vezes melhorar o seu desempenho quando expostas as altas temperaturas (Xu et al., 2011). Os mesmos autores apresentam algumas HSPs associadas com tolerância ao calor em trigo. Essas proteínas, juntamente com seus fatores de transcrição de choque térmico (HSFs), estão envolvidas em mecanismos moleculares de tolerância a altas temperaturas, agindo como chaperonas moleculares pela manutenção da homeostase do dobramento de proteínas. Em função dessas propriedades, as proteínas são mantidas intactas, sem modificações em suas estruturas e vias metabólicas.

Na presença de temperaturas elevadas, as plantas desenvolvem reações defensivas na ativação de vários genes responsáveis pela síntese de um conjunto de substâncias, entre elas as peroxidases, enzimas que favorecem a oxidação das células produzindo radicais livres que agem nas membranas celulares e proteínas causando danos ou morte celular (Essemine et al., 2010). Sairam et al. (2000) relatam que o estresse térmico favorece o surgimento de espécies ativas ao oxigênio

(EROS) como o radical superóxido ( $O_2^-$ ), o radical hidroxila ( $OH^-$ ) e o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) que constituem o estresse oxidativo, causam peroxidação lipídica, provocando injúrias na membrana, degradação e inativação de proteínas e rompimento da estrutura do DNA. A eliminação das EROS é um dos principais mecanismos de defesa das plantas, sendo realizada pela presença de enzimas antioxidantes (superóxido dismutase, ascorbato peroxidase, glutatona redutase e catalase) e por metabólitos secundários da própria planta (glutaciona, ácido ascórbico e carotenóides).

Allakhverdiev et al. (2008) relatam que a presença de enzimas antioxidantes nas plantas representa um papel importante na proteção das mesmas contra o estresse de altas temperaturas. Sairam et al. (2000), comparando genótipos tolerantes e suscetíveis ao estresse de calor, comprovaram que os genótipos tolerantes apresentavam maior conteúdo de antioxidantes endógenos (superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e catalase) além de menor teor de  $H_2O_2$  e peroxidação lipídica.

O desenvolvimento de genótipos precoces de trigo que apresentem longos períodos da emergência ao florescimento, seguido por um período curto da floração à maturação fisiológica das plantas, porém, com elevadas taxas de enchimento de grãos, representa uma característica de escape ao estresse térmico, (Al-karaki, 2012).

Depressão da temperatura do dossel é definida pela diferença da temperatura do dossel com a do ar ambiente, onde o grau de resfriamento reflete a taxa de evapotranspiração da planta, ou seja, quanto maior a diferença de temperatura maior é a tolerância ao calor. Dessa forma, as plantas tolerantes são capazes de manter a temperatura dos órgãos em níveis normais, bem como as atividades de respiração e transpiração, mesmo em condições de estresse. Medição direta da temperatura das plantas com auxílio de termômetros infravermelhos portáteis demonstra ser uma ferramenta rápida, fácil e eficiente na avaliação de genótipos sob estresse de calor (Ali et al., 2010). Para o estudo do estresse térmico, o ideal é realizar irrigações artificiais dois a três dias antes das aferições, realizando estas sempre nos horários entre 12 e 15h e de preferência com ausência de nuvens, sendo a fase reprodutiva a mais adequada para a mensuração (Ayeneh et al., 2002).

A depressão da temperatura do dossel tem sido utilizada para estimar o efeito do estresse térmico em trigo, pois apresenta correlação com rendimento de grãos em condições irrigadas, ou seja, para evitar o confundimento com o estresse hídrico

(Reynolds et al., 1994). Ayeneh et al. (2002) avaliando a depressão da temperatura do dossel juntamente com a temperatura de depressão de outros órgãos como a folha bandeira, a espiga e o pedúnculo verificaram alta associação com rendimento de grãos. Pierre et al. (2010) indicaram ganhos genéticos para a temperatura do dossel utilizando o melhoramento convencional, identificando presença de efeitos epistáticos e de dominância para essa característica, de forma que sua utilização é mais confiável em gerações avançadas, por exemplo: famílias derivadas das gerações  $F_4$  e  $F_5$ , as quais apresentam reduzidas frequências de loco em heterozigose.

Deste modo, uma das possibilidades do aumento da produção de trigo no Brasil, visando garantir uma sustentabilidade na produção e diminuição das importações, é o desenvolvimento de genótipos, tolerantes ao estresse de calor, que possam ser cultivados amplamente nas novas fronteiras agrícolas como o Brasil Central que oferece grande área e ótimas condições para expansão da triticultura.

Conhecer e compreender os efeitos e as alterações do estresse de calor sobre o desenvolvimento das plantas de trigo, bem como as características utilizadas na identificação de genótipos tolerantes demonstra ser um critério eficiente de seleção de genótipos tolerantes em programas de melhoramento genético. Dessa forma, o conhecimento dos mecanismos de resposta e tolerância das plantas ao estresse de calor possibilitará o desenvolvimento de genótipos com elevados rendimentos em condições de estresse de calor.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Ambiente e Época de Instalação dos Experimentos**

O experimento foi realizado em condições de campo na área experimental Prof. Diogo Alves de Melo, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (20°45'S, 42°51'W e altitude de 651 metros). As cultivares foram semeadas em dois ambientes: em vasos de oito litros contendo solo e diretamente no solo em cultivo convencional. Foram feitas as mesmas práticas culturais para ambos ambientes. A semeadura nos vasos e no solo foi realizada no final do mês de junho, onde se apresentaram condições climáticas variáveis durante o desenvolvimento das plantas.

### 3.2. Cultivares Avaliadas

Foram utilizadas seis cultivares de trigo recomendadas para a região central do Brasil, selecionadas com base na adaptabilidade e estabilidade de produção, as quais são descritas a seguir:

**Aliança:** cultivar desenvolvida pela EPAMIG; é recomendada para cultivo de sequeiro nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Distrito Federal e Goiás (CONDÉ et al., 2011). Devido ao seu desempenho em múltiplos ambientes, tem se destacado pela sua tolerância à seca, boa palha e boa resistência às manchas foliares. Possui mediana tolerância ao calor (Oliveira et al., 2011).

**Anahuac:** cultivar de origem mexicana, desenvolvida pelo CIMMYT; foi introduzida e recomendada para cultivo no Brasil na década de 1980. No Brasil-Central é cultivada com irrigação, apresenta porte baixo, possui ampla adaptação e tolerância ao calor (Souza e Ramalho, 2001).

**Embrapa 22:** cultivar desenvolvida pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e indicada para cultivo irrigado nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Distrito Federal, Goiás e Bahia. Apresenta ciclo precoce e porte médio. É recomendada para cultivo em ambientes favoráveis ao cultivo de trigo irrigado (Albrecht et al., 2007).

**BRS 254:** cultivar indicada para cultivo irrigado nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Distrito Federal e Goiás. Apresenta ciclo precoce, porte médio, alto potencial produtivo e boa qualidade industrial. É recomendada para cultivo em ambientes desfavoráveis ao cultivo de trigo irrigado (Albrecht et al., 2007).

**BRS 264:** cultivar indicada para cultivo irrigado nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Distrito Federal e Goiás. Apresenta ciclo precoce, porte médio e alto potencial produtivo. Esta cultivar apresenta adaptabilidade geral para o Cerrado do Brasil-Central (Albrecht et al., 2007).

**BRS 207:** cultivar desenvolvida pela Embrapa Cerrados. Apresenta ciclo médio, porte baixo e alto potencial de produtividade de grãos. Recomendada para condições favoráveis ao cultivo de trigo irrigado no Cerrado do Brasil-Central (Albrecht et al., 2007), nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Distrito Federal e Goiás.

