



Universidade Federal  
de São João del-Rei

**JENNIFER ALVES CAMILO**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE TRIGO EM  
DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO EM REGIÃO DO CERRADO  
MINEIRO**

**Sete Lagoas**

**2023**

**JENNIFER ALVES CAMILO**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE TRIGO EM  
DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO EM REGIÃO DO CERRADO  
MINEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus Sete Lagoas*, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Ferreira Borges Júnior

**Sete Lagoas**

**2023**

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)  
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C183d Camilo, Jennifer Alves.  
DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE TRIGO EM  
DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO EM REGIÃO DO CERRADO  
MINEIRO / Jennifer Alves Camilo ; orientador João  
Carlos Ferreira Borges Júnior. -- Sete Lagoas, 2023.  
64 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em  
Ciências Agrárias) -- Universidade Federal de São  
João del-Rei, 2023.

1. Manejo de irrigação. 2. Déficit hídrico. 3.  
Cultivares. 4. Triticum aestivum L. I. Borges  
Júnior, João Carlos Ferreira, orient. II. Título.

**JENNIFER ALVES CAMILO**

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE TRIGO EM  
DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO EM REGIÃO DO CERRADO  
MINEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus* Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias, na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Ferreira Borges Júnior

Sete Lagoas, 13 de março de 2023.

Banca examinadora:

Dr. Paulo Emílio Pereira de Albuquerque - Embrapa Milho e Sorgo

Profa. Dra. Nádia Nardely Lacerda Durães Parrella - UFSJ/CSL

---

Prof. Dr. João Carlos Ferreira Borges Júnior – UFSJ/CSL  
Orientador

**Dedico,**

**A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço à Deus, pela graça da vida, pela saúde, força para superar as dificuldades e por sempre abençoar e iluminar meus caminhos.

A meu filho, por tornar a minha vida mais alegre, pela compressão nos momentos de ausência, pelo carinho, afeto e amor.

Ao meu esposo, que foi fundamental para que eu alcançasse meus objetivos, por estar sempre pronto a me ajudar, por corroborar com minhas escolhas em todos os momentos e colocar os meus sonhos constantemente à frente dos dele.

À Universidade Federal de São João del-Rei / Campus Sete Lagoas (UFSJ/CSL), aos colegas e funcionários pela convivência e aprendizado, e a todos os professores, pela contribuição na minha formação acadêmica. Em especial, agradeço ao Prof. Dr. João Carlos Ferreira Borges Júnior, pela orientação extraordinária, disposição, paciência, apoio e confiança.

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Características das diferentes classes de trigo destinado à moagem e a outras finalidades.....   | 18 |
| Tabela 2 - Descrição detalhada dos tratamentos (ETc = evapotranspiração da cultura, ou seja, evapotranspiração potencial). .....  | 26 |
| Tabela 3 - Caracterização química das amostras de solo da área experimental. Sete Lagoas, MG, 2022. ....  | 28 |
| Tabela 4 - Configurações de distribuição de gotejadores para obtenção de diferentes níveis de irrigação.....  | 30 |
| Tabela 5 - Valores dos coeficientes de uniformidade, obtidos em campo. ....   | 31 |
| Tabela 6 - Lâminas acumuladas aplicadas e água total (irrigação + precipitação) durante todo o ciclo do trigo para os diferentes níveis de irrigação, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022. ....  | 38 |
| Tabela 7 - Resumo da análise de variância das características floração (FLORA), maturação (MAT), altura de planta (ALT), número de espigas por m <sup>2</sup> (NEM), número de grãos por espiga (NGE), massa verde da parte aérea (MVPA), peso de mil grãos (PMG), produtividade (PROD) e produtividade da água de irrigação (W <sub>IRRI</sub> ) das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar. Sete Lagoas, MG, 2022. .... | 39 |
| Tabela 8 - Desdobramento dos efeitos entre cultivares e lâminas de irrigação suplementar para o número médio de dias para maturação da cultura do trigo, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022. ....   | 39 |
| Tabela 9 – Altura média de plantas das duas cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022. ....  | 41 |
| Tabela 10 – Valores médio de massa verde da parte aérea (MVPA) das duas cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022. ....  | 45 |
| Tabela 11 – Valores médio do número de espigas por unidade de área e número de grãos por espiga das duas cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022. ....   | 46 |
| Tabela 12 – Produtividade média de grãos de duas cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022. ....   | 49 |

|  |    |
|--|----|
| Tabela 13 – Valores médio do peso de mil grãos e produtividade de grãos das duas cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022..... | 50 |
| Tabela 14 – Média da produtividade da água de duas cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022. ....                              | 54 |
| Tabela 15 – Média da produtividade da água irrigada ( $W_{IRRI}$ ) das duas cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022. ....     | 54 |



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Médias mensais da temperatura máxima, média e mínima do ar (A), precipitação pluvial e umidade relativa do ar (B) e insolação total (C) entre 1981-2010, para Sete Lagoas, MG, com base nas séries históricas obtidas junto ao INMET..... | 25 |
| Figura 2 – Esquema da disposição dos tratamentos na área experimental, Sete Lagoas, MG, 2022.....  | 27 |
| Figura 3 - Colheita manual da cultura do trigo (A) e máquina para trilhagem dos grãos (B)..  | 28 |
| Figura 4 - Esquema da área experimental com sistema de irrigação implantado, Sete Lagoas, MG, 2022.....  | 29 |
| Figura 5 - Sistema de irrigação por gotejamento (A) e manômetro instalado na tubulação da linha principal (B).....   | 30 |
| Figura 6 - Determinação da altura da planta de trigo. ....   | 33 |
| Figura 7 - Contagem do número de espigas por unidade de área, em quadrado de 0,3 m <sup>2</sup> . ....   | 34 |
| Figura 8 - Grãos após a trilhagem e limpeza (A), pesagem para determinação da umidade (B) e amostras de grãos na estufa (C).....   | 35 |
| Figura 9 - Variação dos elementos meteorológicos: temperatura máxima, média e mínima (A), precipitação pluvial e evapotranspiração de referência diários (B), durante o período de cultivo do trigo, em Sete Lagoas, MG, 2022.....                   | 37 |
| Figura 10 - Regressão para o número de dias para maturação das duas cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022. ....   | 40 |
| Figura 11 - Regressão para a altura de plantas de cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022.....  | 42 |
| Figura 12 - Foto aérea do campo experimental, tirada com um drone, aos 77 dias após a semeadura, mostrando o início do acamamento das plantas em algumas unidades experimentais, em Sete Lagoas, 2022.....   | 42 |
| Figura 13 - Parcela com a cultivar BRS 404 com acamamento de baixa intensidade (A) e acamamento severo (B). ....   | 43 |
| Figura 14 - Altura média de plantas de trigo e percentual de área acamada, sob as condições edafoclimáticas de Sete Lagoas, MG, 2022. ....   | 44 |
| Figura 15 - Regressão para massa verde da parte aérea de cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022. ....  | 46 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 16 - Regressão do número de espigas/m <sup>2</sup> de cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022.....      | 48 |
| Figura 17 - Regressão do número de grãos/espiga de cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022.....                | 48 |
| Figura 18 - Regressão do peso de mil grãos de cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022.....                     | 52 |
| Figura 19 - Regressão para produtividade de cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022.....                       | 53 |
| Figura 20 - Regressão para produtividade da água de irrigação de cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022. .... | 55 |

## SUMÁRIO

|  |      |
|--|------|
| RESUMO.....  | XIII |
| ABSTRACT.....  | XIV  |
| 1 INTRODUÇÃO.....  | 15   |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....   | 17   |
| 2.1 Aspectos gerais do trigo.....  | 17   |
| 2.2 A cultura no Mundo e Brasil.....   | 18   |
| 2.3 Cultivares.....  | 20   |
| 2.4 Disponibilidade hídrica e desenvolvimento do trigo.....                  | 21   |
| 2.5 Manejo da irrigação.....   | 22   |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS.....  | 24   |
| 3.1 Caracterização do local do experimento.....                              | 24   |
| 3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....                             | 26   |
| 3.3 Instalação e condução do experimento.....                                | 27   |
| 3.4 Manejo da Irrigação.....   | 29   |
| 3.5 Características avaliadas.....   | 32   |
| 3.5.1 Floração e maturação.....  | 32   |
| 3.5.2 Altura da planta e acamamento.....                                     | 33   |
| 3.5.3 Massa verde da parte aérea.....  | 33   |
| 3.5.4 Número de espigas por unidade de área e número de grãos por espiga.... | 34   |
| 3.5.5 Massa de 1000 grãos e produtividade de grãos.....                      | 34   |
| 3.5.6 Produtividade da água.....   | 35   |
| 3.6 Análise estatística.....   | 36   |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....  | 36   |
| 4.1 Variáveis meteorológicas e consumo hídrico.....                          | 36   |
| 4.2 Análise de variância.....  | 38   |

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 4.3 | Floração e maturação .....   | 39 |
| 4.4 | Altura de planta e acamamento.....                                       | 41 |
| 4.5 | Massa verde da parte aérea .....   | 44 |
| 4.6 | Número de espigas por unidade de área e número de grãos por espiga ..... | 46 |
| 4.7 | Peso de mil grãos e produtividade .....                                  | 49 |
| 4.8 | Produtividade da água irrigada ( $W_{IRRI}$ ) .....                      | 53 |
| 5   | CONCLUSÕES .....   | 57 |
| 6   | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 58 |

## DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE TRIGO EM DIFERENTES NÍVEIS DE IRRIGAÇÃO EM REGIÃO DO CERRADO MINEIRO

**RESUMO** - No Brasil, o trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma das poucas commodities na qual o país não é autossuficiente. Uma alternativa proeminente para reduzir a dependência externa, seria incentivar a expansão da cultura para regiões não tradicionais, como a do Cerrado brasileiro. Nesta região, uma das principais limitações ao cultivo do trigo é a ocorrência de períodos de estiagem que podem resultar na variabilidade da produtividade da cultura. Uma opção de manejo a ser adotada para solucionar esse problema é o uso da irrigação. Contudo, com a água tornando-se um recurso cada vez mais limitado, o maior desafio da agricultura irrigada é alcançar altos patamares com elevada eficiência no uso da água. Diante do exposto, o objetivo do estudo foi avaliar o desempenho agronômico de cultivares de trigo sob diferentes lâminas de irrigação, em região do Cerrado mineiro. O experimento foi conduzido em blocos casualizados no esquema fatorial 2 x 5, sendo duas cultivares (BRS 404 e OR Feroz) em combinação com 5 níveis de reposição da evapotranspiração da cultura (120%, 100%, 80%, 60% e 40%), totalizando 10 tratamentos com 4 repetições. Foram feitas avaliações no desenvolvimento (floração, maturação e altura de plantas) e rendimento do trigo (massa seca e verde da parte aérea, número de espigas por unidade de área, número de grãos por espiga, peso de 1000 grãos e produtividade), bem como da produtividade da água. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as variáveis qualitativas submetidas ao teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) e as variáveis quantitativas submetidas à análise de regressão ( $p < 0,05$ ). A interação cultivar e lâmina de irrigação foi significativa apenas para variável maturação. A cultivar BRS 404 apresentou maior altura de plantas, massa verde da parte aérea e peso de mil grãos, verificando-se também elevada susceptibilidade ao acamamento. A OR Feroz apresentou maior número de espigas/m<sup>2</sup>. A produtividade da água e de grãos, bem como a maioria de seus componentes, diferiram significativamente em função do regime hídrico. A redução de 40% na lâmina de água recebida pela cultura, causou redução de 22,7% no rendimento do trigo, mas proporcionou incremento de 57,7% na produtividade da água, o que torna a adoção da irrigação subótima uma estratégia viável quando o foco é priorizar a economia da água.

**Palavras chaves:** Agricultura irrigada, Déficit hídrico, Cultivares, *Triticum aestivum* L.

## AGRONOMIC PERFORMANCE OF WHEAT CULTIVARS UNDER DIFFERENT IRRIGATION LEVELS IN THE CERRADO MINEIRO REGION

**ABSTRACT** - In Brazil, wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the few commodities in which the country is not self-sufficient. A prominent alternative to reduce external dependence from other countries would be to encourage the expansion of culture to non-traditional regions, such as the Brazilian Cerrado. In this region, one of the main limitations to wheat cultivation is the occurrence of dry periods that can result in variability in crop productivity. Irrigation is one management option that can be adopted to solve this problem. However, due to water has become an increasingly limited resource, the biggest challenge for irrigated agriculture is to reach high production levels with high efficiency in water use. Therefore, the objective of the study is to evaluate the agronomic performance of wheat cultivars under different irrigation depths, in the Cerrado region of Minas Gerais. The experiment was conducted in randomized blocks, in a 2 x 5 factorial scheme: two cultivars (BRS 404 and OR Feroz) in combination with 5 levels of crop evapotranspiration replacement (120%, 100%, 80%, 60%, and 40%), a total of 10 treatments with 4 replications each. Development (flowering, maturation, and plant height), wheat yield (shoot dry and fresh mass, number of spikes per unit area, number of grains per spike, weight of 1000 grains, and yield) and water productivity were evaluated. Data were submitted to analysis of variance, with qualitative variables submitted to Tukey's test ( $p < 0.05$ ) and quantitative variables submitted to regression analysis ( $p < 0.05$ ). The cultivar and irrigation depth interaction was significant only for the maturation variable. Cultivar BRS 404 showed greater plant height, shoot green mass and thousand-grain weight, and also a high susceptibility to lodging. OR Feroz had the highest number of ears/m<sup>2</sup>. Water and grain yields, as well as most of their components, differed significantly depending on the water regime. The 40% reduction in the water level received by the crop causes a 22.7% reduction in wheat yield, but provides a 57.7% increase in water productivity, which makes the adoption of reduced irrigation a viable strategy when the focus is on prioritizing water savings.

**Keywords:** Irrigated agriculture, Water deficit, Cultivars, *Triticum aestivum* L.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado da população mundial exige um aumento na produção de alimentos. Nesse cenário, a cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) tem alcançado destaque, constituindo-se o principal componente da dieta alimentar de cerca de dois bilhões de pessoas, sendo considerada uma das culturas que apresentam maior potencial em garantir a segurança alimentar global. Além disso, o cereal é rico em carboidratos e tem maior teor de proteínas que outros cereais importantes como o arroz e milho (LIU et al., 2018; ZORB et al., 2018; MANSOUR e ABU-NASER, 2019).

A relevância da cultura não está limitada apenas ao aspecto alimentar. O trigo está entre as culturas cerealíferas mais produzidas no mundo, atrás apenas do milho, com uma produção mundial estimada de 777,5 milhões de toneladas, colhidas em 222,2 milhões de hectares na safra 2021/2022. O cereal ocupa mais de 17% da terra cultivável do mundo, aproximadamente 30% da produção global de grãos, motivo pelo qual está entre as espécies cultivadas de maior importância para a economia agrícola global (BORÉM e SCHEEREN, 2015; USDA, 2022a).

No Brasil, a cultura ocupa uma área de aproximadamente 3,1 milhões de hectares, com produtividade média estimada de 3.124 kg ha<sup>-1</sup> e uma produção de 9,6 milhões de toneladas, insuficiente para atender o consumo interno, gerando assim a demanda por importação de 6,1 milhões de toneladas por ano do cereal. No país, a triticultura está concentrada majoritariamente na região Sul, responsável por cerca de 90% da produção nacional (CONAB, 2022; USDA, 2022b).

A região do Brasil Central, formada pelo Distrito Federal e pelos estados de Minas Gerais e Goiás e parte dos Estados da Bahia e Mato Grosso, apresenta grande potencial para expansão da produção tritícola brasileira, podendo proporcionar, ao longo dos anos, a autossuficiência na produção nacional do cereal (TEIXEIRA FILHO et al., 2010; CONDÉ et al., 2013). Nessa região, o trigo é cultivado em sequeiro, com semeadura realizada a partir da segunda quinzena de janeiro e, irrigado, sendo semeado a partir da segunda quinzena de abril (CONAB, 2017).

Na região do Brasil Central, no período de inverno, as chuvas são esporádicas, irregulares e insuficientes, o que afeta a disponibilidade de água no solo (BORÉM e SCHEEREN, 2015). Nesse contexto, ressalta-se a irrigação como uma tecnologia que permite o cultivo do trigo na época seca e assegura a estabilidade na produção no período das chuvas, quando, ocasionalmente, ocorrem períodos de estiagem. Além disso, os ganhos em

produtividade advindos do uso da irrigação são perceptíveis, aproximadamente duas vezes superiores em relação ao trigo não irrigado (COODETEC, 2010; SILVA et al., 2017).

O grande volume de água consumido na agricultura irrigada, comparativamente aos consumidos no abastecimento humano e na indústria, em todo mundo, tornou-se uma preocupação adicional com a escassez dos recursos hídricos. Norteando-se por essas questões, diversos estudos têm sido desenvolvidos, com o intuito de contribuir para o uso racional da água nos sistemas irrigados de produção.

Há muito tempo, a irrigação localizada tem alcançado destaque no cenário da agricultura irrigada em decorrência do grande potencial de economizar água, bem como proporcionar incrementos produtivos e qualitativos aos produtos agrícolas (FRIZZONE et al., 2012; TESTEZLAF, 2017). Todavia, em decorrência da disponibilidade limitada dos recursos hídricos, salienta-se a importância da adoção de estratégias de manejo que possam ser empregadas, de modo a aumentar a eficiência do uso da água, mesmo em sistemas com grande potencial de economia.

Uma estratégia de manejo para uso racional dos recursos hídricos é a utilização da irrigação deficitária, prática, de, deliberadamente, irrigar visando atender somente uma fração da demanda por evapotranspiração da cultura (RODRIGUES et al., 2013). Em geral, a restrição hídrica é imposta no período em que a cultura apresenta menor sensibilidade ao déficit hídrico, o que não compromete expressivamente a produtividade final e garante o retorno econômico da cultura irrigada (LIMA et al., 2012; PEREIRA et al., 2012).

