



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO *DEL-REI*
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA
*CAMPUS SETE LAGOAS***

JÚLIO CÉSAR RIBEIRO DA SILVA JUNIOR

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE TRIGO SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS NO CERRADO DE MINAS
GERAIS**

Sete Lagoas, MG

2026

JÚLIO CÉSAR RIBEIRO DA SILVA JUNIOR

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE TRIGO SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS NO CERRADO DE MINAS
GERAIS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. João Carlos Ferreira Borges Júnior

Sete Lagoas, MG

2026

JÚLIO CÉSAR RIBEIRO DA SILVA JUNIOR

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CULTIVARES DE TRIGO SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES HÍDRICAS NO CERRADO DE MINAS
GERAIS**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia de Agronomia da Universidade Federal de São João del-Rei, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrônoma.

Sete Lagoas, 10 de julho de 2026.

Banca avaliadora:

Dr. João Carlos Ferreira Borges Júnior, Orientador — UFSJ

Dr. Amilton Ferreira da Silva — UFSJ

Dra. Fernanda de Kássia Gomes — EPAMIG

*Mudam-se os tempos, mudam-se as vontades,
Muda-se o ser, muda-se a confiança;
Todo o mundo é composto de mudanças,
Tomando sempre novas qualidades.*

*Continuamente vemos novidades,
Diferentes em tudo da esperança;
Do mal ficam as mágoas na lembrança,
E do bem (se algum houve), as saudades.*

*O tempo cobre o chão de verde manto,
Que já coberto foi de neve fria,
E, enfim, converte em choro e doce canto.*

*E, agora este mudar-se cada dia,
Outra mudança faz de mor espanto,
Que não se muda já como soía.*

Mudam-se os tempos, mudam-se as vontades.

Luís de Camões

*Dedico a toda minha família e amigos que de alguma forma contribuíram para me
tornar quem eu sou hoje.*

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sabedoria, força, inspiração e saúde que tem me dado até nesse momento, mas peço a ele para conquistar muito mais do que imagino. Pois depois de todos os obstáculos encontrados no caminho, quando chego ao topo da montanha, consigo enxergar a paisagem e perceber que sempre poderei subir mais.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo, apoio e por sempre estarem presentes no meu desenvolvimento, sem eles com certeza a tarefa teria sido muito mais árdua.

À minha mãe, Andréa, minha heroína, que nas horas de dificuldade, desânimo e cansaço, tirava o peso de meus ombros e alavancava meu espírito.

Ao meu pai, Júlio César, meu herói, que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu, nunca deixando faltar nada e que para mim foi muito importante.

Aos meus avós, pelos cuidados, carinhos e mimos, minha base e alicerce, sempre estarão guardados em meu coração e memória.

Meus agradecimentos aos amigos, companheiros de trabalho que fizeram parte da minha formação e que vão continuar presentes em minha vida.

Aos mestres que, com paciência e dedicação, guiaram-me pela jornada do saber, mostrando que cada obstáculo é uma oportunidade de crescimento. Esta mensagem é para aqueles que viram em mim um potencial que eu mesmo desconhecia, incentivando a dar meu melhor.

Agradeço aos professores e orientadores que marcaram minha trajetória; João Carlos Ferreira, Amilton Ferreira, Cláudio Manoel, Édio Luiz.