### **3.3. Procedimentos Experimentais**

#### **3.3.1. Ambiente em vaso**

A unidade experimental foi composta por um vaso contendo cinco plantas. Utilizaram-se vasos de polietileno preto, com capacidade de oito litros, sendo cada vaso uma repetição, sendo cinco repetições por tratamento (Figura 1).

Os vasos foram preenchidos com solo coletado do Horizonte A, sob mata. As adubações foram realizadas de acordo com a análise do solo e a recomendação para a cultura do trigo (Comissão, 2012) sendo os cálculos feitos para 500 litros de solo. No qual se incorporou 550 g de calcário e 200 g de superfosfato simples, e se deixou incubando por cinco dias. No quinto dia realizou-se a adubação com 25 g de cloreto de potássio (KCl) e 25 g de sulfato de amônio como fonte de nitrogênio. Seguidamente procedeu-se a encher os vasos e a fazer a respectiva semeadura.

Foram semeadas sementes suficientes para garantir a germinação de cada cultivar em cada vaso. Os vasos foram deixados em condições de campo, espaçados de 20x20 cm; após a emergência procedeu-se desbaste, deixando somente cinco plantas em cada vaso.

As adubações de cobertura foram feitas em três etapas; as primeiras duas foram realizadas aos 15 dias e 35 dias após emergência, utilizando dose de 60 kg/ha de nitrogênio e a terceira adubação de cobertura foi realizada aos 50 dias após emergência, utilizando 300 kg/ha da fórmula 20-5-20.

#### **3.3.2. Ambiente em solo**

O cultivo no solo foi feito de maneira convencional (Figura 2.) segundo as recomendações para a cultura de trigo (Comissão, 2012). A unidade experimental (repetição) foi constituída por uma parcela de três linhas de 2,0 m de comprimento, sendo cinco repetições por tratamento, com espaçamento entre linhas de 20 cm, conferindo área total de 36 m<sup>2</sup> e a densidade de semeadura foi de 350 sementes aptas por m<sup>2</sup>.

O preparo do solo foi feito aplicando 2,22 t/ha de calagem e posteriormente a adubação foi realizada no sulco de semeadura aplicando-se 300 kg/ha de NPK da fórmula 08-28-16. As adubações de cobertura foram realizadas em três etapas; as primeiras duas realizaram-se aos 15 dias e 35 dias após emergência, utilizando dose de 60 kg/ha de N e a terceira adubação de cobertura foi realizada por aos 50 dias após emergência, utilizando 300 kg/ha da fórmula 20-5-20.

Para ambos os ambientes, a irrigação foi de acordo com a necessidade e estágio de desenvolvimento das plantas, mantendo a umidade do solo próximo à

capacidade de campo, de maneira que as plantas não sofressem estresse hídrico. O controle químico de doenças foi realizado de modo preventivo utilizando o fungicida sistêmico Aproach Prima (Picoxystrobina + Ciproconazole) na dose de 300 mL p.c./ha. Do mesmo modo, fez-se o controle preventivo de pragas aplicando o inseticida-acaricida Lorsban de contato e ingestão, do grupo químico organofosforado, na dose de 1,5 L/ha. O controle de plantas daninhas realizou-se manualmente quando necessário.



Figura1. Ambiente Em Vaso.



Figura 2. Ambiente Em Solo.

Para as avaliações dos diferentes caracteres adotou-se a escala de Zadoks et al. (1974) para a identificação dos estádios de desenvolvimento da planta. Os caracteres mensurados para cada tratamento foram: depressão da temperatura da folha bandeira (DTFB), depressão da temperatura na espiga (DTE), dias entre a emergência e o espigamento (DEE), dias entre a emergência e a maturação (DEM), número de espigas por repetição, número de grãos por espiga, matéria seca total em dez espigas, rendimento de grãos (RG), determinado pela pesagem da produção de dez espigas de cada repetição, massa de mil grãos e índice de colheita.

As mensurações de temperatura, na folha bandeira e na espiga foram feitas nas cinco plantas- mães de cada vaso e no solo foram realizadas, aleatoriamente, em cinco plantas de cada parcela, mensurando a folha bandeira e a espiga que estava em perfeitas condições. Para a obtenção dos dados de produção, colheram-se as cinco plantas de cada vaso e no solo colheu-se toda a linha central de cada parcela. Para manter a equivalência do número de plantas nos dois ambientes, tomou-se uma amostra de dez colmos com suas respectivas espigas tanto no solo como nos vasos. O restante do material foi utilizado para fazer matéria seca total, número de grãos total e índice de colheita total.

### **3.4. Caracteres avaliados**

A seguir são descritas as características que foram avaliadas tanto no ambiente solo quanto no ambiente vaso, tendo em conta que os procedimentos foram realizados da mesma forma para os dois locais com o fim de minimizar o erro experimental.

- **Depressão da temperatura da folha bandeira e da espiga:** O valor da depressão da temperatura foi calculado subtraindo-se a temperatura do ar da temperatura de cada órgão mensurado. Foram realizadas seis medições de temperatura na superfície da folha bandeira e da espiga, durante o estado vegetativo e reprodutivo da planta, entre o começo do espigamento até o enchimento de grãos. Foi mensurada a temperatura em cada uma das cinco plantas-mães de cada vaso e cinco plantas selecionadas em cada parcela no solo. O órgão medido em cada mensuração foi a última folha completamente desenvolvida e nas duas últimas leituras fez-se a medição na folha bandeira e na espiga, sendo estas realizadas na fase reprodutiva. Utilizou-se um termômetro digital portátil com dispositivo de luz infravermelha (Mult Temp –Incoterm com escala de -60 a +500°C e precisão  $\pm 2^\circ\text{C}$ ), sendo a relação entre a distância (D) e o tamanho do ponto do laser (S) de 12:1.

A posição do aparelho foi com o laser sempre perpendicular ao órgão a ser medido. Para medir a temperatura em folha, esta foi estendida na horizontal e o laser atingindo sua face adaxial na porção mediana. Para medir a temperatura na espiga, o laser foi apontado para a parte mediana da espiga. As medições foram feitas entre 12 e 15h, em pleno sol e ausência de nuvens. Os dados da temperatura máxima do ar foram obtidos na Estação Meteorológica da Universidade Federal de Viçosa.

- **Espigamento:** determinado como o intervalo em dias entre a emergência das plantas e o espigamento (DEE), nos estádios 56 a 58 da escala de Zadoks.

- **Enchimento de grãos:** número de dias entre o espigamento (estádios 56 a 58 da escala de Zadoks) e a maturação fisiológica dos grãos (estádios 87 a 89).

- **Ciclo total:** dias entre a emergência e a maturação (DEM), determinado como o intervalo em dias entre a emergência das plantas até a maturação fisiológica a qual compreende o ciclo total da planta, (estádios 87 a 89 da escala de Zadoks).

- **Número de grãos por espiga:** foi realizado tomando uma amostra de dez espigas tanto no solo quanto nos vasos, da qual se fez a contagem do número de grãos de cada espiga.

- **Rendimento de grãos de 10 espigas:** foi determinado por meio da massa de grãos contida numa amostra de dez espigas das plantas dos vasos e da linha central de cada parcela das plantas do solo

- **Massa seca de 10 espigas:** obtida pela massa total de uma amostra de 10 colmos incluindo os grãos e palha, determinada após as amostras serem submetidas à secagem à temperatura de 70°C por 72 horas, até atingirem massa constante.