Dessa forma, a relevância desse estudo é evidenciada pela importância de fornecer informações técnico-científicas que subsidiem o estabelecimento do manejo da irrigação subótima na cultura do trigo, contribuindo para o equilíbrio entre o abastecimento interno do produto e a mitigação da escassez hídrica e de problemas ambientais associados.

Diante do exposto, o objetivo do presente estudo é avaliar o desempenho agrônômico de duas cultivares de trigo sob diferentes lâminas de irrigação, em região do Cerrado mineiro.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Aspectos gerais do trigo

Originário do Oriente Médio, o trigo é uma gramínea anual, do grupo das monocotiledôneas, da família Poaceae, pertencente ao gênero *Triticum*, que possui em torno de trinta espécies, sendo a *Triticum aestivum* uma das espécies de maior interesse comercial. (BORÉM e SCHEEREN, 2015; ABITRIGO, 2019).

O trigo pertence ao grupo de espécies vegetais com metabolismo fotossintético C3, apresentando menor eficiência no uso da água e ausência de mecanismos bioquímicos concentradores de CO<sub>2</sub>, que fazem com que essas espécies tenham a taxa fotossintética reduzida devido ao fechamento estomático para evitar perda de água por transpiração, em condições de decréscimos na disponibilidade hídrica e de temperatura elevada (PINHEIRO; CHAVES, 2011; ALFONSO e BRUGGENANN, 2012).

O período de desenvolvimento da cultura do trigo depende do ciclo da cultivar, podendo ser precoce, médio ou tardio, variando em média entre 100 a 160 dias, sendo dividido em três fases distintas: vegetativa, reprodutiva e enchimento de grãos. Em cada uma das fases, estádios fenológicos específicos determinam acontecimentos importantes na formação do rendimento final da cultura, sob o ponto de vista quantitativo, além de interferir diretamente na qualidade industrial dos grãos de trigo (MONTEIRO, 2009; PIRES et al., 2011; RODRIGUES et al., 2011; CAIERÃO et al., 2016).

Para a descrição dos estádios fenológicos do trigo, existem diferentes sistemas de escalas. A escala de Feekes (1940), modificada por Large (1954), caracteriza os estádios de uma maneira geral, divididos em quatro fases, sendo elas: afilhamento, alongamento do colmo, espigamento e maturação.

A primeira fase, o afilhamento, tem duração média entre 15 e 25 dias e estende-se da germinação da semente ao desenvolvimento do pseudocaule. A segunda fase, o alongamento, inicia entre 30 e 45 dias após o plantio. É a fase em que surge o primeiro nó do colmo, e tendo duração aproximada de 20 a 25 dias. O espigamento, a terceira fase, ocorre por volta dos 50 a 60 dias após o plantio, oscilando sua duração entre de 10 a 20 dias. Nessa fase acontece o emborrachamento, poucos dias após o aparecimento das espigas e a planta entrar no período de florescimento. A fase de maturação é a quarta e última etapa do ciclo do trigo e compreende o

estádio de grãos leitosos até a maturação dos grãos. Esta fase ocorre entre 60 a 90 dias após o plantio e tem duração média de 30 a 40 dias (BORÉM e SCHEEREN, 2015; GARCIA 2015).

A produtividade da cultura de trigo é definida por três componentes de produção: número de espigas por unidade de área, número de grãos por espiga e massa média de grãos. Esses componentes variam independentemente um do outro, dentro de determinados limites (GONDIM, et al., 2008).

No Brasil, segundo a Instrução Normativa nº 38, de 30 de novembro de 2010, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2010), o grão de trigo é classificado em cinco classes (melhorador, pão, doméstico, básico ou outros usos) determinadas de acordo com valores de referência dos caracteres de força do glúten, estabilidade e o número de queda (Tabela 1).

**Tabela 1** – Características das diferentes classes de trigo destinado à moagem e a outras finalidades.

| Classe      | Força do glúten<br>(valor mínimo<br>expresso em $10^{-4}J$ ) | Estabilidade<br>(tempo expresso<br>em minutos) | Número de queda (valor<br>mínimo, expresso em<br>segundos) |
|-------------|--|--|--|
| Melhorador  | 300  | 14   | 250  |
| Pão         | 220  | 10   | 220  |
| Doméstico   | 160  | 6  | 220  |
| Básico      | 100  | 3  | 200  |
| Outros usos | Qualquer   | Qualquer                                       | Qualquer   |

Fonte: Adaptado de Brasil (2010).

## 2.2 A cultura no Mundo e Brasil

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma das mais importantes culturas alimentares, em termos de área e produção. O cereal ocupa mais de 17% da terra cultivável do mundo, aproximadamente 30% da produção global de grãos, sendo o segundo mais cultivado em escala mundial, atrás apenas do milho. A produção mundial é estimada em 777,5 milhões de toneladas, colhidas em 222,2 milhões de hectares na safra 2021/2022 (BORÉM e SCHEEREN, 2015; USDA, 2022a).

O trigo foi introduzido no Brasil, por volta de 1534, por intermédio de Martim Afonso de Souza, que desembarcou na capitania de São Vicente (ABITRIGO, 2019). Historicamente, a cadeia produtiva tritícola concentrou-se majoritariamente na zona de clima temperado, estendendo-se do Rio Grande do Sul até o Paraná (CARGNIN et al., 2009).

Atualmente, entre as unidades federativas do Brasil, os estados do Sul se destacam na produção do cereal, especialmente o Rio Grande do Sul e Paraná que contribuem com 87% de todo volume produzido nacionalmente, equivalente a 7,8 milhões de toneladas, de um total de 9,0 milhões de toneladas produzidas na safra 2021/2022 (CONAB, 2022).

No país, a demanda total de trigo é de aproximadamente 11,8 milhões de toneladas, ou seja, notadamente, a produção nacional não é capaz de atender às necessidades internas de consumo, e, por este motivo, são importados cerca de 6,1 milhões de toneladas por ano do cereal, principalmente da Argentina (USDA, 2022b). Nesse contexto, incentivar a expansão da área cultivada, surge como alternativa para incremento da produção, reduzindo a dependência externa e assegurando o abastecimento do cereal no mercado brasileiro.

A região do Brasil Central, formada pelo Distrito Federal e pelos estados de Minas Gerais e Goiás e parte dos Estados da Bahia e Mato Grosso, apesar de não ser considerada uma região tradicionalmente utilizada para o cultivo do trigo, apresenta grande potencial para expansão da produção tritícola brasileira, principalmente, em decorrência das condições edafoclimáticas favoráveis à cultura e da extensão de área. Essa região dispõe de uma área propícia ao cultivo de trigo de cerca de 4,0 milhões de hectares no Cerrado (PASINATO, 2017; CHAGAS et al., 2021).

A expansão da triticultura para o Brasil Central também é uma excelente alternativa para a diversificação das áreas de cultivo. Além disso, nessa região, a colheita coincide com o período de entressafra das lavouras tradicionais de produção no Sul, alcançando melhor competitividade de preço frente as demais regiões. A proximidade dos grandes centros consumidores, sobretudo, o estado de Minas Gerais, é outra vantagem ao cultivo do cereal nessas áreas (COELHO et al., 2011; CONDÉ et al., 2013).

Na região de cerrado do Brasil Central, o trigo é cultivado em duas épocas. A primeira é caracterizada pelo cultivo em sequeiro, com semeadura realizada a partir da segunda quinzena de janeiro, logo após a colheita da cultura do verão para maior aproveitamento do período chuvoso na implementação da cultura. A segunda época é caracterizada pelo plantio a partir da segunda quinzena de abril, durante a estação da seca, porém, utilizando irrigação (COODETEC, 2010; CONAB, 2017).

## 2.3 Cultivares

A expansão da triticultura para diversas regiões agrícolas do país foi possível, principalmente, devido ao melhoramento de cultivares, aliadas ao desenvolvimento de técnicas eficientes de manejo da cultura, bem como o uso da prática da irrigação. Contudo, conforme Colombari Filho et al. (2013), o desenvolvimento de qualquer cultura depende da interação genótipo-ambiente, sendo que cada cultivar apresenta um comportamento diferente de acordo com as características do local de cultivo.

A interação genótipo-ambiente é determinante na estabilidade de produção e na produtividade final da cultura. Dessa forma, ressalta-se a necessidade de estudos regionalizados que abordem o comportamento adaptativo e produtivo da cultura do trigo em diferentes condições edafoclimáticas, a fim de elevar a produção em níveis que assegurem o abastecimento interno do mercado agrícola brasileiro.

A BRS 404 é uma cultivar desenvolvida pela Embrapa, lançada em 2014, apresenta potencial de rendimento de 40 sc/ha e foi desenvolvida para plantio em áreas de sequeiro, com altitudes iguais ou superiores a 800 metros. É indicada para o cultivo nos estados de Goiás, Distrito Federal e Minas Gerais. Possui ciclo precoce, com duração de 105 a 118 dias, dependendo do local e da altitude onde é cultivada. Apresenta altura média de planta de cerca de 80 cm e, é moderadamente resistente ao acamamento. Com relação às principais doenças da cultura na região tropical, caracteriza-se por ser moderadamente resistente à mancha marrom, moderadamente suscetível a brusone e a mancha amarela e suscetível a ferrugem da folha. A BRS 404 está enquadrada na classe comercial pão (SÓ e SILVA, et al., 2015).

A OR Feroz é uma cultivar de trigo com genealogia europeia, lançada em 2020. Apresenta elevado potencial produtivo e excelente tolerância à seca. É indicada para cultivo em todas as regiões tritícolas do Brasil. Possui ciclo precoce, com duração de 117 a 120 dias, porte de planta baixa, sendo de moderada resistência ao acamamento. Com relação às principais doenças da cultura, caracteriza-se por ser resistente às manchas foliares, brusone e ferrugem da folha. A OR Feroz está enquadrada na classe comercial melhorador (MACIEL et al., 2022; OR GENÉTICA DE SEMENTES, 2022).

## 2.4 Disponibilidade hídrica e desenvolvimento do trigo

As plantas estão constantemente expostas a diversos fatores bióticos e abióticos que podem afetar seu crescimento e desenvolvimento (SUZUKI, 2014). A disponibilidade hídrica é reconhecidamente o principal fator abiótico ao qual a maioria das culturas apresentam maior sensibilidade, sendo capaz de reduzir substancialmente a produção mundial de alimentos (HEINEMANN, 2010; FERREIRA, 2017).

A água atua em, praticamente, todos os processos fisiológicos, bioquímicos e morfológicos nos vegetais. O conteúdo de água no solo é importante para o *status* hídrico da planta, sendo esse status fundamental para o processo fotossintético, manutenção da turgescência e do alongamento celular, absorção e transporte de nutrientes, entre outros processos (TAIZ e ZEIGER, 2017).

Na região do Brasil Central, em lavouras tritícolas sem irrigação, o requerimento hídrico da cultura é plenamente atendido pela precipitação pluvial. Contudo, nessa região, no período de inverno, as chuvas são esporádicas, irregulares e insuficientes, o que afeta a disponibilidade de água no solo (BORÉM e SCHEEREN, 2015). À medida que o solo seca, e o conteúdo de água é reduzido, conseqüentemente, o potencial matricial é também reduzido, tornando-se mais difícil a absorção de água pelos vegetais, condicionando a planta a uma condição de déficit hídrico, e, conseqüente, estresse hídrico (BORTOLINI, 2016).

O estresse hídrico ocorre quando à quantidade de água ofertada a planta é insuficiente para recuperar a água perdida via transpiração, o que afeta as relações hídricas nas plantas, impedindo a expressão do seu potencial genético pleno. As plantas são organismos sésseis e não pode deslocar-se, quando expostas a condições adversas. Em substituição à mobilidade, elas desenvolveram a capacidade de ajustar-se em resposta às condições desfavoráveis à sua sobrevivência, como a restrição hídrica (BIANCHI et al., 2016; TAIZ e ZEIGER, 2017).

A resposta do trigo ao déficit hídrico depende da intensidade e duração do estresse, do estágio fenológico e da capacidade genética de resposta do genótipo. Algumas das características mais afetadas na cultura são: a área foliar, a taxa fotossintética, a produção de biomassa, a altura de planta, o comprimento de raiz, o perfilhamento, o número de espigas, o número de grãos por espiga, o peso de mil grãos e o comprimento do pedúnculo (KILIÇ e YAGBASANLAR, 2010).

O principal mecanismo através do qual as plantas percebem a restrição hídrica é a alteração da turgescência da célula. A água é necessária para manter a pressão de turgescência

nas células, permitindo a expansão celular. Sob limitação hídrica, a pressão de turgor é reduzida, eliminando a força motora do alongamento celular. Logo, o primeiro efeito deletério provocado pelo déficit hídrico é a alteração do crescimento vegetal, notadamente a redução da área foliar (XU et al., 2010; LANNA et al., 2012; TAIZ e ZEIGER, 2017).

Quando expostas à restrição do conteúdo de água do solo, além do decréscimo da área foliar, as plantas podem responder com o aumento da senescência e da abscisão foliar. Esse mecanismo permite a manutenção dos tecidos jovens por meio da translocação dos metabólitos dos tecidos em senescência para os órgãos jovens. Além disso, a perda das folhas reduz a superfície transpiratória e, conseqüentemente, a perda de vapor de água. Por outro lado, tanto a redução da área foliar como a senescência e abscisão das folhas promovem o declínio da fotossíntese (ANJUM et al., 2011; TAIZ e ZEIGER, 2017).

A cultura do trigo requer em média 300 mm de água, bem distribuídos ao longo do ciclo, podendo variar com as condições climáticas da região de cultivo (PEREIRA, 2018). Quanto a sensibilidade ao déficit hídrico, por ter origem em regiões áridas, a cultura é moderadamente resistente. Contudo, alguns estádios de desenvolvimento da planta são bastante afetados por variações na quantidade de água disponível. O período de formação de órgãos reprodutivos e floração é a fase mais sensível a disponibilidade de água no solo. Restrições hídricas imposta nesse período, especialmente, na ocasião de pré-antese, pode comprometer o rendimento tanto em termos quantitativos como qualitativos (SANTOS et al., 2012; CUNHA et al., 2015).

## **2.5 Manejo da irrigação**

Nas lavouras tritícolas brasileiras, em cultivo de sequeiro, a chance de ocorrência de períodos de estiagem está sempre presente, aumentando o risco envolvido na atividade agrícola e as incertezas quanto à produtividade da cultura, em razão da variabilidade na distribuição da precipitação. Dessa forma, a irrigação torna-se uma prática fundamental para aumentar o rendimento da cultura. A produtividade média do trigo, em regime de sequeiro, varia de 1,5 a 3,0 toneladas por hectare (RIBEIRO, 2012). Em cultivo irrigado, o trigo apresenta maior potencial produtivo em torno de 6,0 toneladas por hectare (COODETEC, 2010).

A técnica da irrigação permite o fornecimento controlado de água para a cultura em quantidade suficiente e no momento certo. Não existe um método de irrigação ideal, a escolha do método deve ser baseada em diversos fatores, destacando-se as condições edafoclimáticas,

a disponibilidade de água, o tipo de cultura, os benefícios sociais advindos de seu uso e a capacidade de investimento do produtor (BERNARDO et al., 2006).

Nas lavouras tritícolas no Cerrado, em cultivos irrigados, o sistema usualmente adotado é o de pivô central (MOREIRA et al., 2004). A irrigação por meio de sistemas de pivô central apresenta algumas vantagens, como o potencial para fornecer elevados valores de uniformidade de aplicação, a possibilidade de aplicação de fertilizantes e outros produtos químicos na água de irrigação. Além disso, é adequado à maioria das culturas e tipos de solo e requer baixa mão de obra na operação do sistema (TESTEZLAF, 2017).

Com a água sendo um recurso cada vez mais escasso, os sistemas irrigados devem buscar o melhor aproveitamento desse recurso, sendo esse um dos aspectos de grande importância a ser analisado na escolha do método de irrigação através da eficiência com que este irriga a cultura (RODRIGUES e DOMINGUES, 2017; TESTEZLAF, 2017).

O sistema de irrigação por gotejamento por sua característica de aplicação da água próximo à zona radicular das plantas, em altas frequências e baixas vazões, apresenta inúmeras vantagens, dentre as quais, destacam-se a maior eficiência de aplicação pela menor quantidade de água evaporada, com conseqüente redução das perdas e o potencial de uso onde os recursos hídricos são mais escassos (BERNARDO et al., 2009; TESTEZLAF, 2017).

A irrigação deficitária é uma estratégia de manejo que visa atender somente uma fração da demanda por evapotranspiração da cultura (RODRIGUES et al., 2013). A restrição hídrica pode ser imposta ao longo de todo ciclo de desenvolvimento ou somente no período em que a cultura apresenta menor sensibilidade ao déficit hídrico (LIMA et al., 2012).

O correto manejo da irrigação deficitária em sistemas irrigados de produção não resulta em perdas expressivas de produtividade, permite o aumento da eficiência do uso da água e garante o retorno econômico da cultura irrigada (DU et al., 2010; PEREIRA et al., 2012). Essa estratégia de irrigação é usualmente adotada em regiões onde os recursos hídricos para a produção agrícola são limitados. Além de contribuir para o uso racional da água, também apresenta como benefício a redução da incidência de doenças fúngicas devido à menor umidade próxima à cultura (ZWIRTES et al., 2015; MENDONÇA, 2017).