Gostaria de registrar meu sincero agradecimento às pesquisadoras Fernanda de Kássia e Karina Toledo, e à EPAMIG. Atuar sob a liderança de profissionais tão qualificadas me permitiu dar os primeiros passos na pesquisa com rigor científico e entusiasmo. Essa experiência moldou minha visão profissional e abriu portas imensuráveis para o meu futuro.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes, por ser o solo fértil onde pude plantar meus sonhos e colher o fruto do conhecimento.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Desenho do experimento, apresentando as parcelas experimentais identificadas: a primeira letra indica a coluna em que está localizada a unidade experimental; o primeiro número indica o nível de irrigação; os dois caracteres, C1 ou C2, indicam as cultivares, respectivamente, TBIO Aton e TBIO Duque.	19
Figura 2 - Retirada de bordadura.	20
Figura 3 - Aplicação do herbicida glifosato.	21
Figura 4 - Capina manual dentro de cada unidade experimental.	21
Figura 5 – Abertura dos sulcos de cultivo e incorporação dos fertilizantes.	22
Figura 6 - Proteção com malhas de sombreamento e primeira irrigação.	23
Figura 7 - Aplicação de defensivos agrícolas.	24
Figura 8 - Calibração dos recipientes utilizados para adubação.	25
Figura 9 - Momento da colheita.	26
Figura 10 - Medição da altura de planta.	27
Figura 11 – Coleta das espigas dentro do gabarito.	27
Figura 12 - Pesagem e trilhagem das amostras colhidas.	29
Figura 13 - Medição da área acamada.	31
Figura 14 - Variação temporal das temperaturas do ar máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed) com os dias após a semeadura (DAS).	32
Figura 15 - Monitoramento das lâminas por evento, lâmina acumulada e evapotranspiração de referência acumulada ao longo do ciclo.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização química da amostra de solo da área experimental, Sete Lagoas, 2025.	17
Tabela 2 - Resumo da análise de variância das características altura de plantas (AP), número de espigas por metro quadrado (NEM), número de sementes por espiga (NSE), peso de mil grão a 13% (PMG _{13%}), produtividade da água de irrigação (Wirri) e produtividade da cultura (Y) das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação. Sete Lagoas, MG, 2026.	34
Tabela 3 - Resultado da análise de variância para variável altura de planta (AP).....	35
Tabela 4 - Valores médios da altura de plantas (AP) das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação, Sete Lagoas, MG, 2025.	36
Tabela 5 - Resultado da análise de variância, para variável número de espiga por metro quadrado (NEM).....	37
Tabela 6 - Valores médios do número de espigas por metro quadrado (NEM) das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação, Sete Lagoas, MG, 2025.....	37
Tabela 7 - Resultado da análise de variância, para variável número sementes por espiga (NSE).	39
Tabela 8 - Valores médios do número de sementes por espiga das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação, Sete Lagoas, MG, 2025 (NSE).	39
Tabela 9 - Resultado da análise de variância, para variável peso de mil grãos corrigido para 13% (PMG _{13%}).....	40
Tabela 10 - Valores médios do peso de mil grãos corrigidos para 13% de umidade (PMG _{13%}) das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação, Sete Lagoas, MG, 2025.	41
Tabela 11 - Resultado da análise de variância, para variável produtividade da água de irrigação (Wirri).....	42
Tabela 12 - Valores médios da produtividade da água de irrigação (Wirri) das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas, Sete Lagoas, MG, 2025.....	43
Tabela 13 - Resultado da análise de variância, para variável produtividade da cultura (Y). ..	44
Tabela 14 - Valores médios da produtividade da cultura (Y) das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação, Sete Lagoas, MG, 2025	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	15
2.1	Caracterização da cultivar de trigo TBIO Aton.....	15
2.2	Caracterização da cultivar de trigo TBIO Duque	16
2.3	Localização e caracterização da área experimental	17
2.4	Delineamento experimental e tratamentos	18
2.5	Instalação e condução do experimento.....	18
2.6	Variáveis avaliadas	26
2.6.1	Altura de planta (AP).....	26
2.6.2	Número de espigas por metro quadrado (NEM)	27
2.6.3	Número de sementes por espiga (NSE).....	28
2.6.4	Peso de mil grão (PMG)	28
2.6.5	Produtividade da cultura (Y)	28
2.6.6	Produtividade da água de irrigação (Wirri)	30
2.6.7	Análise estatística	30
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
3.1	Considerações sobre o desenvolvimento da cultura e colheita.....	30
3.2	Variáveis meteorológicas e consumo hídrico	31
3.3	Análise de variância – abordagem geral.....	33
3.4	Altura de planta (AP).....	35
3.5	Número de espiga por metro quadrado (NEM)	36
3.6	Número de sementes por espiga (NSE).....	38
3.7	Peso de mil grãos a 13% de umidade (PMG _{13%})	40
3.8	Produtividade da água de irrigação (Wirri)	42
3.9	Produtividade da cultura (Y)	43