- **Massa de mil grãos:** determinada de acordo com as Regras de Análise de Sementes (Brasil, 2009). Os grãos de 10 espigas foram submetidos à secagem à temperatura de 70°C, por 72 horas, até atingirem massa constante. Foram contados manualmente quatro repetições de 100 grãos e a média obtida foi extrapolada para massa de 1000 grãos.

- **Índice de colheita:** foi obtido pela razão entre a massa de grãos e a massa da matéria seca total da parte aérea. A determinação foi realizada após as amostras serem submetidas à secagem à temperatura de 70°C por 72 horas até atingir massa constante. Este procedimento foi realizado com a amostra de 10 espigas e o total das plantas coletadas nos vasos e no solo.

Os dados obtidos de cada ambiente foram submetidos à análise de variância. Posteriormente foi realizada a análise conjunta. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade. Todas as análises foram feitas utilizando *software* SAS.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Realizou-se a análise de variância conjunta (Tabelas 1 e 2) para os dois ambientes de cultivo (solo e vasos). Esta análise revelou significância para a maioria das características avaliadas, entre ambientes e entre as cultivares. Na avaliação da

depressão da temperatura do dossel foi constatada diferença entre os dois ambientes, onde as plantas cultivadas nos vasos apresentaram valores superiores de depressão de temperatura, quando comparadas com as plantas cultivadas em condições de campo. Entretanto, não foi constatada diferença entre cultivares.

Para a depressão da temperatura os coeficientes de variação encontram-se entre 15,17% e 28,34% (Tabela 1), abaixo dos valores obtidos por Freitas (2013), em ambiente em vasos, cujos coeficientes de variação para depressão da temperatura no dossel variaram entre 24,05% e 107,94%.

Para os caracteres agrônômicos os coeficientes de variação dos experimentos encontram-se entre 2,13 e 10,68% (Tabela 2), os quais, conforme Gomes (2009) são considerados adequados para experimentos desta natureza.

TABELA 1. Resumo das análises de variâncias conjunta dos caracteres depressão da temperatura da folha bandeira (DTFB) e depressão da temperatura da espiga (DTE) avaliados em seis cultivares de trigo, cultivadas em dois ambientes (solo e vasos). Viçosa-MG, 2013.

Fonte de Variação	G.L.	DTFB 41 dias após emergência	DTFB 42 dias após emergência	DTFB 55 dias após emergência	DTFB 68 dias após emergência	DTFB 69 dias após emergência	DTE. 69 dias após emergência
Ambiente (A)	1	50,7840**	47,2416**	49,7224**	100,673**	263,7606**	249,2881**
Cultivar (C)	5	0,5679 <sup>ns</sup>	0,7209 <sup>ns</sup>	0,7324 <sup>ns</sup>	0,8007 <sup>ns</sup>	1,9837 <sup>ns</sup>	1,5933 <sup>ns</sup>
A x C	5	1,1439 <sup>ns</sup>	1,8031 <sup>ns</sup>	1,0747 <sup>ns</sup>	0,5013 <sup>ns</sup>	0,8102 <sup>ns</sup>	0,4930 <sup>ns</sup>
Resid. Médio	48	1,7838	1,6488	1,2666	1,3927	0,9434	1,8922
Média		5,97	6,42	7,41	5,52	5,19	4,85
C.V. (%)		22,34	19,97	15,17	21,35	18,69	28,34

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo pelo teste F.

Conforme os resultados apresentados (Tabela 1), para a depressão da temperatura houve diferenças apenas para o efeito entre ambiente de semeadura ao longo das avaliações realizadas na folha bandeira e na espiga, atingindo médias entre 7,41°C de depressão da temperatura da folha bandeira (DTFB) e 4,85°C de depressão da temperatura da espiga (DTE). A DTFB e a DTE, entre a fase vegetativa e reprodutiva obtida pela termometria infravermelha, não diferiu entre as cultivares avaliadas.

Na Tabela 3 são apresentadas as médias da depressão da temperatura da folha bandeira e da espiga. Conforme constatado na análise de variância (Tabela 1), somente houve efeito significativo entre as médias dos ambientes (solo e vaso). Esperava-se que a depressão da temperatura das plantas cultivadas no solo fosse maior do que nas plantas cultivadas nos vasos. Isto pelo fato das plantas cultivadas diretamente no solo encontrar-se no seu ambiente natural de produção, podendo ter

melhor desenvolvimento radicular que favorece a planta nos seus diferentes processos fisiológicos, porém constatou-se o oposto nas diferentes avaliações realizadas (Tabela 3).

TABELA 2. Resumo das análises de variância conjunta de caracteres avaliados em seis cultivares de trigo cultivadas em dois ambientes (solo e vasos). Viçosa-MG, 2013.

Fonte de Variação	G.L.	Espiga-mento (dias)	Enchimento de grão (dias)	Ciclo Total (dias)	Nº de grãos/espiga	Massa Seca Total/ 10 espiga (g)	Massa de 1000 grãos (g)	Índice de Colheita (%)
Ambiente (A)	1	260,4166**	81,6666**	633,7500**	3194,4807**	423,2055**	381,1672**	0,0566**
Cultivar (C)	5	155,4166**	98,0666**	105,8166**	449,8684**	43,1287**	53,7129 <sup>ns</sup>	0,0104**
A x C	5	1,4166**	38,9066**	49,3900**	20,8330 <sup>ns</sup>	5,3898 <sup>ns</sup>	8,2911 <sup>ns</sup>	0,0009 <sup>ns</sup>
Resid. Médio	48	0,00000	4,0500	4,0500	19,9722	4,5967	11,6671	0,0007
Média		59,08	35,13	94,21	62,18	20,22	31,95	0,504
C.V. (%)		0,0	5,72	2,13	7,18	10,59	10,68	5,42

\*\* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ns: não significativo pelo teste F.

TABELA 3. Médias das mensurações de depressão da temperatura na folha bandeira (DTFB) e da espiga (DTE) avaliadas em seis cultivares de trigo em dois ambientes de cultivo (solo e vasos) Viçosa-MG, 2013.

Ambiente	CULTIVARES						Média
	Aliança	Anahuac	BRS 207	BRS 254	BRS 264	Embrapa 22	
DTFB 41 dias após emergência °C							
Vasos	6,88	7,28	6,40	6,40	7,62	6,80	6,90 A
Solo	5,21	4,47	4,92	5,27	5,08	5,38	5,06 B
Média	6,05 a	5,88 a	5,66 a	5,84 a	6,35 a	6,09 a	5,98
DTFB 42 dias após emergência °C							
Vasos	7,40	7,86	7,59	6,69	7,84	6,50	7,31 A
Solo	5,28	4,83	5,77	5,88	5,78	5,68	5,54 B
Média	6,34 a	6,35 a	6,68 a	6,29 a	6,81 a	6,09 a	6,43
DTFB 55 dias após emergência °C							
Vasos	7,95	8,12	8,50	8,11	8,91	8,34	8,32 A
Solo	6,48	6,40	6,96	7,13	6,26	5,78	6,50 B
Média	7,22 a	7,26 a	7,73 a	7,62 a	7,59 a	7,06 a	7,41
DTFB 68 dias após emergência °C							
Vasos	7,11	7,19	7,02	6,64	6,17	6,77	6,82 A
Solo	4,12	4,48	4,20	4,76	3,96	3,84	4,23 B
Média	5,62 a	5,84 a	5,61 a	5,70 a	5,07 a	5,31 a	5,52
DTFB 69 dias após emergência °C							
Vasos	7,29	6,25	7,25	7,34	7,98	7,63	7,29 A
Solo	2,37	2,91	2,84	3,46	3,36	3,63	3,10 B
Média	4,83 a	4,58 a	5,05 a	5,40 a	5,67 a	5,63 a	5,19
DTE 69 dias após emergência °C							
Vasos	7,29	6,25	7,25	7,34	7,98	7,63	7,29 A
Solo	2,74	2,36	3,00	2,58	3,26	2,93	2,81 B
Média	5,01 a	4,30 a	5,12 a	4,96 a	5,62 a	5,28 a	5,05