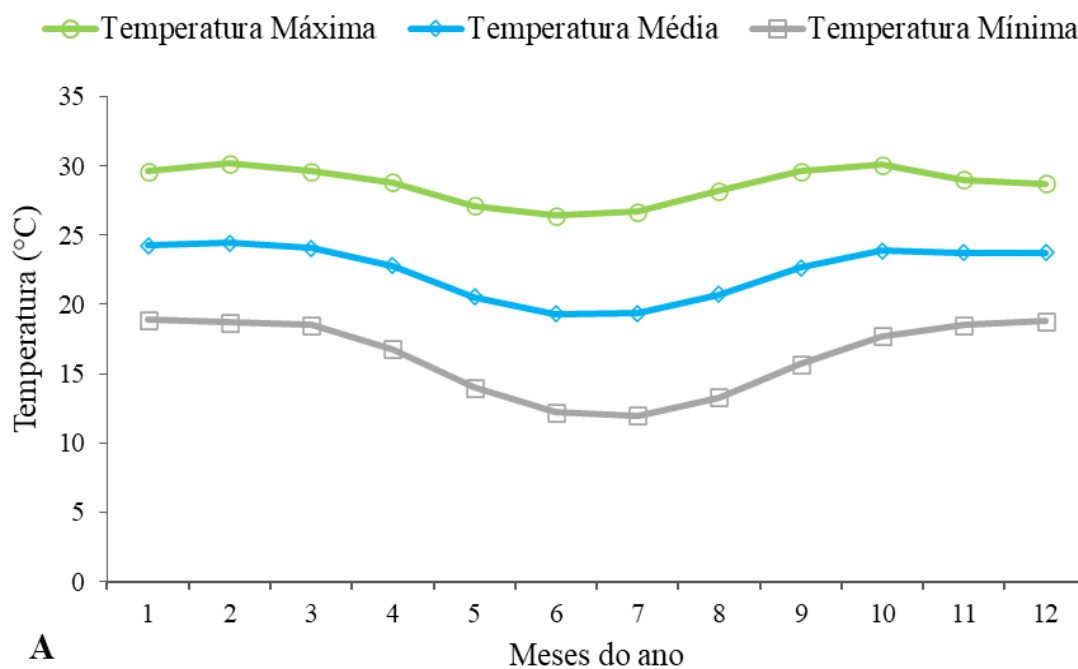
A adoção do manejo da irrigação deficitária, ou a imposição de restrições hídricas em determinado estágio de desenvolvimento, incrementou a produtividade da água em culturas como a batata (AHMADI et al., 2010), milho (MARTINS, 2010), feijoeiro (FRANÇOIS, 2012) e tomateiro (MENDONÇA, 2017).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

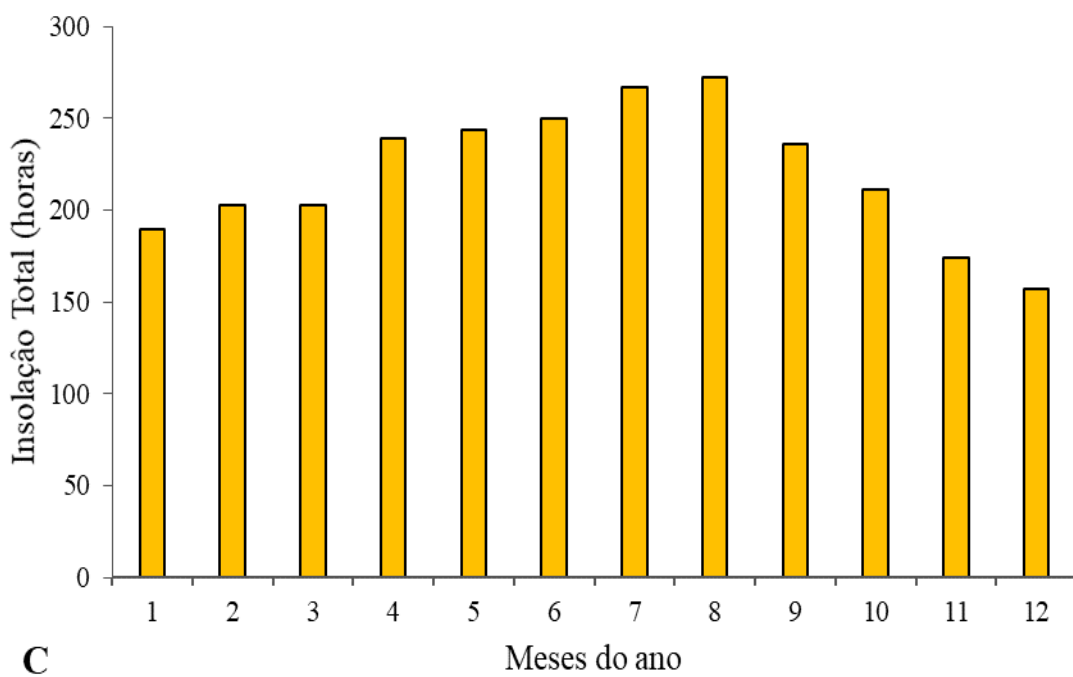
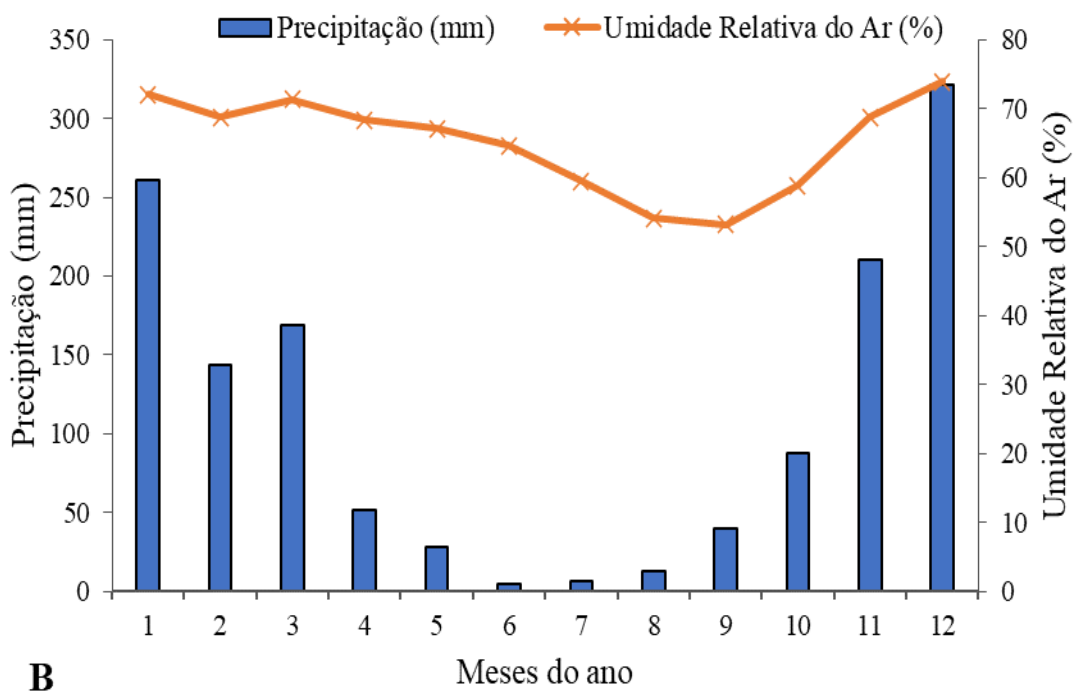
#### 3.1 Caracterização do local do experimento

O experimento foi instalado nas dependências da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, cujas coordenadas geográficas são 19°28'4" de latitude Sul e 44°14'52" de longitude Oeste, com nível altimétrico de 761 m. O clima predominante na região, segundo a escala de Koopen, é caracterizado como Cwa, com verão quente e chuvoso e inverno seco. A temperatura média anual é de 22 °C e a precipitação média anual é de 1.363 mm, com o período chuvoso iniciando em outubro e o seco em abril (FERREIRA e SOUZA, 2011).

Na Figura 1, são apresentadas médias mensais de temperatura mínima e máxima, precipitação, umidade relativa do ar e horas de brilho solar, de um período de 30 anos (1981-2010), obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).







**Figura 1** - Médias mensais da temperatura máxima, média e mínima do ar (A), precipitação pluvial e umidade relativa do ar (B) e insolação total (C) entre 1981-2010, para Sete Lagoas, MG, com base nas séries históricas obtidas junto ao INMET.

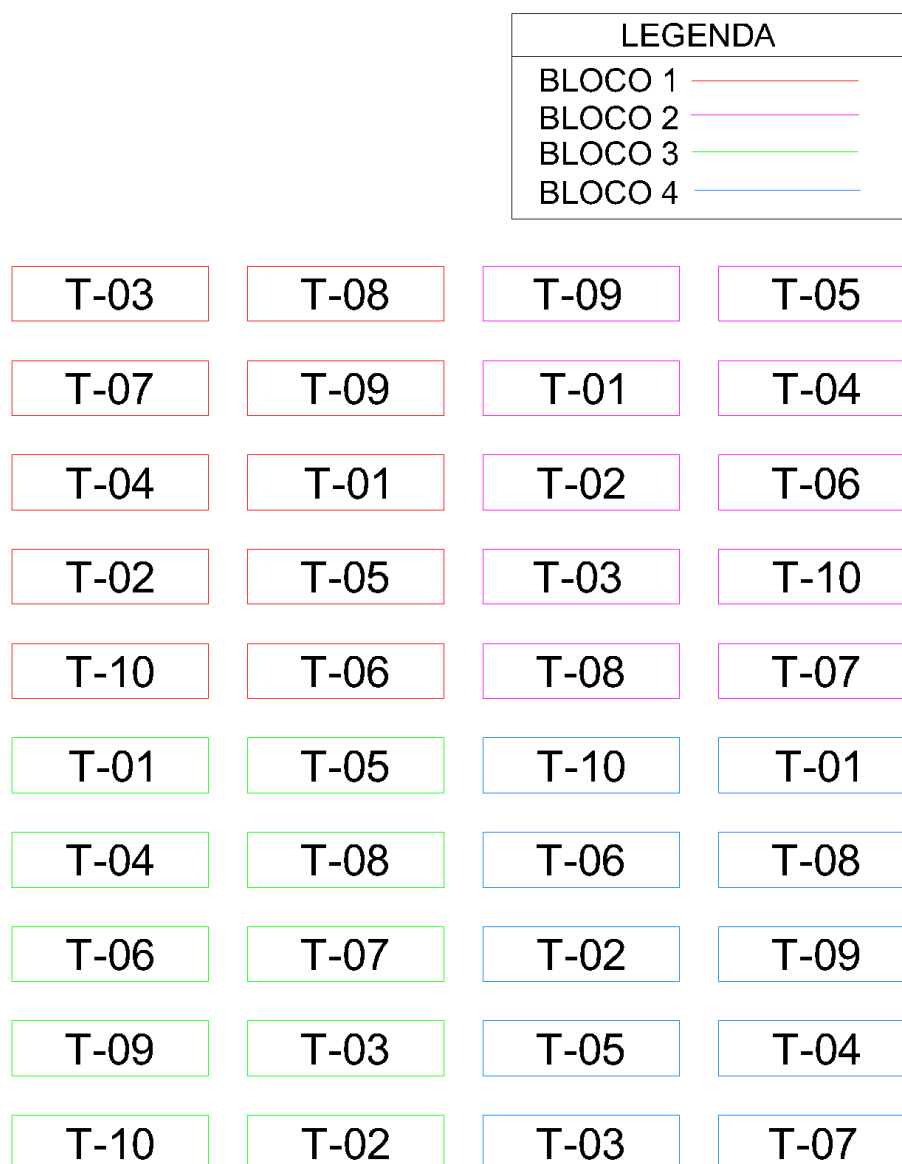
### 3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema fatorial 2 x 5, sendo dois genótipos de trigo (BRS 404 e OR Feroz) e cinco níveis de irrigação (120%, 100%, 80%, 60% e 40% de reposição da evapotranspiração da cultura), com quatro repetições, totalizando 10 tratamentos (Tabela 2), perfazendo o total de 40 parcelas experimentais (Figura 2).

As parcelas experimentais foram constituídas de 7 fileiras, com 5 m de comprimento e espaçamento entre linhas de plantas de 0,2 m, sendo as 5 centrais consideradas como úteis para coleta de dados, desprezando-se 1,0 m nas extremidades, totalizando 3,0 m<sup>2</sup> de área útil.

**Tabela 2** - Descrição detalhada dos tratamentos (ETc = evapotranspiração da cultura, ou seja, evapotranspiração potencial).

| <b>Tratamento</b> | <b>Cultivar</b> | <b>Nível de Irrigação</b> |
|-------------------|-----------------|---------------------------|
| <b>T1</b>         | BRS 404         | Reposição de 120% da ETc  |
| <b>T2</b>         | BRS 404         | Reposição de 100% da ETc  |
| <b>T3</b>         | BRS 404         | Reposição de 80% da ETc   |
| <b>T4</b>         | BRS 404         | Reposição de 60% da ETc   |
| <b>T5</b>         | BRS 404         | Reposição de 40% da ETc   |
| <b>T6</b>         | OR Feroz        | Reposição de 120% da ETc  |
| <b>T7</b>         | OR Feroz        | Reposição de 100% da ETc  |
| <b>T8</b>         | OR Feroz        | Reposição de 80% da ETc   |
| <b>T9</b>         | OR Feroz        | Reposição de 60% da ETc   |
| <b>T10</b>        | OR Feroz        | Reposição de 40% da ETc   |



**Figura 2** – Esquema da disposição dos tratamentos na área experimental, Sete Lagoas, MG, 2022.

### 3.3 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido em condições de campo. Antes da instalação do experimento, amostras foram coletadas para a determinação das características químicas do solo da área experimental (Tabela 3). O solo possui textura muito argilosa, composto por 66,8% de argila, 17,2% de silte e 15,8% de areia.

**Tabela 3** - Caracterização química das amostras de solo da área experimental. Sete Lagoas, MG, 2022.

| AMOSTRA | V   | K                      | P                         | Ca                     | Mg  | B   | Zn  | Mn   | Cu  | Fe                        | Al               | H+Al | pH  |
|---------|-----|------------------------|---------------------------|------------------------|-----|-----|-----|------|-----|---------------------------|------------------|------|-----|
| (cm)    | (%) | (mg dm <sup>-3</sup> ) | (cmolc dm <sup>-3</sup> ) | (mg dm <sup>-3</sup> ) |     |     |     |      |     | (cmolc dm <sup>-3</sup> ) | H <sub>2</sub> O |      |     |
| 0 – 20  | 44  | 47                     | 7,2                       | 2,9                    | 0,4 | 0,5 | 0,9 | 21,1 | 2,2 | 44                        | 0,1              | 4,4  | 5,6 |
| 20 – 40 | 25  | 25                     | 6,7                       | 1,6                    | 0,1 | -   | -   | -    | -   | -                         | 0,4              | 5,3  | 5,3 |

No preparo do solo foi feita uma gradagem, com grade niveladora. Posteriormente, para controle das plantas invasoras foi utilizado o herbicida Glifosato. De acordo com o resultado da análise do solo, foram aplicados 300 kg ha<sup>-1</sup> do adubo formulado 8-28-16 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) na adubação de plantio. A adubação de cobertura com nitrogênio foi realizada utilizando-se N na fonte sulfato de amônio, sendo dividida em duas aplicações (50 kg ha<sup>-1</sup> aplicados no início do perfilhamento e 50 kg ha<sup>-1</sup> aplicados vinte dias após a primeira cobertura).

A cultura foi semeada manualmente com espaçamento de 0,20 m entrelinhas em uma profundidade de aproximadamente 3 cm, com uma densidade de 70 sementes por metro linear, sendo a semeadura realizado no dia 30 de junho de 2022. A colheita foi realizada manualmente e individualmente por unidade experimental, no dia 17 de outubro de 2022, aos 109 dias após a semeadura (Figura 3A), quando os grãos se encontravam em estágio de grão duro. Posteriormente, o material colhido foi submetido à trilhagem mecânica (Figura 3B).



**Figura 3** - Colheita manual da cultura do trigo (A) e máquina para trilhagem dos grãos (B).

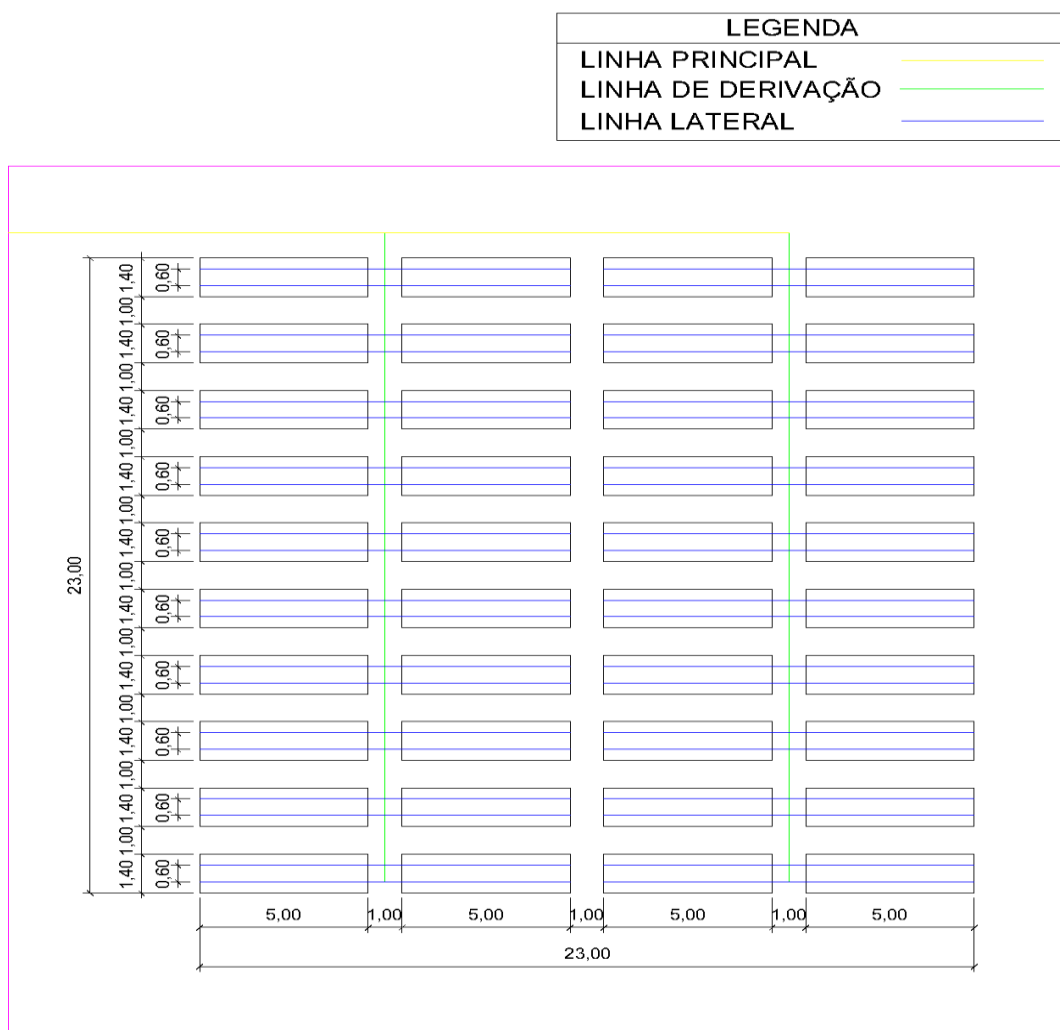
No manejo fitossanitário, utilizou-se o inseticida Connect (500 mL ha<sup>-1</sup>), tendo sido feita a primeira aplicação no dia 25 de agosto e a segunda aplicação dia 08 de setembro. Para controle de doenças fúngicas, foi aplicado o fungicida Nativo (0,75 L ha<sup>-1</sup>), sendo a primeira aplicação realizada no dia 30 de agosto e a segunda dia 15 setembro. As aplicações foram

realizadas com pulverizador costal. Além disso, foi feito o controle de formigas com o uso do inseticida Mirex-SD e a remoção de plantas invasoras com a prática da capina manual.