4	CONCLUSÃO.....	46
5	REFERÊNCIAS	46

RESUMO

No cenário agrícola brasileiro, o trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma das poucas *commodities* cuja produção nacional não supre a demanda interna. A sua expansão para outras regiões, como o Cerrado, constitui uma alternativa relevante para reduzir as importações. No entanto, o sucesso da cultura nesta região não tradicional é limitado pela ocorrência de veranicos e estiagens, fatores que comprometem a estabilidade da produtividade. Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar os componentes de produção e a produtividade da água de duas cultivares de trigo sob diferentes lâminas de irrigação no Cerrado de Minas Gerais, visando selecionar níveis de suprimento hídrico que assegurem a estabilidade e o rendimento da cultura. O experimento foi conduzido em condições de campo na Universidade Federal de São João del-Rei, em Sete Lagoas, MG, durante o período de 07 de junho a 17 de setembro de 2025. O delineamento experimental adotado foi em DBC com parcelas subdivididas, com os tratamentos dispostos em esquema fatorial 2 x 4 com seis repetições, totalizando 48 parcelas. Os fatores estudados consistiram em duas cultivares de trigo (TBIO Aton e TBIO Duque) e quatro níveis de irrigação (372,2; 321,9; 237,9; 161,7 mm) estabelecidos por meio da técnica de fonte linear (*line-source*), a qual gerou um gradiente contínuo e decrescente de lâminas de água. Foram avaliadas características biométricas e componentes de rendimento, tais como altura de plantas (AP), número de espigas por m² (NEM), número de sementes por espiga (NSE), peso de mil grão (PMG), produtividade da cultura (Y) e produtividade da água de irrigação (Wirri). Os resultados da análise de variância revelaram efeito altamente significativo do fator irrigação sobre o NEM, o NSE e a Y. As lâminas máximas e intermediárias propiciaram os maiores valores do NEM e NSE, enquanto o menor suprimento hídrico reduziu drasticamente esses componentes reprodutivos devido ao estresse nas fases de emborrachamento e antese. O PMG não foi afetado pelas lâminas de irrigação, sendo influenciado apenas pelo fator genótipo, com superioridade da cultivar TBIO Aton. A produtividade da água de irrigação não sofreu modificações estatísticas significativas, flutuando de forma equivalente entre os fatores analisados. Conclui-se que o desempenho agrônomo e a produtividade da cultura do trigo no Cerrado mineiro, das cultivares estudadas, comportam-se de maneira semelhante e são altamente sensíveis à disponibilidade hídrica, recomenda-se uma lâmina de 321,9 mm para assegurar o desenvolvimento, produção e economia de recursos, demonstrando que o manejo estratégico da irrigação suplementar é indispensável para mitigar os efeitos do déficit hídrico e otimizar os componentes de produção da cultura na região.

Palavras-chave: Déficit hídrico. Irrigação por aspersão. Produtividade da água. *Line-source*. *Triticum* spp.

ABSTRACT

In the Brazilian agricultural scenario, wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the few commodities for which domestic production does not meet domestic demand. Expanding its cultivation to other regions, such as the Cerrado, represents a significant alternative for reducing imports. However, the success of wheat cultivation in this non-traditional region is limited by the occurrence of summer droughts and dry spells, factors that compromise yield stability. Therefore, the objective of this study was to evaluate the production components and water use efficiency of two wheat cultivars under different irrigation regimes in the Cerrado region of Minas Gerais, with the aim of selecting water supply levels that ensure crop stability and yield. The experiment was conducted under field conditions at the Federal University of São João del-Rei, in Sete Lagoas, MG, during the period from June 7 to September 17, 2025. The experimental design adopted was a completely randomized block design with subdivided plots, with treatments arranged in a 2 x 4 factorial scheme with six replications, totaling 48 plots. The factors studied consisted of two wheat cultivars (TBIO Aton and TBIO Duque) and different irrigation levels (372.2; 321.9; 237.9; 161.7 mm) established using the line-source technique, which generated a continuous, decreasing gradient of water blades. Biometric characteristics and yield components were evaluated, such as plant height (PH), number of ears per m² (NEM), number of seeds per ear (NSE), thousand grain weight (WTG), crop yield (Y), and irrigation water use efficiency (Wirri). The results of the analysis of variance revealed a highly significant effect of the irrigation factor on NEM, NSE, and Y. The maximum and intermediate irrigation levels yielded the highest values for NEM and NSE, while the lowest water supply drastically reduced these reproductive components due to stress during booting and anthesis stages. WTG was not affected by irrigation levels, being influenced only by the genotype factor, with superiority of the TBIO Aton cultivar. Irrigation water productivity did not undergo statistically significant changes, fluctuating equivalently across the analyzed factors. It is concluded that the agronomic performance and productivity of wheat in the Cerrado region of Minas Gerais, among the cultivars studied, behave similarly and are highly sensitive to water availability, recommending an irrigation blade of 321.9 mm to ensure crop development, yield, and resource conservation, demonstrating that strategic management of supplemental irrigation is indispensable to mitigate the effects of water deficit and optimize crop production components in the region.