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúsculas na coluna no mesmo dia não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade,

A não ocorrência de efeitos das cultivares pode ser atribuída ao fato de que as plantas encontravam-se desenvolvendo em ambiente sem estresse acentuado de calor, tendo em conta que a temperatura média do ar encontrava-se na faixa entre

18 a 21°C. Stone e Nicolas (1994) relatam que a temperatura ótima para o desenvolvimento do trigo está na faixa de 18-24°C e que períodos curtos de exposição a temperaturas superiores a esta faixa, principalmente superior aos 30°C, proporcionam perdas significativas no rendimento de grãos e redução da qualidade dos mesmos. Há de se considerar que nos dias de avaliação as temperaturas estiveram acima da faixa ótima, entre 26,8 e 31°C, mas as temperaturas que foram mensuradas no dossel das cultivares estiveram abaixo da temperatura do ar, entre 23,10°C e 25,67°C nos vasos e 24,5°C e 28,10°C no solo (Figura 3). Em cada ambiente de semeadura as temperaturas do dossel das cultivares mantiveram-se próximas entre elas, mas sempre abaixo da temperatura do ar (Figuras 4 e 5).

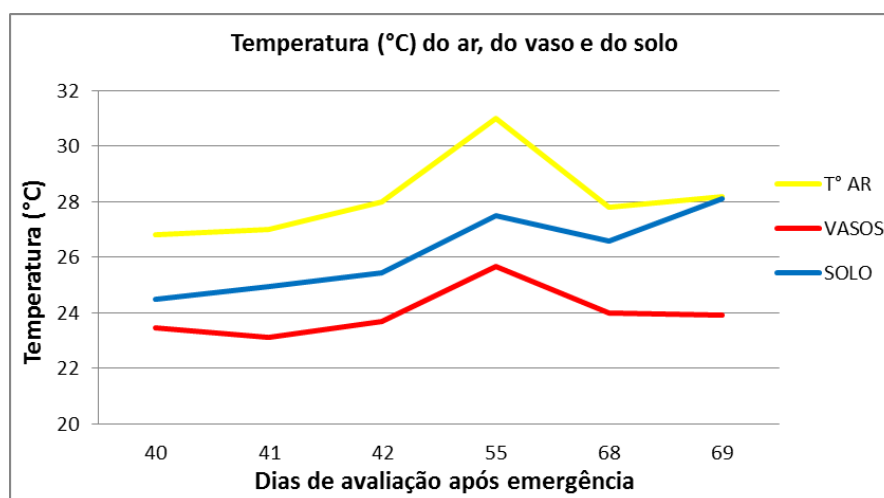


Figura 3. Comportamento da temperatura do ar e do dossel de plantas de trigo cultivadas nos ambientes vaso e solo.

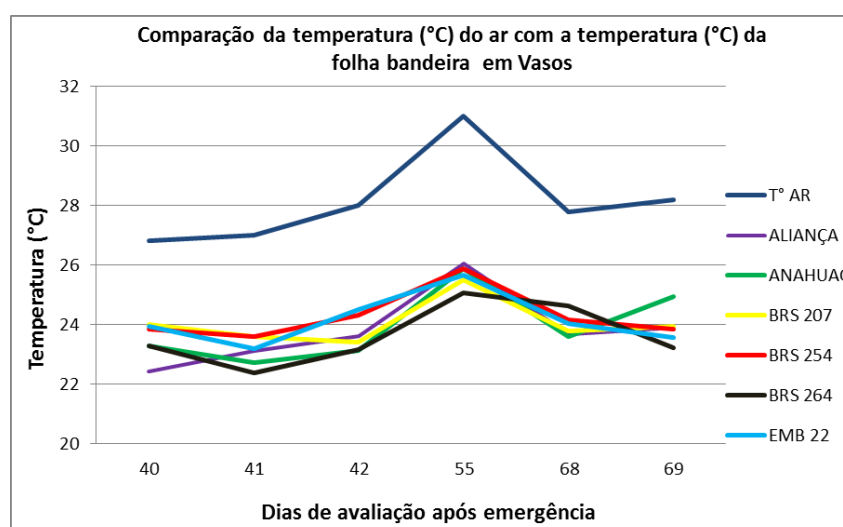


Figura 4. Comparação das médias de temperatura do dossel mensuradas em seis cultivares de trigo durante a fase vegetativa e reprodutiva no ambiente vasos em relação à temperatura do ar.

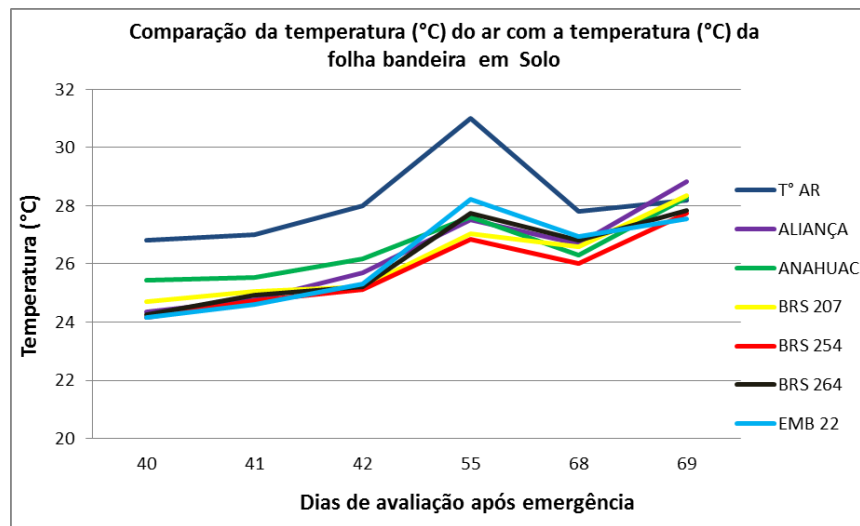


Figura 5. Comparação das médias de temperatura do dossel mensuradas em seis cultivares de trigo durante a fase vegetativa e reprodutiva no ambiente solo em relação à temperatura do ar.

Durante as medições das temperaturas nas folhas das plantas, foi constatada maior flutuação dos valores obtidos nos vasos. A ocorrência de ventos provocava redução da temperatura na folha nos vasos, enquanto que nas folhas das plantas cultivadas diretamente no solo estas variações foram imperceptíveis.

A instabilidade da temperatura das folhas nos vasos pode ser decorrente do maior distanciamento entre as plantas. Neste ambiente foram mantidas cinco plantas, enquanto na semeadura realizada diretamente no solo a população de plantas ficou por volta de 350 plântulas emergidas por metro quadrado. Admitindo-se que a umidade do solo não limitou a transpiração das plantas nos dois ambientes, pode-se inferir que a maior população de plantas utilizadas nas parcelas, com a semeadura realizada diretamente no solo, possibilitou a manutenção de um microclima que manteve a temperatura das folhas menos variável.

Conforme evidenciado na Tabela 3, não se constataram diferenças significativas entre as cultivares quanto à depressão da temperatura nas folhas. Isto conduz a inferir que todas as cultivares avaliadas possuem semelhante grau de tolerância ao calor na faixa de temperatura ocorrente durante as avaliações.