Durante a condução do experimento foi feito o registro das informações meteorológicas de temperatura máxima e mínima, umidade do ar, radiação e velocidade do vento, obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A precipitação pluvial também foi localmente registrada através de um pluviômetro instalado próximo à área experimental.

### 3.4 Manejo da Irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento superficial. Cada parcela experimental possuía duas linhas laterais espaçadas entre si 0,6 m e com 5,8 m de comprimento (Figura 4).



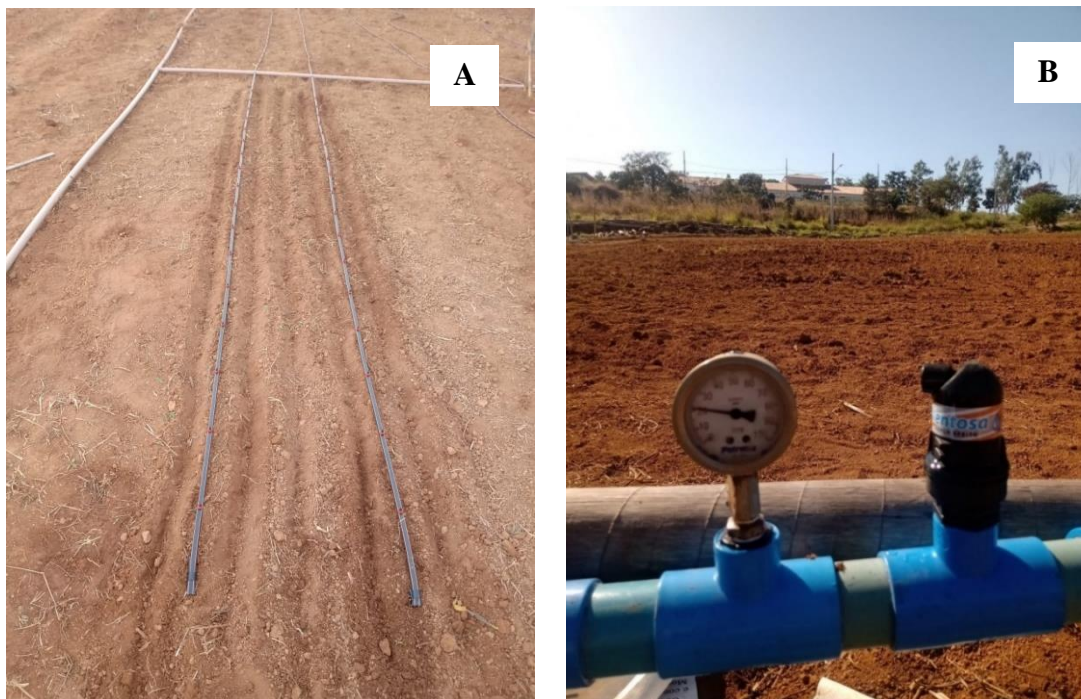
**Figura 4** - Esquema da área experimental com sistema de irrigação implantado, Sete Lagoas, MG, 2022.

A irrigação por gotejamento foi realizada diariamente, exceto aos domingos, através do sistema de irrigação por gotejamento, com gotejadores autocompensantes (Figura 5A) da marca Netafim e modelo PCJ LCNL, do tipo botão. A abertura da vazão para a área a ser irrigada era feito por um único registro localizado no cavalete, sendo os tempos de irrigação iguais para todas as parcelas experimentais. Os níveis de irrigação foram diferenciados nas parcelas experimentais com base em combinações de espaçamento entre gotejadores e vazão dos gotejadores (Tabela 4).

**Tabela 4** - Configurações de distribuição de gotejadores para obtenção de diferentes níveis de irrigação.

| Nível de irrigação | Porcentagem em relação à ETc | Vazão do gotejador (L h <sup>-1</sup> ) | Espaçamento entre gotejadores na linha lateral (m) |
|--------------------|------------------------------|---|--|
| 1                  | 120%                         | 4,0                                     | 0,39   |
| 2                  | 100%                         | 2,0                                     | 0,23   |
| 3                  | 80%                          | 2,0                                     | 0,29   |
| 4                  | 60%                          | 2,0                                     | 0,39   |
| 5                  | 40%                          | 1,2                                     | 0,35   |

A pressão de serviço do sistema foi monitorada utilizando manômetro instalado na tubulação da linha principal (Figura 5B).



**Figura 5** - Sistema de irrigação por gotejamento (A) e manômetro instalado na tubulação da linha principal (B).

O sistema foi avaliado em campo antes do experimento quanto à uniformidade, calculando-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Distribuição (CD). O procedimento para avaliação das vazões de gotejadores foi adaptado para a área do experimento. O teste de uniformidade foi realizado medindo o volume por minuto de três gotejadores aleatórios de cada nível de irrigação por bloco com o auxílio de béquer e proveta, sendo esse procedimento realizado em todas as parcelas, totalizando 60 gotejadores. Com base no referencial indicado por Bernardo et al. (2006), os valores do CUC e CD do sistema de irrigação por gotejamento estão classificados como excelente, pois são superiores a 90% (Tabela 5).

**Tabela 5** - Valores dos coeficientes de uniformidade, obtidos em campo.

| Vazão do Gotejador    | CUC (%) | CD (%) |
|-----------------------|---------|--------|
| 1,2 L h <sup>-1</sup> | 98,1    | 97,7   |
| 2,0 L h <sup>-1</sup> | 98,8    | 97,7   |
| 4,0 L h <sup>-1</sup> | 97,1    | 96,5   |

A demanda hídrica da cultura foi estimada com base na evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), estimada a partir do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) e da evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>):

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad (1)$$

Para as parcelas experimentais do nível 2 (100% da ET<sub>c</sub>, Tabela 4), com base na vazão total e área da parcela, tem-se a taxa de aplicação de 12,2 mm h<sup>-1</sup>. Assim, o tempo de irrigação era então calculado, dividindo-se a ET<sub>c</sub> pela taxa de aplicação. Ao tempo de irrigação foi acrescido 2 minutos, necessários para garantir o equilíbrio hidráulico do sistema de irrigação. Considerou-se a eficiência de aplicação de água do sistema de 95%.

A ET<sub>0</sub> diária foi determinada segundo a metodologia de Penman-Monteith (Equação 2) (ALLEN et al., 1998; PEREIRA et al., 2015), processada com o programa Excel®, a partir dos dados meteorológicos diários (radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento e umidade relativa do ar) obtidos de uma estação meteorológica (A569) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), distante aproximadamente 3.800 metros do local do experimento.

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (2)$$

Em que:  $ET_0$  = evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ );  $\Delta$  = declividade da curva de pressão de saturação ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $Rn$  = saldo de radiação à superfície ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ );  $G$  = fluxo de calor sensível no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ );  $\gamma$  = constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $T$  = temperatura média do ar tomada a 2 m de altura ( $^\circ\text{C}$ );  $U_2$  = velocidade do vento a 2 m de altura ( $\text{m s}^{-1}$ );  $e_s$  = pressão de saturação de vapor ( $\text{kPa}$ );  $e_a$  = pressão atual de vapor ( $\text{kPa}$ ).

Em relação ao  $K_c$  do trigo, nos estádios inicial, médio e final, os valores são respectivamente, 0,7, 1,15 e 0,4. Contudo, em condições de cobertura parcial do solo (fase inicial) a evaporação da água do solo representa a maior parte da evapotranspiração da cultura. Dessa forma, conforme o Boletim FAO 56 (ALLEN et al., 1998), o  $K_c$  inicial foi ajustado, adotando-se o valor de 1,15, recomendado para solo de textura média, com irrigação frequente e lâminas aplicadas inferiores a 10 mm.

Foram realizadas irrigações de pré-plantio, iniciada três dias antes da semeadura do trigo. Além disso, com a finalidade de promover condições ideais de germinação e desenvolvimento, até o perfilhamento pleno (25 dias após a semeadura), foi aplicada diariamente, exceto aos domingos, em todos os tratamentos, uma lâmina média diária de 3,44 mm. Para isso, utilizaram-se seis aspersores, espaçados em 12 x 12 metros. Logo após esse período, as diferentes lâminas de irrigação foram impostas aos respectivos tratamentos. A lâmina média aplicada pelo sistema de aspersão foi medida através de um conjunto de coletores instalados de forma paralela à linha lateral e equidistante entre os aspersores. A medição das lâminas precipitadas nos coletores teve o tempo de duração de 60 minutos, através da qual obteve-se a taxa de aplicação de  $3,83 \text{ mm h}^{-1}$ .

A irrigação foi feita utilizando a água fornecida pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), de Sete Lagoas, MG. O fornecimento de água foi interrompido para todos os tratamentos no início da maturidade fisiológica do trigo (84 DAS).

### **3.5 Características avaliadas**

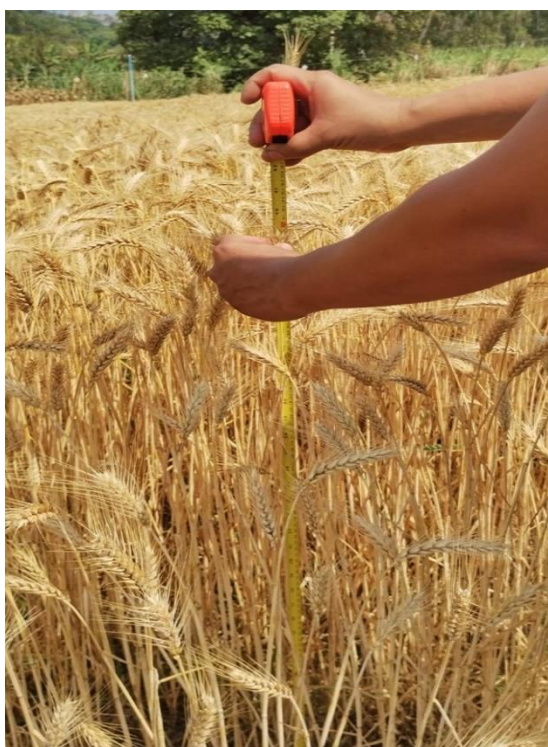
#### **3.5.1 Floração e maturação**



A floração e maturação foram obtidas a partir da contagem do número de dias transcorridos entre a semeadura e a floração de 50% das plantas e maturação de 90% das plantas de cada parcela e então determinada a média das parcelas.

### **3.5.2 Altura da planta e acamamento**

No estágio de pré-colheita, procedeu-se a medida da altura das plantas, em seis plantas ao acaso representativas da área útil, sendo essas medidas realizadas com fita métrica e considerando a distância do colo até o ápice da espiga, excluindo as aristas (Figura 6).



**Figura 6** - Determinação da altura da planta de trigo.

Para avaliação do acamamento nas unidades experimentais foi feita a estimativa da percentagem da área acamada de cada parcela, através da relação entre a área correspondente às plantas acamadas, na área útil da parcela e à área útil da parcela.

### **3.5.3 Massa verde da parte aérea**

Após a maturação, seis plantas de cada parcela foram seccionadas na região da base do perfilho. A parte aérea foi pesada para determinar a massa verde e, após esse procedimento, o

material fresco coletado foi acondicionado em sacos de papel Kraft, previamente identificados e levados a estufa a 60 °C por três dias para a obtenção da massa seca da parte aérea.

### 3.5.4 Número de espigas por unidade de área e número de grãos por espiga

O número de espigas por unidade de área foi estimado pelo total de espigas contidas em 0,3 m<sup>2</sup> de cada unidade experimental (Figura 7). Em seguida, esse número foi extrapolado para área referente a um metro quadrado.



**Figura 7** - Contagem do número de espigas por unidade de área, em quadrado de 0,3 m<sup>2</sup>.

O número de grãos por espiga foi obtido após a debulha manual, contando-se o número médio de grãos de seis espigas colhidas ao acaso por ocasião da maturidade fisiológica.

### 3.5.5 Massa de 1000 grãos e produtividade de grãos

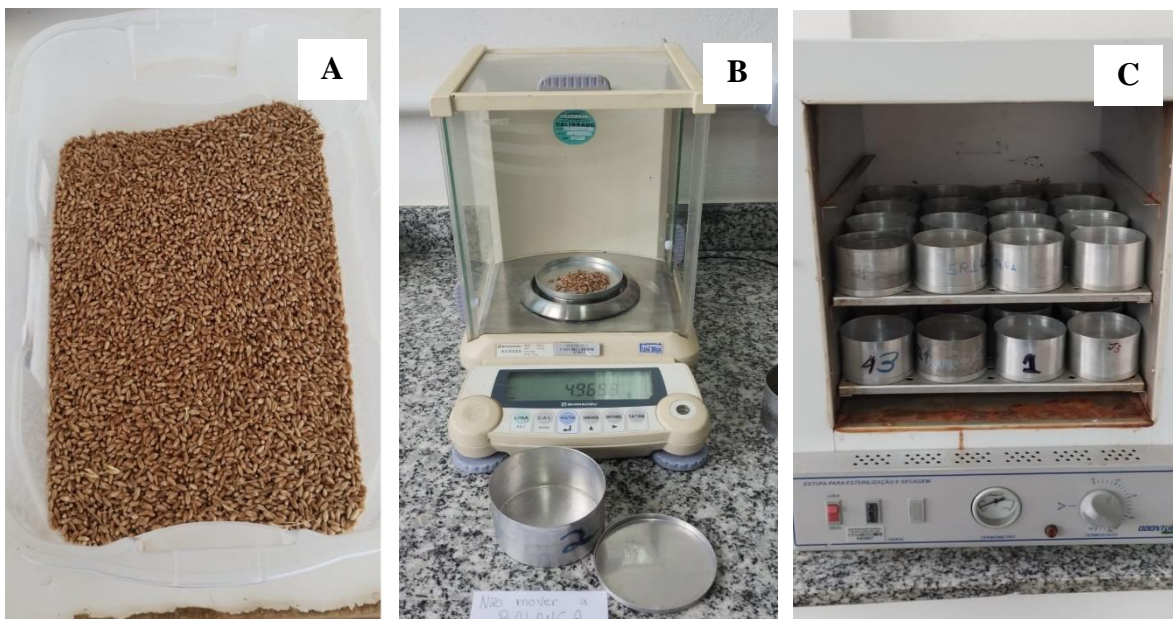
Para obtenção da massa de cem grãos, foram contados manualmente os grãos e, em seguida, pesados em balança analítica e transformando essa massa para mil grãos de acordo com a regra de análise de sementes (BRASIL,2009).

Para determinar a produtividade, as plantas contidas na área útil de cada parcela foram colhidas manualmente. Posteriormente, as espigas foram trilhadas, limpas e pesadas (Figura 8A). Na sequência, determinou-se a umidade dos grãos, por meio do método da estufa. Para isso, amostras foram pesadas e colocadas em uma estufa a 105 °C por 24 horas, quando foram novamente pesadas para determinação do peso seco (Figura 8B e 8C). Por fim, o peso dos grãos

colhidos da parcela teve a umidade corrigida para 13% (Equação 3) e o resultado extrapolado para área referente a um hectare.

$$U_{bu} = \left( \frac{M_u - M_s}{M_u} \right) * 100 \quad (3)$$

Em que:  $U_{bu}$  = teor de umidade em base úmida (%);  $M_u$  = massa úmida (g); e  $M_s$  = massa seca (g).



**Figura 8** - Grãos após a trilhagem e limpeza (A), pesagem para determinação da umidade (B) e amostras de grãos na estufa (C).

### 3.5.6 Produtividade da água

A produtividade da água, também conhecida como eficiência do uso da água, foi obtida usando a razão entre a produtividade atingida pela cultura e a quantidade de água utilizada na irrigação ao longo do ciclo da cultura:

$$W_{IRRI} = \frac{Y}{T_{IRRI}} \quad (4)$$

Em que:  $W_{IRRI}$  = produtividade da água irrigada ( $\text{kg m}^3$ );  $Y$  = produtividade de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); e  $T_{IRRI}$  = lâmina bruta total aplicada via irrigação ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ).