Key words: Water deficit. Sprinkler irrigation. Water productivity. Line source. *Triticum* spp.

1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma gramínea anual, pertencente à família Poaceae, sendo o cereal utilizado para produção de farinha e base da alimentação humana em muitas culturas. Além de ser uma fonte de glúten, é rico em proteínas, fibras, ferro e vitaminas. O trigo é originário da região conhecida como Crescente Fértil, no sudoeste da Ásia. O surgimento de comunidades fixas foi viabilizado pela domesticação da cultura por volta de 10.000 anos atrás, marco fundamental para a organização social humana, rompendo com a lógica de deslocamento das populações nômades (ALVARENGA, 2009).

O estudo do gênero *Triticum* spp. é essencial para compreender a base da cadeia produtiva de cereais no mundo. Embora existam diversas variedades, a produção e o consumo moderno concentram-se principalmente em três espécies, distinguindo-se por suas características morfológicas e aptidões tecnológicas (WRIGLEY et al., 2016). O *Triticum aestivum* L. (trigo comum ou mole) domina o mercado global devido à viscoelasticidade de seu glúten, sendo a matéria prima por excelência para a panificação e confeitaria (POMERANZ, 1988; GUARIENTI, 1993). Por sua vez, o *Triticum durum* (trigo duro) destaca-se pela alta dureza e vitrosidade do endosperma, gerando sêmolos grossos ideais para a fabricação de massas alimentícias que demandam firmeza após o cozimento (GUARIENTI, 1993). Por fim, o *Triticum dicoccum* ou *emmer*, configura-se como uma variedade ancestral caracterizada por glumas fortemente aderidas ao grão. Em razão disso, e do menor rendimento na moagem industrial, seu cultivo atual restringe-se a nichos de mercado voltados a produtos integrais e artesanais (WRIGLEY et al., 2016).

De acordo com Coelho (2021) o trigo fica em segundo lugar dos cereais mais produzidos no mundo, atrás apenas do milho, sendo uma *commodity* consumida globalmente. O cenário da triticultura nacional em 2026 expõe um desestímulo generalizado por parte dos produtores no que tange à expansão de área e aos aportes tecnológicos, motivado primordialmente por incertezas climáticas e margens de lucratividade estreita (CEPEA, 2026). Esse panorama de retenção reflete-se diretamente nas estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), as quais apontam para uma área de cultivo de 2,12 milhões de hectares e uma produtividade média de 2,974 toneladas ha⁻¹, resultando em um volume de produção projetado de 6,3 milhões de toneladas, o que configura um recuo de 13,4% em área, 7,6% em rendimento e 20% no montante total colhido em comparação ao ciclo de 2025 (CONAB, 2026).

Paralelamente ao encolhimento da oferta no campo, o mercado de grãos manifesta um comportamento de sustentação nos preços do trigo em grãos no ambiente *spot*, impulsionado pela baixa liquidez física imediata e por uma estratégia de retenção de estoque por parte dos

vendedores, que aguardam condições de comercialização mais favoráveis (CEPEA, 2026).

Além de sua ampla aplicação na dieta humana em produtos derivados de farinha, exerce também um papel estratégico na sustentabilidade agrícola, contribuindo para o manejo integrado, como rotação e sucessão de culturas, fundamental para questões fitossanitárias, controle de plantas invasoras e pragas (CANZIANI et al., 2009).