A depressão da temperatura na folha bandeira, mensurada aos 55 dias após emergência nos vasos, atingiu o valor máximo de 8,32°C, sendo esta a maior que se constatou em relação com a depressão de temperatura na espiga em vasos e a depressão de temperatura na folha bandeira e da espiga no solo. O menor valor de depressão de temperatura das folhas nos vasos foi de 6,90°C na leitura feita aos 41 dias após emergência. Com relação à depressão da temperatura das folhas

mensurada no solo, a maior foi de 6,50°C, registrada a os 55 dias após emergência e a menor foi de 3,10°C na folha bandeira e 2,81°C na espiga, aos 69 dias após a emergência, Nos trabalhos de Ayeneh et al. (2002) as médias da depressão da temperatura na folha bandeira e na espiga foram de 4,06°C e 3,64°C, respectivamente, enquanto que nos trabalhos de Ribeiro (2012) a média destas depressões foram de 7,97°C e 8,25°C, respectivamente.

No trabalho de Freitas (2013) em que se avaliou a depressão da temperatura da folha em diferentes cultivares de trigo plantadas em vasos, as médias de depressão de temperatura na folha bandeira atingiu valor máximo de 4,46°C a qual foi considerada de magnitude baixa . Esta média foi obtida em época similar a que foi estabelecida neste trabalho. Também no trabalho de Freitas (2013) não foram encontradas diferenças entre as cultivares, o qual foi atribuído ao fato de ser o experimento conduzido em vaso e por existir menor densidade de plantas por vaso.

Evidências de influência da população de plantas na expressão da temperatura do dossel foram observadas em trabalho realizado por Nóbrega et al, (2000), onde foi encontrada variabilidade da temperatura do dossel em estudo com diferentes densidades de plantas de cultivares de feijão, em condições de campo, ou seja, nas densidades menores de plantio ocorreram maiores temperaturas do dossel. Atribuindo também este fato, Freitas (2013) considera que o volume de solo não foi suficiente para manter a temperatura em níveis adequados e os limites impostos pelo vaso reduzem a capacidade das plantas de explorar todo seu potencial radicular, diferentemente do que seria em condições de lavoura no campo; isto acarreta implicações na capacidade de transpirar e estabilizar a temperatura nos tecidos, o que de certa forma contradiz os resultados do presente experimento, onde o cultivo nos vasos apresentaram maiores valores de depressão da temperatura em comparação com o cultivo convencional.

Na Tabela 4 são apresentadas as médias das características agrônômicas avaliadas nos dois ambientes. Observa-se que as características relacionadas à duração das fases de desenvolvimento das plantas de todas as cultivares apresentaram valores menores nas condições onde a semeadura foi realizada diretamente no solo, porém a cultivar BRS 207 expressou maior duração da fase de enchimento de grãos nesta condição de cultivo. Comparando a duração de cada fase fenológica das plantas (Tabela 4), observa-se que a diferença do ciclo total das plantas entre os dois ambientes foi de seis dias mais curto no cultivo no solo (91

dias), e a cultivar BRS 264 comportou-se como a mais precoce nos dois ambientes com 85 dias no solo e 95 dias nos vasos.

Igualmente pode-se observar variação no comportamento das cultivares dentro de cada ambiente avaliado, ressaltando o ambiente solo, onde a cultivar Aliança na fase de espigamento teve a duração de 59 dias e 26 dias na fase de enchimento de grão, sendo esta última a mais curta entre as cultivares avaliadas. Por outro lado a cultivar BRS 264 foi a mais precoce, quando se considerou 50 dias na fase de espigamento e o ciclo total de 90 dias, porém foram necessários 35 dias no enchimento de grão, este maior período de dias na fase de enchimento de grão, pode ter influenciado para que o índice de colheita na cultivar BRS 264 fosse maior nos dois ambientes. Em estudos feitos por Streck (2005) constatou-se que aumentos de temperaturas de 15/10°C (diurno/noturno) para 21/16°C reduziu de 60 para 36 dias a duração do enchimento de grãos, o que possivelmente acontece-o neste experimento já que a média da duração da fase de enchimento de grãos esteve entre 34 e 36 dias nos dois ambientes avaliados.

O número de grãos por espiga, um dos fatores primários da produção, variou entre as cultivares e foi de amplitude maior no cultivo em vasos. Esta superioridade observada em condições de vaso é decorrente da menor densidade de plantas por área, em que as plantas foram favorecidas fotossinteticamente. De modo semelhante, a matéria seca acumulada em 10 colmos férteis foi superior no cultivo em vasos.

Segundo Reynolds et al, (2000) e Midmore et al, (1984) existe evidente sensibilidade dos processos metabólicos às altas temperaturas, os quais podem refletir na diminuição do ciclo de vida das plantas. Quando se dá o estresse por calor, os fotoassimilados para o crescimento das plantas são limitados e ocasionam redução no desenvolvimento dos órgãos da planta. Além disso, altas temperaturas na faixa de 30-40°C durante o período de enchimento de grão em plantas de trigo, afeta negativamente o acúmulo de matéria seca e proteínas nas diferentes partes da planta. Estudos indicam que a primeira resposta das plantas ao estresse por altas temperaturas é a redução na duração de todas suas etapas de desenvolvimento, além de apresentar-se uma redução no tamanho dos órgãos e finalmente a diminuição do rendimento (Corbellini et al., 1997; Shpiler e Blum, 1986 e Hall, 1992).

O número de grãos por espiga foi maior no ambiente dos vasos em comparação com o solo e a cultivar BRS 254 obteve o maior número de grãos nos dois ambientes, sendo de 79 e 60 grãos/espiga, respectivamente. Segundo Farooq

et al, (2011), a ocorrência de calor durante a antese aumenta a esterilidade das flores e afeta o número de grãos por espiga.

Tabela 4. Médias dos caracteres agrônômicos avaliados em seis cultivares de trigo em dois ambientes de semeadura (solo e vasos). Viçosa-MG, 2013,

CULTIVARES							
Ambiente	Aliança	Anahuac	BRS 207	BRS 254	BRS 264	Embrapa 22	Média
Espigamento (dias)							
Vasos	63 B	66 A	62 C	59 D	55 E	62 C	61 A
Solo	59 B	62 A	59 B	55 D	50 E	57 C	57 B
Média	61	64	61	57	53	60	59
Enchimento do grão (dias)							
Vasos	34 B	34 B	35 B	40 A	40 A	35 B	36 A
Solo	26 D	34 C	39 A	37 BA	35 ABC	33 C	34 B
Média	30	34	37	38	38	34	35
Ciclo Total (dias)							
Vasos	97 BA	100 A	97 BA	99 A	95 B	97 BA	97 A
Solo	85 C	96 A	98 A	92 B	85 C	92 B	91 B
Média	91	98	97	95	90	95	94
N° de grãos/espiga							
Vasos	57 D	66 C	70 BC	79 A	68 C	77 BA	69 A
Solo	44 B	53 BA	58 A	60 A	55 A	59 A	55 B
Média	51	60	64	69	62	68	62
Massa seca/10 espiga (g)							
Vasos	23,78 A	23,39 A	22,01 BA	25,46 B	18,25 A	24,67 A	22,93A
Solo	16,22 BA	18,73 A	18,46 A	18,38 B	14,41 A	18,99 A	17,53 B
Média	20,00	21,06	20,23	21,92	16,33	21,83	20,23
Massa de mil grãos (g)							
Vasos	36,30 A	25,38 C	32,04 BA	26,70 C	29,20 C	27,28 BC	29,48 B
Solo	37,18	34,40	34,62	33,54	34,18	32,66	34,43 A
Média	36,74	29,89	33,33	30,12	31,69	29,97	31,95
Índice de Colheita							
Vasos	0,47 BC	0,41 D	0,50 BA	0,45 DC	0,53 A	0,46 BC	0,47 B
Solo	0,53 B	0,51 B	0,53 B	0,54 B	0,59 A	0,52 B	0,54 A
Média	0,50	0,46	0,52	0,49	0,56	0,49	0,50

As médias seguidas pela mesma letra, na mesma linha, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As bases fisiológicas para aumento do número de grãos por espigas em cultivares de trigo, evidenciam que as mudanças na produtividade de grãos, índice de colheita e número de grãos, estão relacionadas à partição de biomassa em pré-antese (Siddique et al., 1989b; Slafer et al., 1990).