### **3.6 Análise estatística**

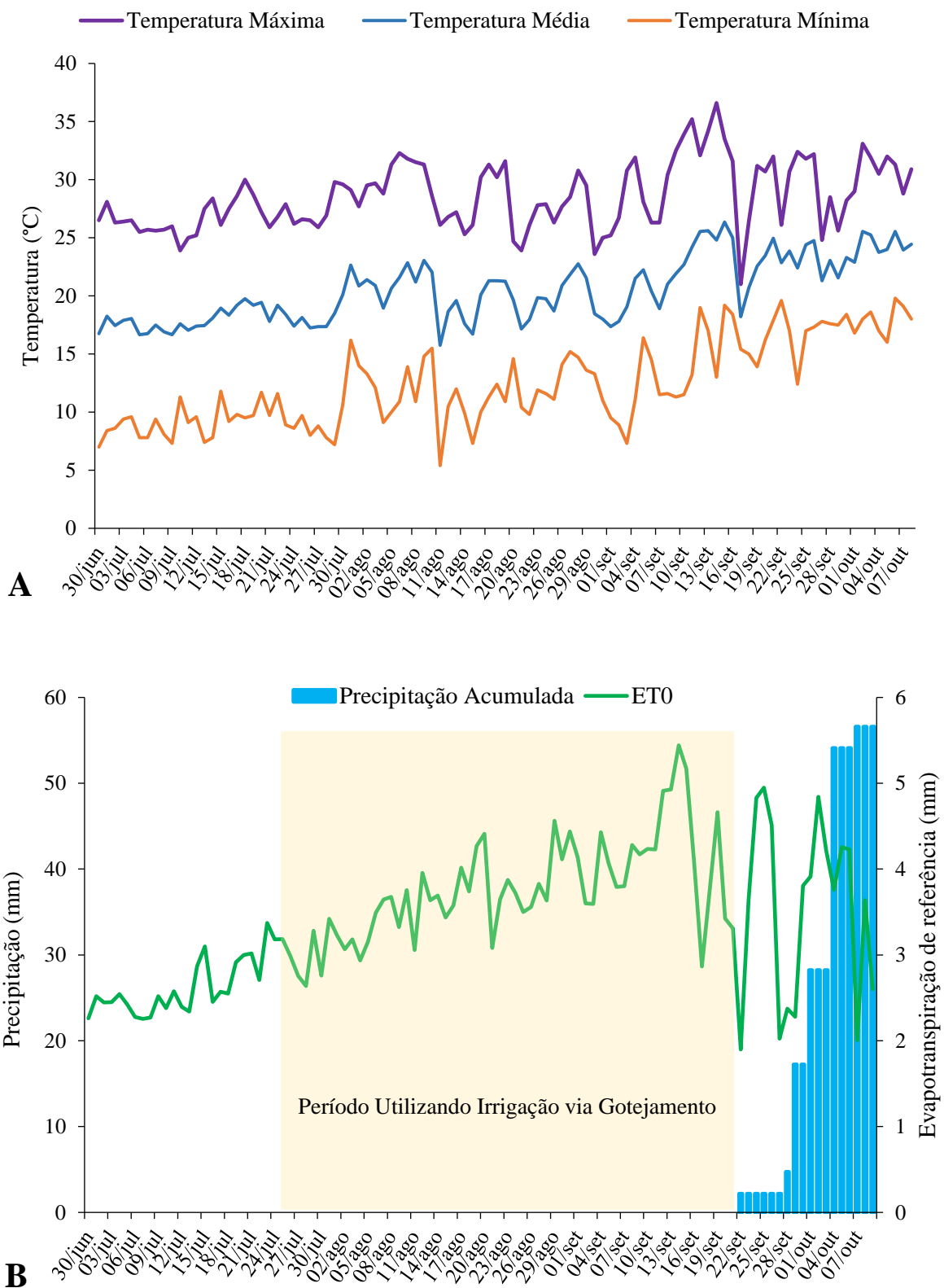
Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando significativos foi realizado o teste de médias (Tukey) com a utilização do programa estatístico Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2011), considerando-se o nível de 5% de significância. Para as variáveis dependentes quantitativas, foi aplicada análise de regressão.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Variáveis meteorológicas e consumo hídrico**

A temperatura do ar é um elemento climático importante para os processos de crescimento e desenvolvimento das plantas. Para a cultura do trigo, a temperatura média diária ideal está entre 15 °C e 23 °C, sendo que as exigências térmicas, desde a germinação até a maturação, são modificadas ao longo do ciclo da cultura (FAO, 2012). Durante o experimento, a média da temperatura do ar foi de 20,5 °C, dentro da faixa ótima para o desenvolvimento do trigo. A temperatura mínima observada foi de 5,4 °C, registrada no segundo decêndio de agosto de 2022, quando as plantas estavam no estágio de alongamento do colmo. A temperatura máxima do ar foi 36,6 °C, registrada no segundo decêndio de setembro de 2022, quando o trigo se encontrava no período de florescimento (Figura 9A).

Durante todo o ciclo de desenvolvimento do trigo, as precipitações somaram 56,6 mm, concentradas durante os 17 dias finais do cultivo. A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) no período de cultivo atingiu um máximo de 5,4 mm dia<sup>-1</sup> e um mínimo de 1,9 mm dia<sup>-1</sup>, correspondente aos 76 e 84 dias após a semeadura do trigo, respectivamente (Figura 9B).



**Figura 9** - Variação dos elementos meteorológicos: temperatura máxima, média e mínima (A), precipitação pluvial e evapotranspiração de referência diários (B), durante o período de cultivo do trigo, em Sete Lagoas, MG, 2022.

A evapotranspiração da cultura acumulada, nos 109 dias de cultivo foi de 403 mm, com média diária de 3,6 mm dia<sup>-1</sup>. Os valores de irrigação e água total (irrigação + precipitação) durante todo o ciclo de desenvolvimento do trigo, para os diferentes níveis de irrigação, são apresentados na Tabela 6. Para a cultura, o fornecimento de água deve ser interrompido quando as espigas estiverem na fase de desenvolvimento de grãos, em estágio de massa dura, momento esse em que os grãos não recebem mais fotoassimilados (SILVA et al., 2017). Nesse sentido, vale destacar que as lâminas provenientes das precipitações tiveram pouca ou nenhuma contribuição para o incremento no rendimento final da cultura, uma vez que ocorrem durante os 17 dias finais do cultivo (Figura 9B), quando as plantas já estavam próximas de atingir esse estágio. Este aspecto subsidia a não consideração da precipitação para cálculo da produtividade da água (Equação 4).

**Tabela 6** - Lâminas acumuladas aplicadas e água total (irrigação + precipitação) durante todo o ciclo do trigo para os diferentes níveis de irrigação, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022.

| Nível de irrigação<br>(ETc) | Irrigação acumulada<br>(mm) | Água total<br>(mm) |
|-----------------------------|-----------------------------|--------------------|
| 120%                        | 377                         | 434                |
| 100%                        | 326                         | 383                |
| 80%                         | 275                         | 331                |
| 60%                         | 223                         | 280                |
| 40%                         | 172                         | 228                |

#### 4.2 Análise de variância

A análise de variância indicou que a maioria das variáveis apresentaram efeitos isolados das cultivares de trigo e das lâminas de irrigação. O fator cultivar foi significativo para as variáveis altura de planta, número de espigas por m<sup>2</sup>, massa verde da parte aérea e peso de mil grãos. Em relação as lâminas de irrigação, os resultados foram significativos para as análises de maturação, altura de planta, número de espigas por m<sup>2</sup>, número de grãos por espiga, massa verde da parte aérea, peso de mil grãos, produtividade e produtividade da água. Houve interação significativa entre os fatores analisados (cultivares *versus* lâminas de irrigação), apenas para a variável maturação (Tabela 7), possibilitando o desdobramento dos mesmos.

**Tabela 7** - Resumo da análise de variância das características floração (FLORA), maturação (MAT), altura de planta (ALT), número de espigas por m<sup>2</sup> (NEM), número de grãos por espiga (NGE), massa verde da parte aérea (MVPA), peso de mil grãos (PMG), produtividade (PROD) e produtividade da água de irrigação (W<sub>IRRI</sub>) das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar. Sete Lagoas, MG, 2022.

| Fonte de variação | FLORA | MAT | ALT | NEM  | NGE | MVPA | PMG | PROD | W <sub>IRRI</sub> |
|-------------------|-------|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-------------------|
| Bloco             | **    | NS  | NS  | NS   | NS  | NS   | **  | *    | NS                |
| C                 | NS    | NS  | **  | **   | NS  | **   | **  | NS   | NS                |
| L                 | NS    | **  | **  | *    | *   | *    | *   | **   | **                |
| C x L             | NS    | *   | NS  | NS   | NS  | NS   | NS  | NS   | NS                |
| CV (%)            | 2,2   | 1,9 | 5,0 | 11,9 | 9,0 | 12,5 | 5,2 | 11,9 | 13,7              |

C: cultivar de trigo; L: lâmina de água aplicada; NS: não significativo; \*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F, \*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

### 4.3 Floração e maturação

Para a variável floração não houve diferença estatística em cultivares, lâminas de água e interação dos fatores analisados (cultivares *versus* lâminas de irrigação).

A interação significativa entre cultivares e lâminas de irrigação, indica que existe uma dependência entre esses fatores sobre a maturação das plantas de trigo e o desdobramento desta interação pode ser observado na Tabela 8.

**Tabela 8** - Desdobramento dos efeitos entre cultivares e lâminas de irrigação suplementar para o número médio de dias para maturação da cultura do trigo, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022.

| Cultivar | Lâmina de irrigação (mm) |        |       |       |       |
|----------|--------------------------|--------|-------|-------|-------|
|          | 377                      | 326    | 275   | 223   | 172   |
| BRS 404  | 91 bAB                   | 93 aA  | 90 aB | 90 aB | 90 aB |
| OR Feroz | 96 aA                    | 94 aAB | 91 aB | 90 aB | 90 aB |

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna (comparando cultivares dentro de uma mesma lâmina) e maiúsculas na linha (comparando lâminas de água aplicada) não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

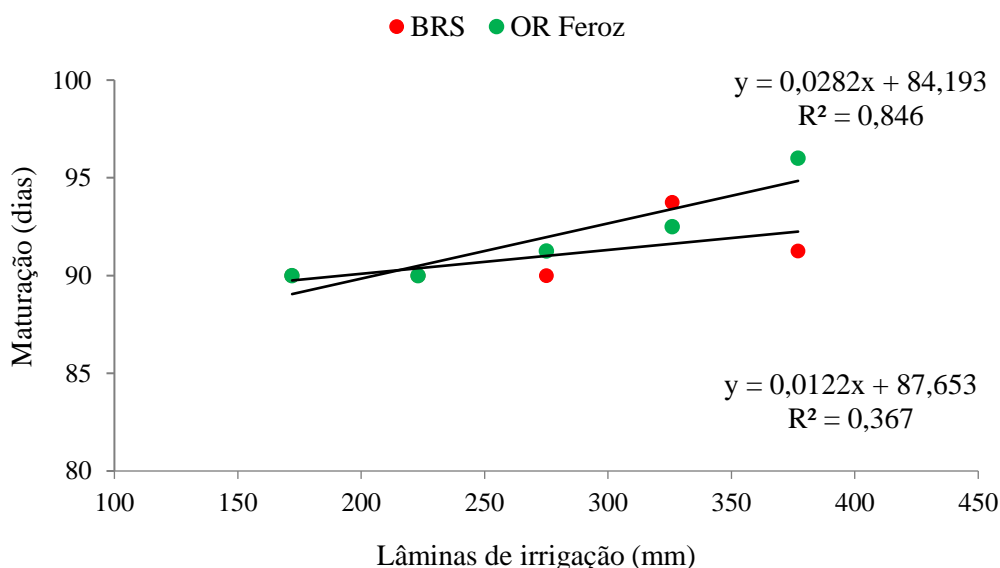
O desdobramento do fator cultivar dentro da lâmina de irrigação, para a variável dias para maturação, mostrou que a cultivar OR Feroz foi a mais tardia, enquanto, a BRS 404 foi a mais precoce, para o regime hídrico de 377 mm. Para os demais regimes hídricos não foram constatadas diferenças significativas na maturação das plantas.

Na comparação das lâminas dentro de cada cultivar, constatou-se que com a aplicação da lâmina de 377 mm (96 dias), o número de dias para a maturação da OR Feroz foi maior, contudo, sem diferir daqueles provenientes das lâminas de 326 mm (94 dias). A BRS 404

apresentou o maior número de dias para a maturação no regime hídrico de 326 mm (93 dias), sendo que este não diferiu estatisticamente do obtido com o regime hídrico de 377 mm (91 dias).

Condições estressantes, seja a deficiência hídrica ou excesso de água, ocasionam perturbações nos processos fisiológicos, bioquímicos e morfológicos nos vegetais que podem alterar o desenvolvimento fenológico das plantas (LOPES e LIMA, 2015). Para níveis de irrigação mais elevados, a cultura do trigo permaneceu mais tempo na fase vegetativa, resultando no prolongamento de dias para atingir a maturação fisiológica. Interessante destacar, que embora tenha ocorrido diferença no número de dias para a maturação fisiológica dos grãos, a colheita de todas as parcelas foi realizada simultaneamente, uma vez que, aos 109 dias após o plantio, todas as parcelas estavam em estágio de grãos duros.

A partir do ajuste obtido pela análise de regressão, pode-se constatar que houve comportamento linear crescente para o número de dias para a maturação em função do aumento da lâmina de água, com coeficiente de determinação de 0,84 e 0,36, respectivamente, para a cultivar OR Feroz e BRS 404 (Figura 10).



**Figura 10** - Regressão para o número de dias para maturação das duas cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022.



#### 4.4 Altura de planta e acamamento

Houve efeito significativo isoladamente das cultivares de trigo sobre a característica altura de planta, sendo que plantas da cultivar OR Feroz apresentaram altura média de 81,0 cm, enquanto, a BRS 404 alcançou 100,9 cm, ou seja, aproximadamente 20 cm a mais que a OR Feroz. Tal diferença está relacionada às características agronômicas estabelecidas de cada material.

A característica altura de plantas também é afetada significativamente pelas lâminas de irrigação suplementar, com base no teste de Tukey (Tabela 9). Essa variável apresentou maior valor na lâmina de 377 mm (98,7 cm), sendo que este não diferiu estatisticamente do obtido com a aplicação de 326 mm de água (97,7 cm). Em contrapartida, a menor média de altura foi obtida na lâmina de 172 mm (81,6 cm), embora não tenha diferido significativamente da lâmina de 223 mm (85,2 cm).

**Tabela 9** – Altura média de plantas das duas cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022.

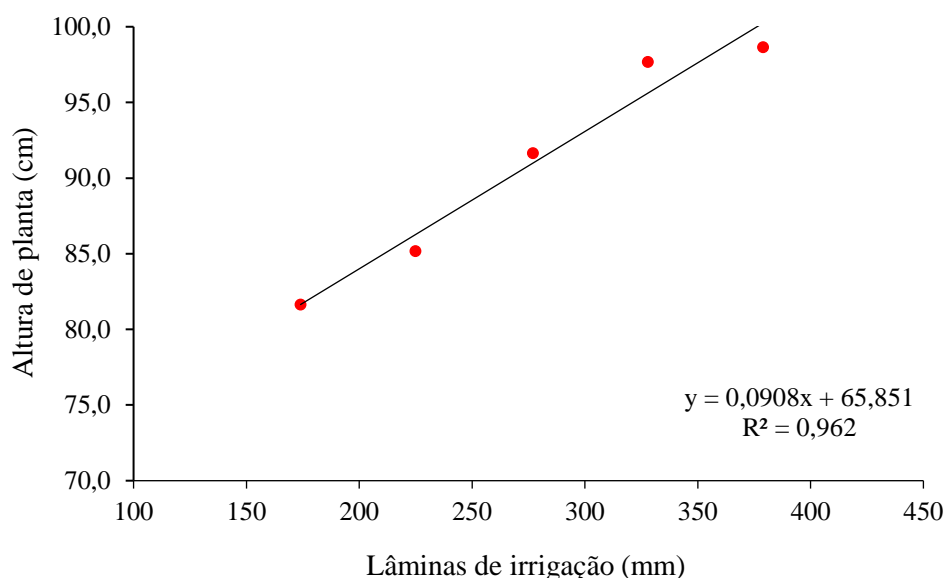
| <b>Lâmina<br/>(mm)</b> | <b>Altura de plantas<br/>(g)</b> |
|------------------------|----------------------------------|
| 377                    | 98,7 a                           |
| 326                    | 97,7 ab                          |
| 275                    | 91,7 bc                          |
| 223                    | 85,2 cd                          |
| 172                    | 81,6 d                           |

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

A altura de plantas está diretamente relacionada com a disponibilidade de água. Assim como constatado no presente estudo, Boutraa et al. (2010), ao avaliarem o efeito de diferentes regimes hídricos no crescimento de genótipos de trigo, também verificaram que, em condições de baixa disponibilidade hídrica, plantas de trigo apresentam estatura reduzida quando comparadas às que se desenvolveram em níveis satisfatórios de água no solo.

A redução do porte é uma resposta morfológica dos vegetais, em decorrência da restrição hídrica imposta. Isso porque a água é necessária para manter a pressão de turgescência nas células, permitindo a expansão celular. Sob limitação hídrica, a pressão de turgor é reduzida, eliminando a força motora do alongamento celular e, conseqüentemente, provocando a alteração do crescimento da planta (RIBOLDI, 2014; TAIZ e ZEIGER, 2017).

A característica altura de plantas ajustou-se ao modelo linear de regressão, apresentando tendência crescente à medida em que maiores lâminas de água foram fornecidas, com coeficiente de determinação de 0,96. (Figura 11). A quantificação da resposta da altura da planta em função da disponibilidade de água no solo é importante devido à sua influência positiva sobre o rendimento da cultura (ALVES, 2019; SILVA, 2011).



**Figura 11** - Regressão para a altura de plantas de cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022.

No decorrer da condução do experimento verificou-se a ocorrência de acamamento em algumas plantas (Figura 12). Problemas de acamamento em cultivares de trigo suscetíveis a este é resultante do crescimento exagerado das plantas que acontece em determinadas situações de ambiente e de manejo.