Geograficamente, a produção concentra-se na região Sul, Paraná e Rio Grande do Sul, que detém cerca de aproximadamente 90% da oferta do cereal no país (COELHO, 2021). Áreas localizadas nos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Bahia e Distrito Federal possuem grande potencial para elevar a produção nacional de trigo. Segundo Teixeira Filho et al. (2010) e Condé et al. (2013), o desenvolvimento da cultura nessas regiões é determinante para reduzir a dependência de importações e alcançar a autonomia produtiva. Vale ressaltar que nessas regiões, no período de inverno, as chuvas são irregulares, insuficientes e esporádicas, afetando diretamente a cultura devido ao déficit hídrico (BORÉM e SCHEEREN, 2015).

Na região do Brasil Central, o trigo cultivado em sequeiro é semeado a partir da segunda quinzena de janeiro; já o irrigado pode ser estendido para segunda quinzena de abril (CONAB, 2017). Segundo Coodetec (2010) e Silva et al. (2017), o trigo irrigado alcança índices de produtividade aproximadamente duas vezes maiores que o não irrigado. Essa tecnologia é estratégica tanto para o cultivo na entressafra quanto para mitigar os riscos de veranicos durante o período chuvoso, assegurando maior previsibilidade e rentabilidade ao produtor.

Conforme proposto por Hanks et al. (1976, 1980) a técnica de irrigação *line-source* é um recurso em pesquisas agrícolas para mensurar os efeitos do déficit hídrico nas culturas, estabelecendo a correlação entre o consumo de água e o rendimento produtivo. O sistema opera por meio de aspersores alinhados que geram um gradiente decrescente de lâminas d'água conforme a distância da linha lateral aumenta, de forma perpendicular à tubulação central, criando um cenário ideal para testar o desempenho agrônômico de genótipos sob diferentes níveis de disponibilidade hídrica e determinar sua eficiência no uso da água.

Entre as principais vantagens dessa metodologia, destaca-se a alta eficiência no uso da área experimental e a expressiva redução de custos operacionais e de mão de obra, uma vez que o sistema elimina a necessidade de grandes bordaduras entre as parcelas ao gerar um gradiente hídrico contínuo e uniforme. Além disso, permite a fácil sobreposição de tratamentos secundários, como diferentes níveis de adubação, dispostos em faixas perpendiculares à linha de irrigação, o que viabiliza análises estatísticas válidas para o estudo de interações de fatores (Hanks et al., 1976, 1980).

Por outro lado, a técnica apresenta limitações importantes, como a impossibilidade de

casualização do fator lâmina d'água, o que restringe a aplicação de testes de significância probabilísticas tradicionais (ANOVA) para o efeito isolado da irrigação. O sistema também demonstra alta vulnerabilidade à ação dos ventos, que podem distorcer o padrão de distribuição e comprometer a linearidade do gradiente, além de exigir uniformidade total nas propriedades físicas e químicas do solo na direção perpendicular a tubulação para evitar que variações na fertilidade ou textura mascarem os efeitos do déficit hídrico (Hanks et al., 1976, 1980).

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar os componentes de produção, a produtividade da cultura e a produtividade da água de duas cultivares de trigo sob diferentes lâminas de irrigação, visando selecionar níveis de suprimento hídrico que assegurem a estabilidade, eficiência e rendimento da cultura.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da cultivar de trigo TBIO Aton

A cultivar de trigo TBIO Aton, desenvolvida pela empresa Biotrigo Genética, é reconhecida no cenário agrícola por seu elevado teto produtivo associado a uma ampla adaptabilidade, destacando-se como uma importante ferramenta tanto para o cultivo em sequeiro quanto para o sistema irrigado na região do Cerrado. Do ponto de vista agrônomo, o genótipo possui ciclo médio com perfilhamento considerado agressivo (médio a alto), estatura de planta classificada como média a baixa e moderada resistência ao acamamento e à debulha natural. A densidade populacional recomendada para semeadura em sistema irrigado varia de 330 a 350 plantas finais por m² ou 55 a 60 plantas por metro linear para regiões de Valor de Cultivo e Uso (VCU) 3 e 4, com peso de mil grão (PMG) médio de 34 gramas (BIOTRIGO GENÉTICA, 2023).