A massa seca total da parte aérea foi maior no ambiente dos vasos, com média de 22,9 g, sendo a cultivar BRS 254 a que apresentou o maior acúmulo de matéria seca neste ambiente. No cultivo das plantas diretamente no solo, foi obtida média de 18,9 g, e a cultivar Embrapa 22 apresentou o maior acúmulo de matéria

seca. De acordo com Khanna-Chopra e Viswanathan (1999), a redução do ciclo da cultura pode ocasionar a redução no acúmulo de matéria seca total. Se as taxas de crescimento não são suficientemente altas para compensar essa redução sob estresse térmico, tendo em conta que as plantas cultivadas no ambiente solo tiveram ciclo total menor do que as plantas nos vasos, pode-se inferir que por este fato foi menor o acúmulo de matéria seca nestas plantas.

A massa média de mil grãos foi maior no ambiente solo com valor de 34,4g, não se encontrando diferença entre as cultivares neste ambiente. Entretanto a média nos vasos foi de 29,5 g. Destaca-se que a cultivar Aliança apresentou o maior valor de massa de mil grãos em comparação com as outras cultivares, tanto no solo quanto nos vasos, com 37,2 e 36,3g, respectivamente. Estudos tem mostrado que o índice de colheita de uma cultura é marcadamente influenciado pela densidade de plantio, disponibilidade de água, nutrientes e temperatura nas fases de crescimento. Os valores de índice de colheita obtidos no solo estiveram de acordo com o estipulado na literatura.

Segundo Bolaños et al. (1993) o acúmulo de biomassa é um caráter que poderia ser considerado nos programas de melhoramento, como bom indicador da resposta das plantas ou estresse de diferentes fatores, como o estresse ao calor. Entretanto, para este caráter deve ter em conta que durante um estresse severo a produção de grãos pode diminuir consideravelmente, mantendo-se maior produção de biomassa só nas partes vegetativas da planta; confirmando-se que é necessária a permanência da folhagem para que continue a fotossíntese e se tenham foto-assimilados disponíveis para o enchimento de grão.

Com base nisto pode-se inferir que as plantas no ambiente de vasos foram mais sensíveis ao estresse de calor, tendo em conta que apresentaram maior acúmulo de matéria seca e o índice de colheita foi menor. Possivelmente a manutenção de um período de emergência e espigamento, mais longos propiciou maior acúmulo de foto-assimilados para posterior aproveitamento no enchimento dos grãos (Figura 6). No ambiente solo o índice de colheita foi maior estando entre o desejado para a cultura do trigo.

Na fase de enchimento de grão as plantas do solo mantiveram quase o mesmo tempo do que as plantas dos vasos, do qual se pode inferir que tiveram melhor aproveitamento de fotoassimilados o que se viu refletido no maior índice de colheita; entretanto as plantas nos vasos gastaram mais fotoassimilados para a produção de biomassa do que para o enchimento de grãos.

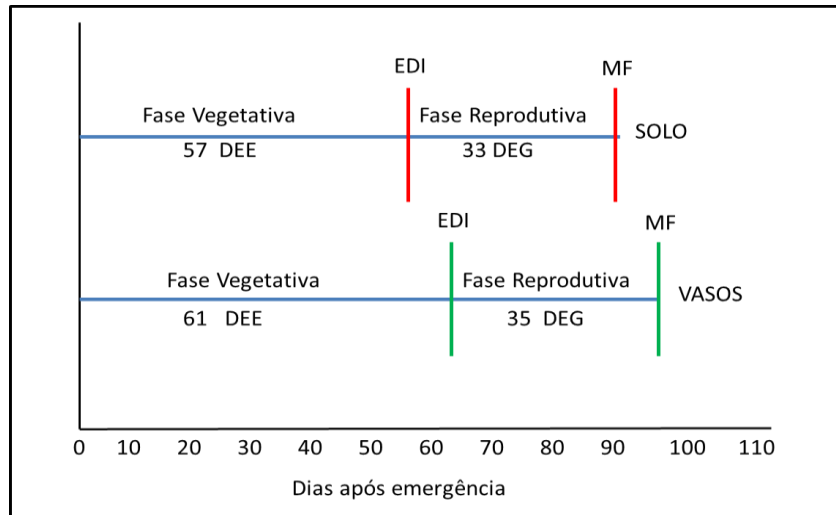


Figura 6. Comparação da fase vegetativa e reprodutiva de cultivares de trigo cultivados em dois ambientes, Dias entre emergência e espigamento (DDE), dias de enchimento de grão (DEG), emissão da inflorescência (EDI), maturação fisiológica (MF).

## **5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS**

As plantas cultivadas nos vasos apresentaram maiores valores de depressão de temperatura no dossel o que pode ter sido influenciado pela ocorrência de ventos durante as avaliações. Porém, os caracteres agronômicos como índice de colheita e massa de mil grãos foram maiores no cultivo convencional.

O uso da termometria infravermelha como metodologia na predição de tolerância ao calor em trigo tem que ser implementada sob temperaturas acima da faixa ótima para o desenvolvimento da cultura

Partindo da premissa de que o estresse ao calor é uns dos fatores mais limitantes no desenvolvimento da cultura de trigo; que o problema do aquecimento global tende a aumentar nos próximos anos e que para obter expansão expressiva da triticultura na região central do Brasil, é preciso dar continuidade nas pesquisas sobre os efeitos do estresse ao calor nesta cultura, sobretudo utilizar maior amplitude de temperaturas nos estudos com termometria infravermelha.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIANUAL 2008: *Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo: Agro FNP – Instituto FNP, 2008. 509p.
- AHMAD, S.; AHAMAD, N.A.R.; HAMID, M. Effect of high temperature stress on wheat productive growth. *J. Agri. Res.* 27:307-313., 1989.
- ALBRECHT, J.C. et al. Trigo BRS 207: cultivar com alto potencial de produtividade indicada para os Estados de Minas Gerais, Goiás e o Distrito Federal. *Planaltina: Embrapa Cerrados*, 2005. 22 p. (Documentos, 137).
- ALI, M.B.; IBRAHIMA, A.M.H.; HAYSA, D.B. Wild tetraploid wheat (*Triticum turgidum*, L.) response to heat stress. *Journal of Crop Improvement*. v.24, n.3, p.228-243, 2010.
- AL-KARAKI, G.N. Phenological development yield relationships in durum wheat cultivars under late-season hightemperature stress in a semiarid environment. *ISRN Agronomy*, v.7, 2012.
- ALLAKHVERDIEV, S.I.; KRESLAVSKI, V.D.; KLIMOV, V.V. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. *Photosynthesis Research*, v.98, p.541-550, 2008.
- AYENEH, A.; VAN GINKEL, M.; REYNOLDS, M.P. Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Research*, v.79, n.2-3, p.173-184, 2002.
- BLUM, A. Improving wheat grain filling under stress by stem reserve mobilization. *Euphytica*, v.100, n.1, p.77-83, 1998.
- BLUM, A.; SINMENA, B. Wheat seed endosperm utilization under heat stress and its relation to thermotolerance in the autotrophic plant. *Field Crops Research*, v.37, n.3, p.185-191, 1994.
- BLUMENTHAL, C.; WRIGLEY, C.W.; BATEY, I.L. The heat-shock response relevant to molecular and structural changes in wheat yield and quality. *Australian Journal of Plant Physiology*, v.21, p.901- 909, 1994.
- BOLAÑOS, J.; EDMEADES, G. O. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. Responses in grain yield, biomass and radiation utilization. *Field Crops Research*, v.31, p.233-252, 1993.
- CARGNIN, A.; SOUZA, A.M.; ROCHA, S.V.; MACHADO, C.J.; PICCINI, E. Tolerância ao estresse térmico em genótipos de trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, DF, v.41, n.8, p.1269-1276, 2006.
- COMISSÃO BRASILEIRA DE TRIGO E TRITICALE. Informações técnicas para trigo e triticale-safra 2012. *Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste*, 204p. 2011.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL ABASTECIMENTO. **Indicadores da produção 68 agrícola**. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/conabweb>>. Acesso em: 18 dez. 2010.