**Figura 12** - Foto aérea do campo experimental, tirada com um drone, aos 77 dias após a semeadura, mostrando o início do acamamento das plantas em algumas unidades experimentais, em Sete Lagoas, 2022.

Fonte: Alexandre Martins Abdão dos Passos.

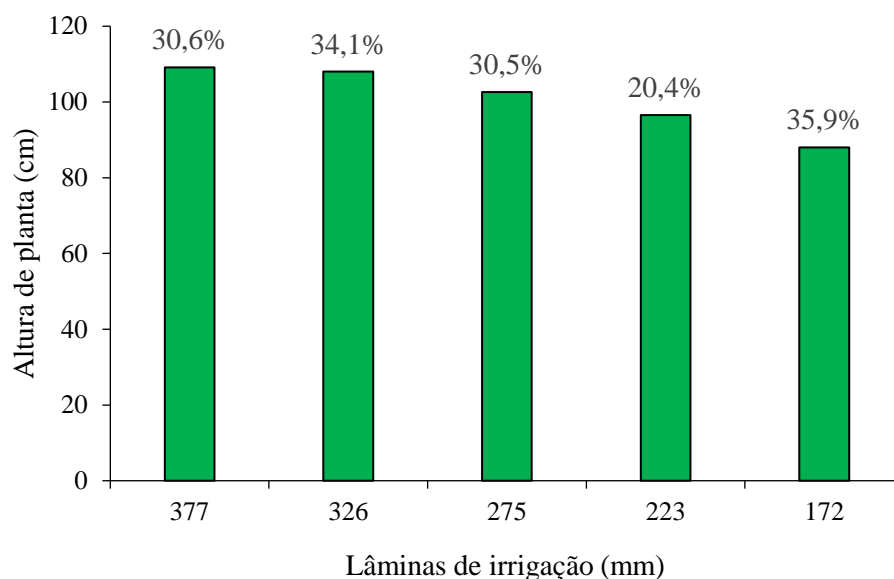
A estatura da planta de trigo está diretamente relacionada ao acamamento. A cultivar BRS 404 apresenta altura média de planta de cerca de 77 cm (CHAGAS et al., 2018). Contudo, as estaturas observadas no experimento foram maiores, alcançando 109, 108, 103, 96 e 88 cm, para as respectivas lâminas 377, 326, 275, 223 e 172 mm (Figura 14), o que refletiu em problemas de acamamento para condições do estudo (Figuras 13A e B).



**Figura 13** - Parcela com a cultivar BRS 404 com acamamento de baixa intensidade (A) e acamamento severo (B).

Além da elevada altura verificada para a BRS 404, bem como a moderada resistência ao acamamento, sendo essa uma característica própria da cultivar, as ocorrências de ventos intensos e de fortes chuvas durante o período de condução do experimento contribuíram para o acamamento das plantas. Além disso, o plantio ocorreu no final de junho de 2022, fora da época de semeadura recomendada para o trigo no Cerrado, o que pode ter aumentado à incidência de acamamento das plantas. A OR Feroz apresenta porte baixo e é considerada resistente ao acamamento. Para esta cultivar não se observou problemas de acamamento durante seu ciclo.

O percentual de área acamada nas unidades experimentais da BRS 404 variou em média de 20,4% a 35,9% (Figura 14).



**Figura 14** - Altura média de plantas de trigo e percentual de área acamada, sob as condições edafoclimáticas de Sete Lagoas, MG, 2022.

O problema de acamamento em plantas de trigo vem sendo contornado com a aplicação de redutores de crescimento. Tal estratégia propicia uma redução no porte e um consequente aumento na resistência do colmo, diminuindo assim o tombamento das plantas, principalmente em materiais genéticos de porte alto e em cultivos irrigados (DAI e WIERSMA, 2011; ZIVIANI, 2014).

#### 4.5 Massa verde da parte aérea

As cultivares apresentaram respostas distintas para a variável massa verde da parte aérea, de modo que a BRS 404 apresentou, em média 2,55 gramas planta<sup>-1</sup>, enquanto a OR Feroz apresentou, em média 2,12 gramas planta<sup>-1</sup>.

As médias de massa verde da parte aérea para as diferentes lâminas de irrigação, são apresentadas na Tabela 10, cujo teste de Tukey mostrou efeito significativo da disponibilidade de água sobre esta característica. O regime hídrico de 377 mm (2,55 g/planta), proporcionou o maior valor de massa verde da parte aérea, entretanto, não diferindo estatisticamente do regime de 326 mm (2,52 g/planta), 275 mm (2,34 g/planta) e 172 mm (2,15 g/planta).

**Tabela 10** – Valores médio de massa verde da parte aérea (MVPA) das duas cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022.

| <b>Lâmina<br/>(mm)</b> | <b>MVPA<br/>(g/planta)</b> |
|------------------------|----------------------------|
| 377                    | 2,55 a                     |
| 326                    | 2,52 ab                    |
| 275                    | 2,34 ab                    |
| 223                    | 2,12 b                     |
| 172                    | 2,15 ab                    |

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

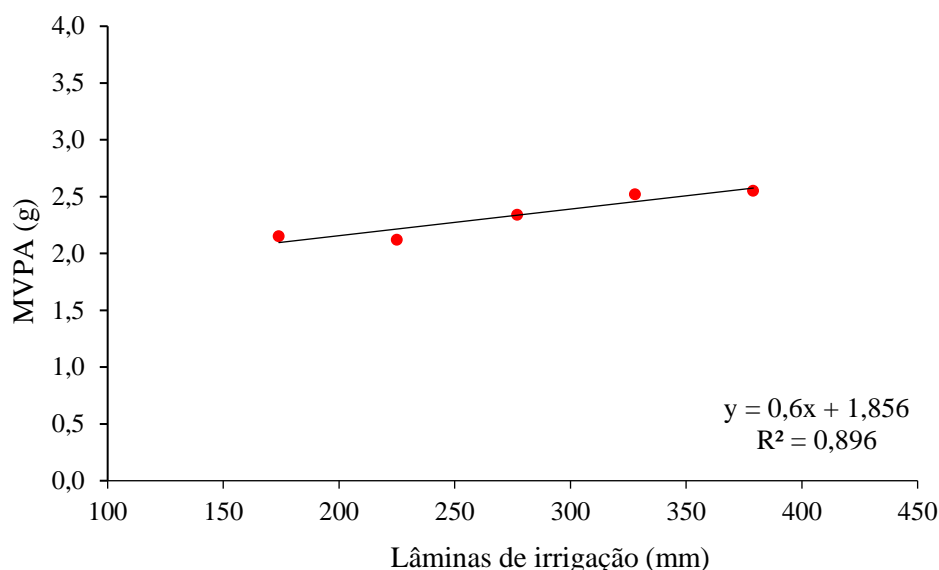
É notável que a limitação hídrica afetou negativamente a produção de massa verde da parte aérea. A redução da lâmina de irrigação de 326 mm (lâmina ideal) para 172 mm (nível mais estressante) promoveu um decréscimo de aproximadamente 14,7% nesta variável. Tal comportamento é uma importante estratégia para as plantas sob déficit hídrico, pois permite a redução da superfície transpirante evitando assim perdas de água via transpiração.

Girotto et al. (2012), ao avaliar o potencial de tolerância à seca de genótipos de trigo utilizando agentes indutores de estresse, constataram que, à medida que se aumenta a restrição hídrica, ocorrem perdas gradativas na massa de matéria verde, corroborando com os resultados evidenciados neste estudo.

Uma explicação para a menor disponibilidade de água no solo influenciar a massa verde da parte aérea é que, em condições de limitação hídrica, a planta tende a alterar o padrão de partição dos fotoassimilados entre os diferentes órgãos, priorizando o sistema radicular, em detrimento à parte aérea. Tal estratégia possibilita o incremento do crescimento das raízes, viabilizando o acesso a umidade presente em camadas mais profundas do solo e a manutenção da vitalidade da planta (OLIVEIRA, 2013; NETO, 2018).

Embora a restrição hídrica afete a maioria das funções de crescimento da planta, esse efeito é dependente da intensidade e frequência de ocorrência do estresse, do estágio fenológico e da capacidade genética de resposta da cultivar. Boutraa et al. (2010), em um estudo realizado na Arábia Saudita, com cultivares de trigo, verificaram que em condições de déficit hídrico leve o crescimento da parte aérea é mais afetado do que o sistema radicular. Entretanto, sob estresse hídrico severo, tanto a parte aérea quanto as raízes têm seu desenvolvimento afetado.

A partir da análise de regressão, constatou-se que a lâmina de irrigação proporcionou efeito linear crescente sob a variável massa verde da parte aérea (Figura 15), com um coeficiente de determinação de 0,89.



**Figura 15** - Regressão para massa verde da parte aérea de cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022.

#### 4.6 Número de espigas por unidade de área e número de grãos por espiga

Os resultados mostraram que as cultivares de trigo avaliadas apresentaram comportamento diferentes para a variável número de espigas por unidade de área, sendo que a OR Feroz obteve o maior resultado, aproximadamente 544 espigas/m<sup>2</sup>, enquanto, a BRS 404 obteve o menor resultado, cerca de 469 espigas/m<sup>2</sup>.

O número de espigas por unidade de área e o número de grãos por espiga apresentaram diferenças estatísticas na comparação entre as lâminas de irrigação suplementar, com base no teste de Tukey (Tabela 11).

**Tabela 11** – Valores médio do número de espigas por unidade de área e número de grãos por espiga das duas cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022.

| Lâmina de irrigação (mm) | Número de espigas/m <sup>2</sup> | Número de grãos/espiga |
|--------------------------|----------------------------------|------------------------|
| 377                      | 561,3 a                          | 40,5 ab                |
| 326                      | 510,8 ab                         | 40,9 a                 |
| 275                      | 509,6 ab                         | 37,1 ab                |
| 223                      | 484,2 ab                         | 36,5 b                 |
| 172                      | 466,3 b                          | 40,3 ab                |

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

O número de espigas por metro quadrado produzidos com a aplicação da lâmina de 377 mm (561,3 espigas/m<sup>2</sup>) foi superior, porém estatisticamente semelhante ao obtido com a aplicação das lâminas de 326 mm (510,8 espigas/m<sup>2</sup>), 275 mm (509,6 espigas/m<sup>2</sup>) e 223 (484,2 espigas/m<sup>2</sup>).

De maneira geral, plantas submetidas ao déficit hídrico apresentam menores números de espigas por metro quadrado, quando comparadas às plantas que se desenvolvem em condições adequadas de disponibilidade de água. Os resultados encontrados neste estudo mostram concordância com a literatura. A redução da lâmina de irrigação de 326 mm (lâmina ideal) para 172 mm provocou uma queda de cerca 8,7% no número de espigas por metro quadrado. Rao et al. (2013) também observaram redução significativa, de aproximadamente 22%, do número de grãos por metro quadrado em parcelas que receberam um pouco menos da metade da lâmina de irrigação ideal (46% do tratamento controle).

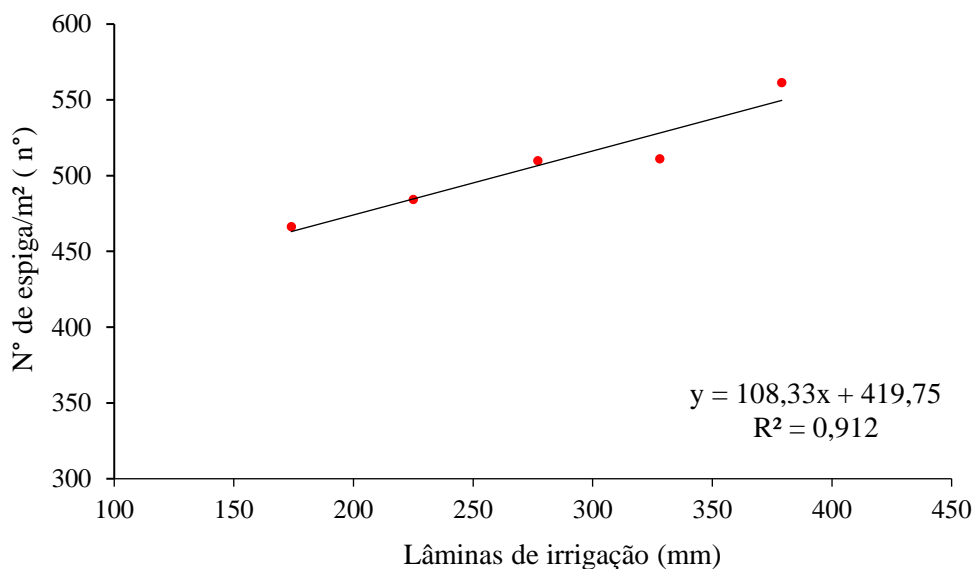
A variável número de grãos por espiga apresentou maior valor no regime hídrico de 326 mm (40,9 grãos espiga<sup>-1</sup>), sendo que este não diferiu estatisticamente dos obtidos com o regime hídrico de 377 mm (40,5 grãos espiga<sup>-1</sup>), 275 mm (37,1 grãos espiga<sup>-1</sup>) e 172 mm (40,3 grãos espiga<sup>-1</sup>).

O número de grãos por espiga teve comportamento diferente do observado em relação aos demais componentes de produção do trigo. A redução da lâmina de irrigação de 326 mm (lâmina ideal) para 172 mm (nível mais estressante), promoveu um decréscimo de aproximadamente 1,5% nesta variável. Contudo, reduções maiores foram observadas nas lâminas de 223 mm, em torno de 10,8%, quando comparada à irrigação plena. Os resultados obtidos neste estudo não seguem a mesma tendência observada por outros autores, na qual relatam a redução desse parâmetro à medida que se aumenta a restrição hídrica.

Ao estudar o efeito de diferentes lâminas de água, em genótipos de trigo, sob as condições edafoclimáticas de Planaltina, DF, Farias (2012), encontrou o maior valor (38,23 grãos espiga<sup>-1</sup>) no tratamento de maior condição hídrica (375,1 mm) e o menor valor (20,88 grãos espiga<sup>-1</sup>) no tratamento com menor volume de água aplicado (33,6 mm) para a cultivar Brilhante.

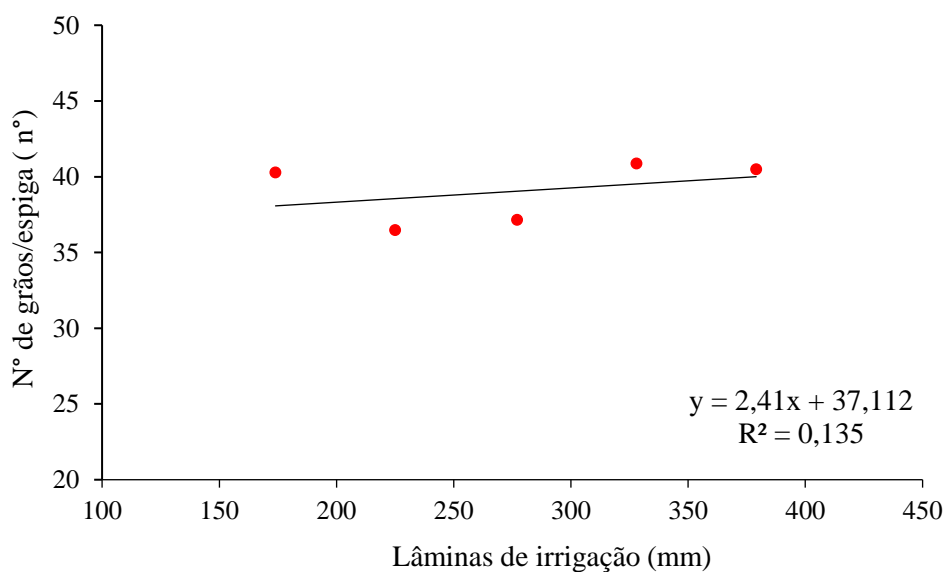
A redução do aporte hídrico às plantas resulta no aumento da senescência e da abscisão foliar. Com menos folhas para fornecer os fotoassimilados, as plantas que crescem em condições subótimas podem também produzir sementes menores e em menor quantidade (TAIZ e ZEIGER, 2017).

Utilizando-se a análise de regressão, constatou-se que houve comportamento linear crescente para o número de espigas por metro quadrado, em função do incremento das lâminas de irrigação suplementar, com coeficiente de determinação de 0,91 (Figura 16).



**Figura 16** - Regressão do número de espigas/m<sup>2</sup> de cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022.

A análise de regressão não foi significativa para a variável número de grãos por espiga (Figura 17), ou seja, o modelo linear não explicou o comportamento desta variável em função dos níveis crescentes de lâminas de água.



**Figura 17** - Regressão do número de grãos/espiga de cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022.



#### 4.7 Peso de mil grãos e produtividade

As cultivares apresentaram respostas distintas em relação a característica peso de mil grãos. A BRS 404 atingiu superioridade nessa variável, alcançando uma média de 38,3 gramas, diferindo significativamente da cultivar OR Feroz, que obteve uma média de 35,0 gramas. Esses resultados podem estar relacionados às características inerentes de cada cultivar. Assim como o número de espigas por unidade de área, o peso de mil grãos também é um dos componentes de rendimento do trigo e não teve influência para um melhor desempenho da BRS 404 quanto a produtividade de grãos.

Na Tabela 12 são apresentados os rendimentos médios de grãos das duas cultivares de trigo. Observou-se superioridade nos valores médios de produtividades para a cultivar OR Feroz, em comparação às produtividades da BRS 404, em todos os regimes hídricos. Convém ressaltar que a BRS 404 apresentou problemas de acamamento das plantas o que pode ter comprometido a produtividade final desta cultivar.