No aspecto fitossanitário, exibe excelente robustez ao ser qualificada como resistente (R) ao oídio, moderadamente resistente a resistente (MR/R) ao crestamento (tolerância ao alumínio tóxico no solo) e moderadamente resistente (MR) à germinação na espiga, demandando atenção no manejo focado em manchas foliares e brusone (*Pyricularia oryzae*), destacando-se ainda seu comportamento em áreas com histórico de nematoides, apresentando reação de resistência que auxiliam na manutenção do potencial radicular sob pressão de fitoparasitas do solo (BIOTRIGO GENÉTICA, 2023).

Como sugestão de cultivo para otimização do seu desempenho, recomenda-se o posicionamento preferencial em áreas de média a alta fertilidade, o ajuste rigoroso do nitrogênio em cobertura para acompanhar o perfilhamento agressivo, o monitoramento preventivo de

doenças da espiga em anos chuvosos e o aproveitamento de sua estabilidade produtiva, tanto na safrinha quanto sob pivô central (BIOTRIGO GENÉTICA, 2026a).

No que tange à sua aptidão comercial e reológica, o material é classificado como trigo pão/melhorador, produzindo grãos de textura dura e coloração vermelha com elevada força de glúten e estabilidade de massa de 15,8 a mais de 20 minutos, o que assegura excelente performance de panificação e alta liquidez mercadológica para sistemas produtivos de alto teto tecnológico (BIOTRIGO GENÉTICA, 2026a).

2.2 Caracterização da cultivar de trigo TBIO Duque

A cultivar de trigo TBIO Duque, também desenvolvida pela Biotrigo Genética como uma evolução da linhagem do TBIO Toruk, caracteriza-se por conciliar alto potencial de rendimento de grãos com um ciclo precoce tanto para o espigamento quanto para maturação, o que confere ao produtor uma janela estratégica ideal para sistemas de rotação de culturas e sucessão, minimizando o período de exposição da cultura a intempéries climáticas no campo e viabilizando o plantio antecipado da cultura de verão (BIOTRIGO GENÉTICA, 2023).

Em termos morfológicos e agrônômicos, o genótipo apresenta estatura média a baixa, perfilhamento médio, alta resistência ao crestamento e classificação de moderadamente resistente (MR) ao acamamento e à debulha natural, respondendo eficientemente a manejos de alta tecnologia e adubação nitrogenada em coberturas sob densidades populacionais recomendadas para sistema irrigado entre 350 plantas finais por m² ou 60 plantas por metro linear. O PMG médio situa-se em torno de 33 gramas e a densidade populacional recomendada varia de acordo com as regiões de VCU (BIOTRIGO GENÉTICA, 2023).

No âmbito fitossanitário, destaca-se por um pacote sanitário equilibrado, demonstrando níveis consistentes de resistência e moderação (MR/R) frente ao complexo de manchas foliares, bacteriose, ferrugem da folha, mosaico comum, e a enfermidades da espiga como Giberela (*Gibberella zae*) e a Brusone (*Pyricularia oryzae*), além de exibir moderada resistência à germinação na pré-colheita, o que preserva o número de queda (falling number) em anos chuvosos (BIOTRIGO GENÉTICA, 2026b).

Quanto à sua aptidão industrial, o TBIO Duque é classificado como trigo pão/branqueador, produzindo grãos de textura mole e coloração vermelha que geram uma farinha de alta luminosidade e excelente aceitação comercial nos moinhos. Suas propriedades reológicas revelam uma força de glúten média e estabilidade de massa superior a 18 minutos, consolidando a cultivar como um material de alta estabilidade reológica, teto produtivo elevado e segurança fitossanitária para triticultura nacional (BIOTRIGO GENÉTICA, 2026b).