CORBELLINI, M.; CANEVAR, M.G.; MAZZA, L.; CIAFFI, LAFIANDRA, D.; BORGHI, B. Effect of the duration and intensity of heat shock during grain filling on dry matter and protein accumulation, technological quality and protein composition in bread and durum wheat. *Australian journal of plant physiology*, v.24, p.245-260, 1997.

CRUZ, P.J. Caracteres relacionados com a resistência ao acamamento em trigo comum. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.31, n.4, p.563-568, 2001.

CRUZ, P.J. Influência do acamamento sobre o rendimento de grãos e outros caracteres em trigo. *Revista Brasileira de Agrocências*, Pelotas, v.9, n.1, p.05-08, 2003.

CUNHA, G.R.; HAAS, J.C.; DALMAGO, G.A. Perda de rendimento potencial em soja no Rio Grande do Sul por deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.6, n.1, p.111-119, 2001.

DEMIREVSKA-KEPOVA, K. Heat stress effects on ribulose-1, 5- isphosphate carboxylase/oxygenase, rubisco binding protein and rubisco activase in wheat leaves. *Biologia Plantarum*, v.49, p.521-525, 2005.

DHANDA, S.S.; MUNJAL, R. Inheritance of cellular thermotolerance in bread wheat. *Plant Breeding*, v.125, p.557-564, 2006.

DIAS, A.S.; BAGULHO, A.S.; LIDON, F.C. Ultrastructure and biochemical traits of bread and durum wheat grains under heat stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v.20, n.4, p.323-333, 2008.

DIAS, A.S.; BARREIRO, M.G.; CAMPOS, P.S. Wheat cellular membrane thermotolerance under heat stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, v.196, p.100-108, 2010.

DIXON, J. Wheat facts and futures Mexico: *CIMMYT*. 2009.

ESSEMINE, J.; AMMAR, S.; BOUZID, S. Impact of heat stress on germination and growth in higher plants: physiological, biochemical and molecular repercussions and mechanisms of defence. *Journal of Biological Sciences*, v.10, n.6, p.565-572, 2010.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Faostat*. <http://www.fao.org/corp/statistics/en/>, consultado em junho de 2012.

FAROOQ, J.; KHALIQ, I. Estimation of heterosis and heterobeltiosis of some quantitative haracters in bread wheat crosses. *Asian Journal of Plant Sciences*, v.3, n.4, p.508-511, 2004.

FAROOQ, J.; KHALIQ, I.; KASHIF, M.; ALI, Q.; MAHPARA, S. Genetic analysis of relative cell injury percentage and some yield contributing traits in wheat under

normal end heat stress conditions. **Chilean Journal Agriculture Research**. v.71, n.4, p.511-520, 2011.

FAROOQ, M., REHMAN, A.; AZIZ, T.; HABIB, M. Boron nutripriming improves the germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). **Journal of Plant Nutrition**, v.34, p.1507–1515, 2011.

FAROOQ, M.; BRAMLEY, H.; PALTA, J.A. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.30, n.6, p.491-507, 2011.

FAROOQ, M.; SIDDIQUE, K.H.M.; REHMAN, H.; AZIZ, T.; WAHID, A.; LEE, D. Rice direct seeding: experiences, challenges and opportunities. **Soil and Tillage Research**, v.111, p.87-98, 2011.

FERREIRA, R.A. Trigo: o alimento mais produzido no mundo. **Nutrição Brasil, Campinas**, v.2, n.1, p.45-52, 2003.

FOKAR, M.; BLUM, A.; NGUYEN, H.T. Heat tolerance in spring wheat. II. Grain filling. **Euphytica**, v.104, p.9-15, 1998.

FREITAS, M. Termometria infravermelha e caracteres agronômicos na indicação de resposta do trigo ao estresse de calor. 35f - **Dissertação de mestrado** - Universidade Federal de Viçosa MG, 2013.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 15ª Ed. Piracicaba: FEALQ, p.451, 2009.

GRAVES, W.R.; JOY, R.J.; DANA, M.N. Water use and growth of honey locust and tree-of-heaven at high root-zone temperature. **Hort Science**, v.26, p.1309-1312, 1991.

HARDING, S.A.; GUIKEMA, J.A.; PAULSEN, G.M. Photosynthetic decline from high temperature stress during maturation of wheat.II. Interaction with source and sink processes. **Plant Physiology**, v.92, p.654–658, 1990.

HOSSAIN, A.; SARKER, M.A.Z.; SAIFUZZAMAN, M. Evaluation of wheat (*Triticum aestivum* L.) under heat stress: yield and heat susceptibility index. **Journal of Stress Physiology e Biochemistry**, v.8, n.1, p.77-94, 2012.

INOUE, T. Contribution of pre-anthesis assimilates and current photosynthesis to grain yield, and their relationships to drought resistance in wheat cultivars grown under different soil moisture. **Photosynthetica, Dordrecht**, v.42, n.1, p.99-104, 2004.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change - **Cambio climático 2007 Informe de síntesis**. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Pachauri, R.K., Reisinger, A. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p, 2007.

JOSHI, A. K. Stay green trait: variation, inheritance and its association with spot blotch resistance in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). **Euphytica**, v.153, n.1, p.59-71, 2007.

KHANNA-CHOPRA, R.; VISWANATHAN, C. Evaluation of heat stress tolerance in irrigated environment of *T. aestivum* and related species. I. Stability in yield and yield components. **Euphytica**, v.106, p.169-180, 1999.

KLAR, A.E.; DENADAI, I.A.M. Resistência à seca em cultivares de trigo: qualidade e rendimento dos grãos e medições fisiológicas. **Irriga, Botucatu**, v.1, n.1, p.1-25, 1996.

KLEPER, B.; RICKMAN, R.W.; WALDMAN, S. The physiological life cycle of wheat: its use in breeding and crop management. **Euphytica**, v.100, n.1, p.341-347, 1998.

MAJOUL, T.; BANCEL.; TRIBOÏ, E.I. Proteomic analysis of the effect of heat stress on hexaploid wheat grain: Characterization of heat-responsive proteins from total endosperm. **Proteomics**, v.3, p.175-183, 2003.

MIDMORE, D.J.; CARTWRIGHT, P.M.; FISCHER, R.A. Wheat in tropical environments. II. Crop Growth and grain yield. **Field Crops Research**, v.8, p.207-227, 1984.