**Tabela 12** – Produtividade média de grãos de duas cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022.

| Lâmina de água<br>(mm) | Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> ) |          |
|------------------------|--------------------------------------|----------|
|                        | BRS 404                              | OR Feroz |
| 377                    | 4.909                                | 5.830    |
| 326                    | 4.740                                | 5.331    |
| 275                    | 4.502                                | 4.519    |
| 223                    | 3.940                                | 4.230    |
| 172                    | 4.098                                | 3.690    |

A maior produtividade média de grãos foi de 4.909 e 5.830 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para a cultivar BRS 404 e OR Feroz. Por outro lado, a menor produtividade obtida para a BRS 404 e OR Feroz foi de, respectivamente, 3.940 e 3.690 kg ha<sup>-1</sup>, superiores à produtividade média brasileira estimada do cereal que foi de 3.124 kg ha<sup>-1</sup>, na última safra, segundo levantamento da CONAB, em 2022.

As médias de peso de mil grãos e produtividade de grãos das duas cultivares para as diferentes lâminas de irrigação aplicadas, com base no teste de Tukey são apresentadas na Tabela 13.

**Tabela 13** – Valores médio do peso de mil grãos e produtividade de grãos das duas cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022.

| <b>Lâmina de água<br/>(mm)</b> | <b>Peso de mil grãos<br/>(g)</b> | <b>Produtividade de grãos<br/>(kg ha<sup>-1</sup>)</b> |
|--------------------------------|----------------------------------|--|
| 377                            | 37,38 ab                         | 5.370 a  |
| 326                            | 38,00 a                          | 5.036 ab   |
| 275                            | 37,25 ab                         | 4.511 bc   |
| 223                            | 35,25 b                          | 4.085 c  |
| 172                            | 35,13 b                          | 3.894 c  |

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Para a variável peso de mil grãos, a maior média foi observada no regime hídrico de 326 mm (38,0 g). Contudo, a redução da lâmina até 275 mm (37,3 g), não acarreta diferença estatística quanto ao peso de mil grãos.

A redução da lâmina de irrigação de 326 mm (lâmina ideal) para 172 mm (lâmina mais estressante) provocou uma queda de cerca 7,6% no peso de mil grãos. Esse comportamento também foi constatado por Batista (2017), que ao avaliar o potencial de tolerância à seca de genótipos de trigo em função do regime hídrico, observou que o peso dos grãos foi maior nas lâminas de 533 mm (41,87 g) e menor na lâmina de 184 mm (34,77 g), o que representa um decréscimo de aproximadamente 32,4%.

Analisando-se a produtividade, verificou-se que houve diferença estatística significativa entre as médias, em resposta às diferentes lâminas de irrigação. O maior rendimento de grãos obtido foi de 5.370 kg ha<sup>-1</sup>, produzidos com a lâmina de 377 mm. Esse valor, no entanto, não diferiu estatisticamente do valor obtido com a lâmina de 326 mm (5.036 kg ha<sup>-1</sup>). Por outro lado, a menor produtividade foi de 3.894 kg ha<sup>-1</sup>, para o tratamento com a lâmina de irrigação de 172 mm, entretanto, não diferindo estatisticamente daquelas provenientes das lâminas de 275 mm (4.511 kg ha<sup>-1</sup>) e 223 mm (4.085 kg ha<sup>-1</sup>).

Para as condições do presente estudo, a estratégia de reduzir a lâmina de água aplicada para 275 mm (80% da lâmina ideal), ao invés da irrigação plena (326 mm), proporcionou produtividade de grãos de trigo estatisticamente similar. Resultados semelhantes foram encontrados por Mendonça (2017), que estudando os efeitos da irrigação subsuperficial deficitária na cultura do tomateiro, concluiu que a produtividade no tratamento com 75% da capacidade de água disponível foi semelhante ao da irrigação plena.

Houve uma diferença na produtividade de  $1.142 \text{ kg ha}^{-1}$ , ao reduzir a lâmina de irrigação de 326 mm (lâmina ideal) para 172 mm (40% da lâmina ideal), o que equivale a uma queda de aproximadamente 22,7% no rendimento de grãos.

Ziviani (2014), estudando o comportamento de quatro genótipos de trigo (Aliança e Brilhante e as linhagens PF 020062 e PF 020037) em diferentes níveis de estresse hídrico, observou reduções na produtividade de grãos em torno de  $3.053 \text{ kg ha}^{-1}$  ou 67%, para a cultivar Aliança, nas lâminas de irrigação mais estressantes (204 mm) quando comparada a irrigação normal (530 mm). Por outro lado, Boschini et al. (2011), avaliando o efeito de diferentes lâminas de água sobre a produtividade do trigo (BRS 254), verificaram que houve uma diferença de  $4.073 \text{ kg ha}^{-1}$  de grãos a menos ou 78%, no regime hídrico de 120 mm, em comparação com o de 392 mm.

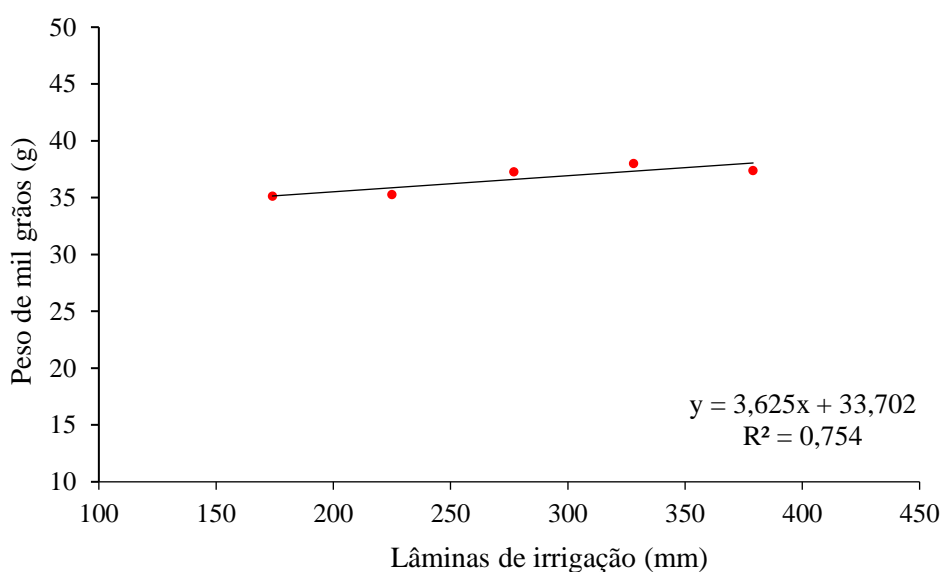
É importante ressaltar que a diferença entre os dados obtidos no presente trabalho e dos autores citados acima pode estar relacionada às características das cultivares estudadas, às condições edafoclimáticas da região e às práticas de manejo adotadas. Além disso, os referidos autores utilizaram o sistema de irrigação por aspersão em linha (line source sprinkler system), enquanto, neste estudo foi utilizado o gotejamento, caracterizado pela aplicação de água com maior frequência que nos outros métodos o que proporciona maior umidade do solo ao longo do ciclo. Adicionalmente, as cultivares (BRS 404 e OR Feroz) são indicadas para plantio em áreas de sequeiro, sendo consideradas tolerantes ao estresse hídrico e por isso apresentaram maior estabilidade na produtividade de grãos.

Em geral, o efeito da restrição hídrica sobre o peso e a produtividade de grãos está diretamente relacionado ao decréscimo da fotossíntese. O conteúdo de água no solo é importante para o *status* hídrico da planta, determinante no processo fotossintético. Sob condições limitadas de disponibilidade hídrica, as células guardas promovem o fechamento dos estômatos, a fim de evitar perda de água via transpiração. O fechamento estomático impõe limitações ao processo fotossintético, o que implica em menor produção de fotoassimilados, resultando em grãos de menor peso e, conseqüentemente, impactando a produtividade (PINHEIRO e CHAVES, 2011; OLIVEIRA, 2017; TAIZ e ZEIGER, 2017).

A redução da produtividade de grãos em plantas submetidas a restrições hídricas também está associada ao suprimento nutricional. A absorção de alguns nutrientes pelas raízes das plantas ocorre principalmente por fluxo de massa, sendo esse processo dificultado em condições de baixa disponibilidade hídrica. Com isso, a exigência nutricional da planta pode

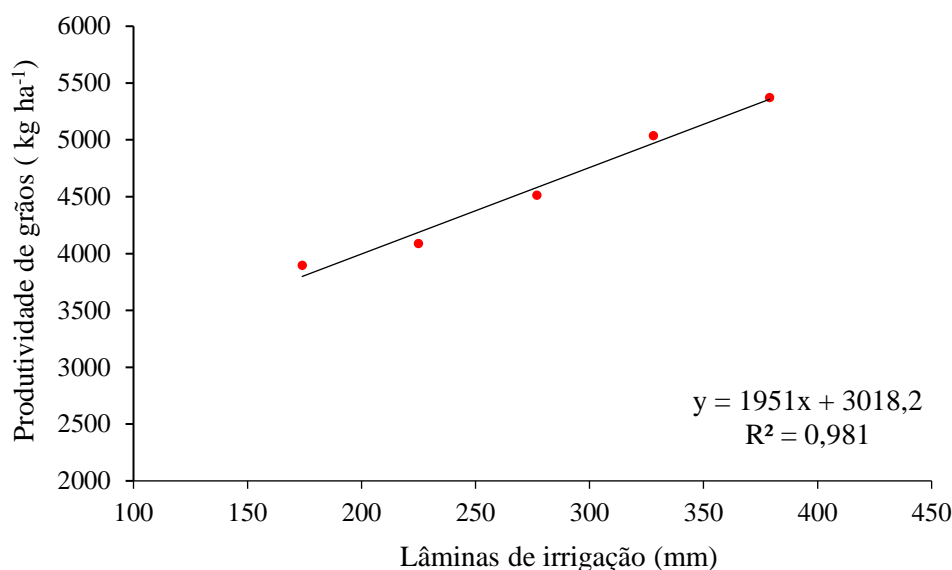
não ser atendida, mesmo com boa disponibilidade do nutriente no solo, reduzindo o rendimento das lavouras (ALMEIDA, 2016; PAES, 2016).

O peso de mil grãos teve efeito significativo da disponibilidade de água no solo, ajustando-se ao modelo linear de regressão, com coeficiente de determinação de 0,75 (Figura 18). Notou-se um acréscimo nesta variável com o aumento das lâminas de água aplicadas. Tal comportamento pode ser explicado pelo fato de o fornecimento de água favorecer a translocação de fotoassimilados para os grãos, com conseqüente aumento da sua massa devido ao maior enchimento de grãos.



**Figura 18** - Regressão do peso de mil grãos de cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022.

Para a produtividade de grãos de trigo, a análise de regressão mostrou comportamento linear crescente, em função da maior disponibilidade de água no solo, com coeficiente de determinação de 0,98 (Figura 19).



**Figura 19** - Regressão para produtividade de cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022.

O maior rendimento do trigo ( $5.370 \text{ kg ha}^{-1}$ ) foi obtido no maior regime hídrico. Contudo, a cultura não atingiu a máxima produtividade de grãos no intervalo avaliado, permitindo-se inferir, que produtividades maiores poderiam ser alcançadas com a aplicação de lâminas de irrigação superiores a 377 mm, como observado por Batista (2017), em um estudo realizado em Planaltina, DF, com onze genótipos, que constatou que a cultura tem potencial de alcançar produtividade média superior a 6,0 toneladas por hectare com irrigações de 533 mm de água.

Embora a aplicação de maiores lâminas de irrigação tenha promovido o aumento da produtividade de grãos de trigo, ressalta-se que nem sempre esse acréscimo produtivo é suficiente para garantir o retorno econômico da cultura irrigada. Dessa forma, é importante uma análise econômica para o estabelecimento de lâminas que atendam tanto ao critério de produtividade quanto econômico.

#### 4.8 Produtividade da água irrigada ( $W_{IRRI}$ )

Na tabela 14 são apresentadas as médias de produtividade da água de irrigação das duas cultivares. Nota-se que para ambas cultivares, as maiores produtividades da água foram verificadas no menor regime hídrico, ao passo que as menores foram observadas no maior regime hídrico. Na lâmina de 172 mm (40% da  $ET_c$ ), a  $W_{IRRI}$  foi de 2,36 e 2,12  $\text{kg m}^{-3}$  para a BRS 404 e OR Feroz, respectivamente. Na lâmina de 377 mm (120% da  $ET_c$ ), a  $W_{IRRI}$  da BRS

404 e da OR Feroz foi de, respectivamente, 1,30 e 1,54 kg m<sup>-3</sup>. Ressalta-se que não houve influência significativa das cultivares de trigo sobre a produtividade da água.

**Tabela 14** – Média da produtividade da água de duas cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022.

| Lâmina de água<br>(mm) | W <sub>IRRI</sub> (kg m <sup>-3</sup> ) |          |
|------------------------|---|----------|
|                        | BRS 404                                 | OR Feroz |
| 377                    | 1,30                                    | 1,54     |
| 326                    | 1,45                                    | 1,63     |
| 275                    | 1,63                                    | 1,63     |
| 223                    | 1,75                                    | 1,88     |
| 172                    | 2,36                                    | 2,12     |

A produtividade da água irrigada foi afetada significativamente pelas lâminas de irrigação suplementar, com base no teste de Tukey (Tabela 15). A melhor resposta ao uso da água foi observada para a lâmina de 172 mm, com 2,24 kg produzidos por m<sup>3</sup> de água, que diferenciou significativamente das demais. Em contrapartida, a menor W<sub>IRRI</sub>, cerca de 1,42 kg produzidos por m<sup>3</sup> de água foi obtida aplicando 377 mm, porém estatisticamente semelhante a obtida com a aplicação das lâminas de 326 mm (1,54 kg m<sup>-3</sup>) e 275 mm (1,63 kg m<sup>-3</sup>).

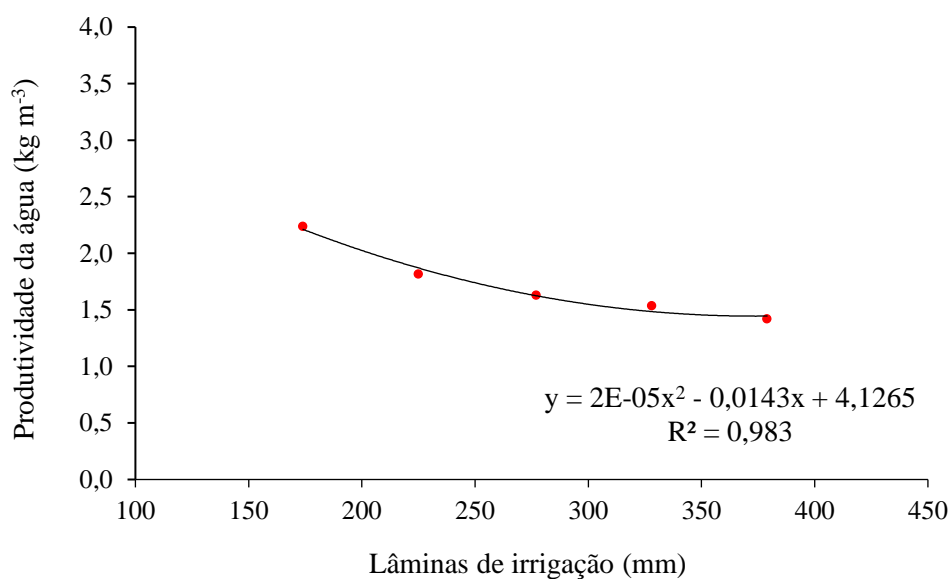
**Tabela 15** – Média da produtividade da água irrigada (W<sub>IRRI</sub>) das duas cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, para o ano de 2022.

| Lâmina de água<br>(mm) | W <sub>IRRI</sub><br>(kg m <sup>-3</sup> ) |
|------------------------|--|
| 377                    | 1,42 c                                     |
| 326                    | 1,54 bc                                    |
| 275                    | 1,63 bc                                    |
| 223                    | 1,83 b                                     |
| 172                    | 2,24 a                                     |

Médias seguidas por mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey (p<0,05).

Nos regimes hídricos inferiores à lâmina ideal, a quantidade de água não é suficiente para atender a demanda hídrica da planta, que utiliza toda a água disponível para a sua produção, resultando no aumento da eficiência no uso da água. Além da maior eficiência no uso da água, o déficit hídrico aplicado corretamente pode trazer vantagens com a diminuição dos custos de irrigação, economia de água e benefícios ao meio ambiente (CARVALHO et al., 2011; ISMAIL e ALMARSHADI, 2013).

A partir da análise de regressão, verificou-se que a produtividade da água em função das diferentes lâminas de irrigação aplicadas, ajustou-se ao modelo polinomial quadrático, com coeficiente de determinação de 0,98 (Figura 20). A eficiência no uso da água é uma variável relacionada à capacidade da cultura produzir grãos com menor quantidade de água. Em geral, a  $W_{IRRI}$  decresce com o aumento da lâmina total de irrigação (ZHANG et al., 2017), o que foi constatado neste estudo.



**Figura 20** - Regressão para produtividade da água de irrigação de cultivares de trigo em função das lâminas de irrigação suplementar, em Sete Lagoas, MG, 2022.

Apesar dos menores regimes hídricos terem proporcionado as menores produtividades de grãos, os mesmos obtiveram maiores produtividade da água irrigada. Esses resultados corroboram aos encontrados por Zwirter et al. (2015), que avaliando os efeitos de diferentes manejos de irrigação deficitária com gotejamento superficial sobre a produtividade da cultura do sorgo, concluíram que a irrigação deficitária resultou em menor rendimento de grãos, entretanto, aumentou a produtividade da água irrigada.

O maior valor encontrado para produtividade da água neste trabalho foi de 2,24 kg m<sup>-3</sup> ou 22,4 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, semelhante ao reportado por Rosário (2019), em um estudo realizado em Santa Maria, RS, que obteve o valor de 2,14 kg m<sup>-3</sup>. Contudo, difere do resultado observado por Batista (2017), que encontrou o valor de 13,15 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (genótipo PF 080492) para a produtividade da água, com base na irrigação, em pesquisa realizada em Planaltina, DF.