2.3 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi conduzido em condições de campo na Universidade Federal de São João del-Rei, situada no município de Sete Lagoas, MG. A área experimental localiza-se na região central do estado, sob tais coordenadas geográficas: latitude 19° 28' 41.7" S e longitude 44° 11' 58.4" W, apresentando uma altitude média de 760 m. De acordo com a classificação de Koppen, o clima da região é tropical de altitude, tipo Cwa, caracterizado por verões chuvosos e invernos com baixa pluviosidade. Dados históricos indicam uma temperatura média anual de 21 °C, com precipitação total de 1.363 mm. A distribuição hídrica é marcadamente sazonal, enquanto no verão concentra 55% das chuvas, o período de inverno contribui com apenas 2% do volume anual e o restante distribuído nas estações de transição, reforçando a necessidade de suplementação hídrica (FERREIRA; SOUZA, 2011). Segundo Alves (2023), o solo local é caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo.

Para caracterização química do solo, foram coletadas amostras da área experimental antes da instalação do estudo. Tais análises serviram de base para correção do solo e manejo nutricional das cultivares de trigo avaliadas no trabalho (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização química da amostra de solo da área experimental, Sete Lagoas, 2025.

AMOSTRA	V	pH	SB	t	K	P meh
cm	(%)	H ₂ O	(cmolc.dm ⁻³)		(mg.dm ⁻³)	
0-20	47	5,5	3,89	4,03	43	6

Ca	Mg	Al	H+Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn
(cmolc.dm ⁻³)				(mg.dm ⁻³)				
3,33	0,4	0,14	4,4	0,15	0,8	40	34,5	1,3

Fonte: LABRAS – Laboratório Brasileiro de Análises Ambientais e Agrícolas Ltda. 2024.

O preparo do solo foi realizado em março de 2025 de forma convencional, iniciando-se com aração, preparo primário, por meio do arado de discos a 20 cm de profundidade. Na sequência, procedeu-se ao preparo secundário com duas passadas de grade niveladora para destorroamento e nivelamento da área. Após a aplicação de 200 kg de calcário, realizou-se uma nova gradagem para incorporação do corretivo.

2.4 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento do experimento foi em blocos casualizados (DBC), conduzido em parcelas subdivididas, com os tratamentos arranjados em esquema fatorial 2 x 4, com 6 repetições, totalizando 48 parcelas experimentais. Os fatores estudados consistem em duas cultivares de trigo (TBIO Aton e TBIO Duque) e quatro níveis de irrigação (372,2; 321,9; 237,9; 161,7 mm).

Para a aplicação dos níveis de água, utilizou-se a técnica de fonte linear (*line-source*), proposta por Hanks et al. (1976). Este sistema caracteriza-se pela disposição de uma linha central de aspersores que produz um gradiente contínuo e decrescente de lâminas de irrigação à medida que aumenta a distância perpendicular à linha lateral. As parcelas foram dispostas em faixas paralelas à linha de aspersores, onde as cultivares foram alocadas ao longo do comprimento da linha, e os níveis de irrigação foram estabelecidos de forma sistêmica em função da distância da fonte de água.