NEILSON, K.A.; GAMMULLA, C.G.; MIRZAEI, M. Proteomic analysis of temperature stress in plants. **Proteomics**, v.10, p.828-845, 2010.

NÓBREGA, J.Q.; FIDELES FILHO, J.; RAO, T.V.R.; BELTRÃO, N.E.M.; DANTAS, R.T. Uso da termometria infravermelha em diferentes densidades populacionais do feijoeiro. **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 11, 2000, Rio de Janeiro. Anais...: Rio de Janeiro: Anais 1980-2006 cbmet.com, p. 319-322,2000, 2000. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/12-d606ff371855d8718075403eaf7a59bf.pdf>> Acesso em: 05 de março de 2013.

PIERRE, C.S.; CROSSA, J.; MANES, Y. Gene action of canopy temperature in bread wheat under diverse environments. **Theoretical and Applied Genetics**, v.120, p.1107-1117, 2010.

PORTER, J.R.; GAWITH, M. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. **European Journal of Agronomy**, v.10, p.23-36, 1999.

REYNOLDS, M.P.; DELGADO, M.I.; GUTIÉRREZ-RODRÍGUEZ, M.; LARQUÉ-SAAVEDRA, A. Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. I. Genetic diversity and crop productivity. **Field Crops Research**, v.66, p.37-50, 2000.

REYNOLDS, M.P.; SINGH, R.P.; IBRAHIM, A.; AGEEB, O.A.A.; LARQUÉ-SAAVEDRA, A.; QUICK, J.S. Evaluating physiological traits to complement empirical selection for wheat in warm environments. **Euphytica**. v.100, p.84-95, 1998.

REYNOLDS, M.P.; BALOTA, M.; DELGADO, M.I.B. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.21, p.717-730, 1994.

REYNOLDS, M.P.; NAGARAJAN, S.; RAZZAQUE, M.A. Heat tolerance. In: REYNOLDS, M.P.; ORTIZ-MONASTERIO, J.I.; MCNAB, A. (Eds.) **Application of Physiology in Wheat Breeding**. CIMMYT, México, 2001. Cap.10. p.124-135.

RIBEIRO, G.. Estratégia de melhoramento para tolerância ao estresse de calor em trigo . 53f. -**Tese de Doutorado**–Universidade Federal de Viçosa –Viçosa, 2012.

RISTIC, Z.; BUKOVNIK, U.; PRASAD, P.V.V. Correlation between heat stability of thylakoid membranes and loss of chlorophyll in winter wheat under heat stress. **Crop Science**, v.47, p.2067-2073, 2007.

RODRIGUES, O. **Características fisiológicas associadas ao avanço no potencial de rendimento de grãos de trigo**. *Passo Fundo: Embrapa Trigo*. 26p. 2002.

RODRIGUES, O. **Manejo de trigo: bases ecofisiológicas**. In: CUNHA, G.R.; BACALTCHUK, B. (Eds.). *Tecnologia para produzir trigo no Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Assembléia Legislativa do Rio Grande do Sul. 2000, p.120-169.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M.C.C. **Efeito da adubação nitrogenada, arranjo de plantas e redutor de crescimento no acamamento e em características de cevada**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2003.

RODRIGUES, O.; HAAS, J.C.; COSTENARO, E.R. Manejo de trigo para alta produtividade II: caracterização ontogenética. **Revista Plantio Direto**, v.20, n.125, p.10-13, 2011.

SAIRAM, R.K.; SRIVASTAVA, G.C.; SAXENA, D.C. Increased antioxidant activity under elevated temperatures: a mechanism of heat stress tolerance in wheat genotypes. **Biologia Plantarum**, v.43, n.2, p.245-251, 2000.

SCHUCH, L.O.B. Vigor de sementes de populações de aveia preta: II Desempenho e utilização de nitrogênio. **Scientia Agricola, Piracicaba**, v.57, n.1, p.121-127, 2000.

SCHUCH, L.O.B.; LIN, S.S. Atraso na colheita sobre emergência no campo e desempenho de plantas de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.11, p. 1585-1589, 2000.

SHPIELER, L.; BLUM, A. Differential reaction of wheat cultivars to hot environments. **Euphytica**, v.35, p.483-492, 1986.

SIDDIQUE, K.H.M.; KIRBY, E.I.M.; PERRY, M.W. Ear:stem ratio in old and modern wheat varieties; relationship with improvement in number of grain per ear and yield. **Field Crops Research**, v.26, p.59-78, 1989.

- SILVA, J.A.G.; CARVALHO, F.I.F.; HARTWIG, I. Caráter stay-green e produtividade de grãos em trigo. *Bragantia*, v.67, n.1, p.161-167, 2008.
- SILVA, S.A. Genetic basis of stay-green trait in bread wheat. *Journal of New Seeds*, Binghamton, v.2, n.1, p.55-68, 2000.
- SIMMONS, R.S. Growth, development, and physiology. In: HEYNE, E.G. (Ed.). *Wheat and heat improvement*. Madison: Wisconsin, p.77-113, 1987.
- SLAFER, G.A.; ANDRADE, F.H.; SATORRE, E.H. Genetic- improvement effects on pré-anthesis physiological attributes related to grain yield. *Field Crops Research*, v.23, p.255-263, 1990.
- SLEPER, D.A.; POEHLMAN, J.M. *Breeding field crops*. Ames: Blackwell Pub Iowa, 424 p, 2006.
- SOUZA, M.A. **Controle genético e resposta ao estresse de calor de cultivares de trigo**. 1999. 152 f. Tese (*Doutorado em genética e melhoramento de plantas*) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1999.
- SOUZA, M.A.; RAMALHO, M.A.P. Controle genético e tolerância ao estresse de calor em populações híbridas e em cultivares de trigo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.1245-1253, 2001.
- SOUZA, M.A.; PIMENTEL, A.J.B.; RIBEIRO, G. Melhoramento para tolerância ao calor. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. *Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos*. Visconde do Rio Branco: Suprema, cap.9, p.199-226, 2011.
- STONE, P.J.; NICOLAS, M.E. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain-yield and quality to short periods of post-anthesis heat-stress. *Australian Journal of Plant Physiology*, v.21, p.887-900, 1994.
- STRECK, N.A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and temperature on crop growth, development, and yield. *Ciência Rural*, v.35, n.3, p.730-740, 2005.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. Tradução de SANTARÉM, E. R. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.
- TIBOLA, C.S.; FERNANDES, J.M.C.; LORINI, I.; SCHEEREN, P.L.; MIRANDA, M.Z. **Produção integrada de trigo – safra 2007**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 10 p, 2008.
- USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. *World agricultural production*. Disponível em: <<http://www.usda.gov/wps/portal/>>. Acesso em: 18 dez. 2010.
- WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany*, v.61, p.199-223, 2007.

WANG, X.; CAI, J.; LIU, F.; JIN, M.; YU, H.; JIANG, D.; WOLLENWEBER, B.; DAI, T.; CAO, W. Pre-anthesis high temperature acclimation alleviates the negative effects of post-anthesis heat stress on stem stored carbohydrates remobilization and grain starch accumulation in wheat. ***Journal of Cereal Science***, v.55, n.3, p.331-G336, 2012.

XU, Y.; ZHAN, C.; HUANG, B. Heat shock proteins in association with heat tolerance in grasses. ***International Journal of Proteomics***, v.2011, p.1-11, 2011.

YILDIRIM, M.; BAHAR, B. Responses of some wheat genotypes and their F2 progenies to salinity and heat stress. ***Scientific Research and Essays***, v.5, n.13, p.1734-1741, 2010