A diferença de produtividade da água para cultura do trigo pode estar associada às condições edafoclimáticas da região de cultivo, manejo da irrigação e da nutrição, característica da cultivar, entre outros aspectos.

Os resultados observados demonstram que a estratégia de irrigação reduzida melhora a produtividade da água de grãos de trigo, uma vez que, ao reduzir a lâmina de 377 mm para 172 mm, houve um aumento de aproximadamente 57,7% da  $W_{IRRI}$ , o que torna essa estratégia de manejo passível de ser adotada quando o foco é priorizar a economia de água. Contudo, ressalta-se que nem sempre a máxima eficiência no uso da água corresponde ao maior retorno econômico da cultura, sendo importante um detalhamento dos custos de produção, assim como, da disponibilidade e valor do recurso hídrico.



## 5 CONCLUSÕES

Verificou-se diferenças significativas para a interação cultivar e lâmina de irrigação, apenas para variável maturação.

Dentre as cultivares estudadas, a BRS 404 expressou valores mais elevados de altura das plantas, massa verde da parte aérea e peso de mil grãos, enquanto, a OR Feroz apresentou maior número de espigas/m<sup>2</sup>.

A produtividade da água e de grãos, bem como a maioria de seus componentes, diferiram significativamente em função do regime hídrico. A redução de 40% na lâmina de água recebida pela cultura, causa redução de 22,7% no rendimento do trigo, mas proporciona incremento de 57,7% na produtividade da água, o que torna a adoção da irrigação subótima uma estratégia viável quando o foco é priorizar a economia da água.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO TRIGO (ABITRIGO). **História do trigo: Trigo no Brasil**. 2019. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/conhecimento-trigo.php>>. Acesso em: 15 de julho de 2022.
- AHMADI, S. H. et al., Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Yield and water productivity, **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97 p. 1923–1930, 2010.
- ALFONSO, S. U.; BRUGGEMANN, W. Photosynthetic responses of a C3 and three C4 species of the genus *Panicum* (s.l.) with different metabolic subtypes to drought stress. **Photosynthesis Research**, v. 112, p. 175-191, 2012.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 308 p. (FAO Irrigation and Drainage, 56).
- ALMEIDA, B. M. **Deficit e excess hídrico na cultura do milho (*Zea mays* L.) em ambiente protegido**. 2016. 124 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2016.
- ALVES, M. S. **Produtividade e qualidade de cultivares de trigo em resposta a épocas de semeadura e manejo do solo em região de clima tropical de altitude**. 2019. 106 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2019.
- ANJUM, S. A.; XIE, X.; WANG, L.; SALEEM, M. F.; MAN, C.; LEI, W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**. Vol. 6(9), pp. 2026-2032, 4 May, 2011.
- BATISTA, F. P. S. **Potencial de tolerância à seca de genótipos de trigo e soja em condição de Cerrado**. 2017. 197 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2017.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8 ed. Viçosa, Ed. UFV, 2006, 625p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8 ed. Viçosa, Ed. UFV, 2009. Cap. 7, p. 259-358.
- BIANCHI, L.; GERMINO, G. H.; SILVA, M. A. Adaptação das plantas ao déficit hídrico. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 5, n. 4, p. 15-32, 2016.
- BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa-MG: Editora UFV, 2015. 260 p.
- BORTOLINI, D. **Estimativa da retenção e disponibilidade de água em solos de Santa Catarina**. 2016. 211 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016.

BOSCHINI, A.P.M.; SILVA, C.L. DA; OLIVEIRA, C.A.DAS.; OLIVEIRA JÚNIOR, M.P.DE; MIRANDA, M.Z.DE & FAGIOLI, M. Aspectos quantitativos e qualitativos do grão de trigo influenciados por nitrogênio e lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 450-457, 2011.

BOUTRAA, T.; AKHKHA, A.; AL-SHOAIBI, A. A.; ALHEJELI, A. M. Effect of water stress on growth and water use efficiency (WUE) of some wheat cultivars (*Triticum durum*) grown in Saudi Arabia. **Journal of Taibah University for Science**, v. 3, pp 39-48, 2010.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 38**, de 30 de novembro de 2010. Disponível em: <<https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=358389789>>. Acesso em: 20 de março de 2023.

CAIERÃO, E.; SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L.; SÓ E SILVA, M. Origem, evolução e melhoramento genético. **In: Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde** / Cláudia De Mori ... [et al.], editores técnicos – Brasília, DF: Embrapa, 2016.

CARGNIN, A.; SOUZA, M. A. de; FRONZA, V.; ALBRECHT, J. C.; SILVA, M. S. e; SOARES SOBRINHO, J.; YAMANAKA, C. H.; FOGAÇA, C. M. **Progressos do melhoramento genético do trigo irrigado no Cerrado de Minas Gerais**. Embrapa Cerrados, 2009. 16 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 238).

CARVALHO, J. A.; REZENDE, F. C.; AQUINO, R. F.; FREITAS, W. A.; OLIVEIRA, E. C. Análise produtiva e econômica do pimentão-vermelho irrigado com diferentes lâminas, cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 6, p. 569-574, 2011.

CHAGAS, J. H. et al. **Informações fitotécnicas para potencializar o desempenho produtivo da cultivar de trigo BRS 404 no Cerrado do Brasil Central**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, 2018. 26 p.

CHAGAS, J. H.; FRONZA, V.; SOARES SOBRINHO, J.; SUSSEL, A. A. B.; ALBRECHT, J. C. **Tecnologia de produção de trigo sequeiro no Cerrado do Brasil Central**. Embrapa Trigo, 2021. 101 p. (Embrapa Trigo. Documentos online, 195).

COELHO, M. A. de O.; CONDÉ, A. B. T.; SOUZA, M. A. de; FRONZA, V.; YAMANAKA, C. H. Expansão e cultivo da cultura do trigo em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 260, p. 38-47, jan./fev. 2011.

COLOMBARI FILHO, J. M.; RESENDE, M. D. V.; MORAIS, O. P.; CASTRO, A. P.; GUIMARÃES, E. P.; PEREIRA, J. A.; UTUMI, M. M.; BRESEGHELLO, F. Upland rice breeding in Brazil: a simultaneous genotypic evaluation of stability, adaptability and grain yield. **Euphytica**, Wageningen, v. 192, n. 1, p. 117–129, 2013.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2017. **A cultura do trigo**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 15 de julho de 2022.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2022. **Acompanhamento de safra brasileira de grãos, safra 2021/22**, Brasília: CONAB. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2023.

CONDÉ, A. B. T.; ANDRADE, A. T.; MARTINS, F. A. D.; SOBRINHO, J. S.; MORESCO, E. R.; CAIXETA, C. G. **Trigo de sequeiro: potencialidades**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.34, n. 274, p.24-29, junho 2013. Bimestral. 2013.

COODETEC – COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. Informações técnicas para trigo e triticales - safra 2011 Cascavel: Coodetec, 2010. 170 p.

CUNHA, G. R. et al. Necessidades Edafoclimáticas. In: BORÉM, A.; SCHEEREN, P. L. (Ed.). **Trigo: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, 2015. p. 56-72.

DAI, J.; WIERSMA, J. J. Agronomic Responses and Lodging of Three Spring Wheat Cultivars to Trinexapac-ethyl. Online. **Crop Management** doi:10.1094/CM-2011-0517-01- RS. 2011.

DU, T.; KANG, S.; SUN, J.; ZHANG, X.; ZHANG, J. An improved water use efficiency of cereals under temporal and spatial deficit irrigation in north China, **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n.1, p. 66–74, jan. 2010.

FAO, Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua. **Estudio: FAO: Riego Y Drenaje**, v. 22, 2012.

FARIAS, T. R. R. **Manejo de solo e água no desempenho agrônômico de genótipos de trigo no Brasil Central**. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

FERREIRA, D. F. SisVar® (Software estatístico): **Sistema de análise de variância para dados balanceados**, versão 5.6, Lavras: DEX/UFLA, 2011.

FERREIRA, L. M. **Características Morfológicas, fisiológicas e transcriptoma em variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) contrastantes quanto a tolerância ao estresse hídrico**. 2017. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

FERREIRA, W. P. M.; SOUZA, C.F. **Caracterização climática das séries temporais de temperatura e precipitação pluvial em Sete Lagoas, MG**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 33 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 35).

FRANÇOIS, T. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão submetidas à irrigação deficitária**. 2012. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria - Santa Maria 2012.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. 1. ed. Maringá: Eduem - Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2012. 356p.

GARCIA, M. R. **Caracterização espectro-temporal de cultivares de trigo por meio do índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI de sensores terrestres**. 2015. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Cascavel 2015.

GIROTTI, L.; ALVES, J. D.; DEUNER, S.; ALBUQUERQUE, A. C. S.; TOMAZONI, A. P. Tolerância à seca de genótipos de trigo utilizando agentes indutores de estresse no processo de seleção. **Revista Ceres**, vol. 59, n. 2, março-abril, pp. 192-199, 2012.

GONDIM, T. C. O.; ROCHA, V. S.; SEDIYAMA, C. S.; MIRANDA, G. V. Análise de trilha para componentes de rendimento e caracteres agrônômicos de trigo sob desfolha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 487-493, 2008.

HEINEMANN, A. B. Caracterização dos padrões de estresse hídrico para a cultura do arroz (ciclo curto e médio) no estado de Goiás e suas consequências para o melhoramento genético. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 29-36, 2010.

ISMAIL, S.M.; ALMARSHADI, M.H. Maximizing productivity and water use efficiency of alfalfa under precise subsurface drip irrigation in arid regions. **Irrigation and Drainage**, Nova Jersey, v. 62, p. 57–66, 2013.

KILIÇ, H.; YAGBASANLAR, T. The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of Durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *Durum*) cultivars. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici: Cluj-Napoca**. v. 38, n. 1, p. 164, 2010.

LANNA, A. C.; CARVALHO, M. A. de F.; HEINEMANN, A. B.; STEIN, V. C. **Panorama ambiental e fisio-molecular do arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2012. 32 p. (Documentos 274).

LARGE, E. C. Growth stages in cereals. Illustration of the Feekes Scale. **Plant Pathology**, London, v. 3, p. 128-129, 1954.

LIMA, S. C.; FRIZZONE, J. A.; MATEOS, L.; FERNANDEZ, M. S. Estimativa da produtividade de água em uma área irrigada no Sul da Espanha. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 6, n. 1, p. 51-60, 2012.

LIU, J; FENG, H; HE, J; CHEN, H; DING, D. The effects of nitrogen and water stress on the nitrogen-to-protein conversion factor of winter wheat. **Agricultural Water Management**. v. 210, p. 217-223, 2018.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. Fisiologia do estresse vegetal. In:\_\_\_\_\_. **Fisiologia da produção**. Viçosa, Editora UFV, 2015, 482p.

MACIEL, J. L. N. et al. **Resultados da rede de ensaios cooperativos para a resistência à brusone da espiga de trigo (RECORBE), safras 2020 e 2021**. Embrapa Trigo, 2022. 20 p. (Embrapa Trigo. Circular técnica, 69).

MANSOUR, A. I.; ABU-NASER, S. S. Expert System for the Diagnosis of Wheat Diseases. **International Journal of Academic Information Systems Research (IJASIR)**. Vol. 3 Issue 4, April – 2019, Pages: 19-26. 2019.

MARTINS, J. D. **Modificações morfofisiológicas em plantas de milho submetidas a déficit hídrico**. 2010. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria –Santa Maria, 2010.

MENDONÇA, T. Z. **Irrigação subsuperficial deficitária no cultivo de tomateiro em casa de vegetação**. 2017. 57 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente) - Universidade Federal de São Carlos, Araras, 2017.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p.

MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; TRINDADE, M. D. G.; CÁNOVAS, A. D. **Manejo da irrigação para o trigo no sistema plantio direto**. Embrapa Arroz e Feijão. Embrapa Cerrados, 2004. 8 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado Técnico, 91).

NETO, L. P. **Respostas morfofisiológicas e bioquímicas de *Lippia gracilis* (Verbenaceae) frente ao déficit hídrico**. 2018. 64 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2018.

OLIVEIRA, C. **Mudanças fisiológicas e moleculares na cultura do arroz e em plantas daninhas C3 e C4 submetidas a estresses abióticos**. 2017. 166 f. Tese (Doutorado em Fitossanidade) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

OLIVEIRA, F. N. **Partição de assimilados e índices de produtividade em arroz de terras altas**. 2013. 67 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2013.

OR Genética de Sementes. **OR Feroz**. 2022. Disponível em: <<https://www.orsementes.com.br/cultivares/2/ors+feroz>>. Acesso em: 26 de julho de 2022.

PAES, J. L. de A. **Crescimento e acúmulo do fósforo em milho, em resposta à adubação localizada do nutriente e à disponibilidade de água**. 2016. 59 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

PASINATO, A. **Potencialidades e limitações para a expansão do cultivo de trigo sequeiro no bioma cerrado do Brasil Central**. 2017. 126 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção Vegetal) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 2017.

PEREIRA, L. S., ALLEN, R. G., SMITH, M., AND RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, Elsevier B.V., v. 147, p. 4-20, 2015.

PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. Improved indicator of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving, **Agricultural Water Management, Amsterdam**, v. 108, p. 39–51, 2012.

PEREIRA, R. A. A. **Balanço de energia, consumo hídrico e coeficiente de cultivo do trigo no Sudeste brasileiro**. 2018. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2018.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, v. 62, p. 869–882, 2011.  
PIRES, J. L. F. et al. Integração de práticas de manejo no sistema de produção de trigo. **Embrapa Trigo-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2011.

RAO, S. S.; REGAR, P. L.; TANWAR, S. P. S.; SINGH, Y. V. Wheat yield response to line source sprinkler irrigation and soil management practices on medium-textured shallow soils of arid environment. **Irrigation Science**, v. 31, p. 1185–1197, 2013

RIBEIRO, G. **Estratégia de melhoramento para tolerância ao estresse de calor em trigo**. 2012. 59 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

RIBOLDI, L. B. **Variação da pressão de turgor de plantas de milho em condições de déficit hídrico**. 2014. 59 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014.

ROSÁRIO, C. R. **Consumo de água e componentes da evapotranspiração da cultura do trigo em diferentes cenários climáticos: uma aproximação ao modelo SIMDualKc**. 2019. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

RODRIGUES, G. C.; PAREDES, P.; GONÇALVES, J. M.; ALVES, I.; PEREIRA, L. S. Comparing sprinkler and drip irrigation systems for full and deficit irrigated maize using multicriteria analysis and simulation modelling: Ranking for water saving vs. farm economic returns, **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 126, p. 85–96, aug. 2013.

RODRIGUES L. N.; DOMINGUES, A. F. **Agricultura Irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**. 1º ed. Embrapa Cerrados, Brasília, DF, 2017.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C.; COSTENARO, E. R.; SANA, D. Ecofisiologia de trigo: bases para elevado rendimento de grãos. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. Cap. 5, p. 115-134.

SANTOS, D.; GUIMARÃES, V.F.; KLEIN, J.; FIOREZE, S.L.; MACEDO JÚNIOR, E.K. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 836-842, 2012.

SILVA, F. M. **Desempenho de genótipos de trigo em condições edafoclimáticas distintas do estado de São Paulo**. 2011. 117 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Campinas, 2011.

SILVA, S. R.; BASSOI, M. C.; FOLONI, J. S. S. **Informações técnicas para trigo e triticale, Safra-2017**. Passo Fundo-RS: Embrapa Trigo, 2017. 241 p. Disponível em: <<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo/index.htm>>. Acesso em: 26 de julho de 2022.

SÓ e SILVA, M.; SOARES SOBRINHO, J.; ALBRECHT, J. C.; CHAGAS, J. H.; CAIERÃO, E.; MORESCO, E. R.; CASTRO, R. L. de; NASCIMENTO JUNIOR, A. do;

EICHELBERGER, L.; GUARIENTI, E. M.; MIRANDA, M. Z. de; MACIEL, J. L. N.; SANTANA, F. M.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; SCHEEREN, P. L. **BRS 404 – nova cultivar de trigo de sequeiro para o cerrado brasileiro**. Embrapa Trigo. 2015.

SUZUKI, N.; RIVERO, R.M.; SHULAEV, V.; BLUMWALD, E.; MITTLER, R. Abiotic and biotic stress combinations. **New Phytologist**, v. 203, p. 32-43, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 6<sup>o</sup> ed. Porto Alegre: Artmed, p. 83-95, 2017.

TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; BENETT, C. G. S. Doses, fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em trigo irrigado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 8, p. 797-804, 2010.

TESTEZLAF, Roberto. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações**. Campinas/SP, 2017.

USDA/FAS. **World Agricultural Production**. July, 2022. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>>. Acesso em: 15 de julho de 2022a.

USDA/FAS. **Grain: world markets and trade**. March, 2021. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>>. Acesso em: 28 de julho de 2022b.

XU, Z.; ZHOU, G.; SHIMIZU, H. Plant responses to drought and rewatering. **Plant Signaling & Behavior**, v. 5, n. 6, p. 649–654, 2010.

ZHAN, X., QIN, W., CHEN, S., SHAO, L., SUN, H. Responses of yield and WUE of winter wheat to water stress during the past three decades—A case study in the North China Plain. **Agricultural Water Management**, v. 179, p. 47 – 54, 2017.

ZIVIANI, A. C. **Efeito da aplicação do redutor de crescimento (trinexapac-ethyl) em genótipos de trigo sob diferentes lâminas de irrigação**. 2014. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2014.

ZORB, C; LUDEWIG, U; HAWKESFORD, M.J. Perspective on wheat yield and Quality with reduced nitrogen supply. **Trends in Plant Science**. v. 23, p. 1029-1037. 2018.

ZWIRTES, A.L.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T.; KUNZ, J.; REIMANN, G.K. Desempenho produtivo e retorno econômico da cultura do sorgo submetida à irrigação deficitária. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 4, p. 676-688, 2015.