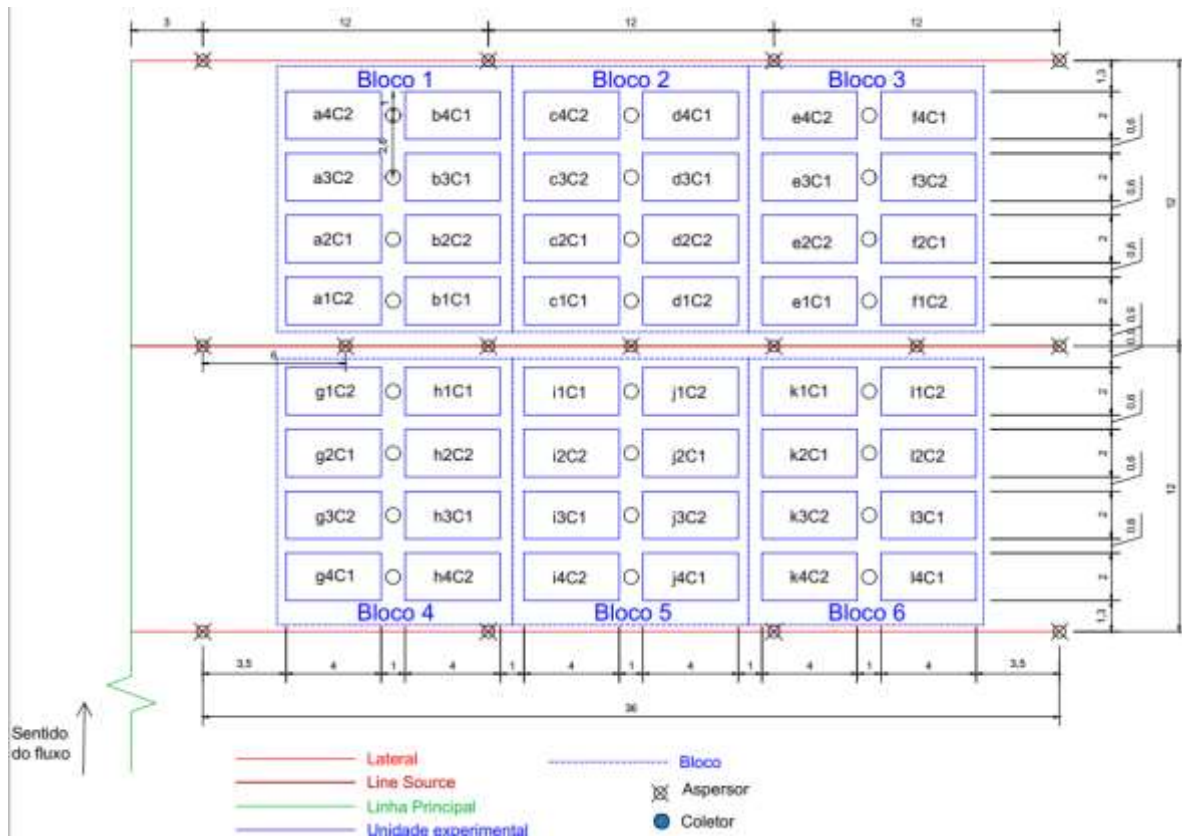
Para a quantificação da lâmina aplicada em cada tratamento, foram instalados coletores entre duas unidades experimentais, para cada nível de irrigação e cada bloco (Figura 1).

2.5 Instalação e condução do experimento

O experimento foi conduzido no segundo período do ano agrícola de 2024/2025. A semeadura aconteceu em 07 de junho e a colheita em 17 de setembro de 2025.

Cada unidade experimental foi composta por dez linhas de cultivo, apresentando 4 metros de extensão. Adotou-se o espaçamento entre fileiras de 0,2 m, o que resultou em uma área total de 8 m² por parcela (Figura 1). A semeadura foi realizada manualmente a 3 cm de profundidade, almejando-se uma densidade de 70 plantas por metro, para garantir uma população de 3.500.000 plantas ha⁻¹. Acrescentou-se 10% ao número de sementes/metro no momento de plantio. Visando à padronização da densidade de plantas e à otimização operacional da equipe, as sementes foram previamente contadas e alocadas em recipientes calibrados.

Figura 1 - Desenho do experimento, apresentando as parcelas experimentais identificadas: a primeira letra indica a coluna em que está localizada a unidade experimental; o primeiro número indica o nível de irrigação; os dois caracteres, C1 ou C2, indicam as cultivares, respectivamente, TBIO Aton e TBIO Duque.



Para as avaliações de coleta de dados, delimitou-se uma área útil de 4,8 m², obtida após o descarte de 0,5 m em ambas as extremidades das parcelas e das duas fileiras de plantas nas laterais, uma em cada lado, visando mitigar os efeitos de bordadura e garantir a representatividade das amostras colhidas (Figura 2).

Figura 2 - Retirada de bordadura.



Fonte: autoria própria, 2025

Durante a operação de semeadura, ocorreu uma inconformidade operacional nas parcelas b2C2 e f4C1, as quais foram implantadas com apenas nove linhas de cultivo, ao invés de dez linhas previstas no protocolo padrão. Em decorrência disso, a área útil e a densidade populacional dessas duas unidades foram afetadas na colheita. Para mitigar erros analíticos e viabilizar a correta comparação estatística, os dados brutos de produtividade e biomassa dessas parcelas sofreram um ajuste matemático de proporcionalidade, extrapolando-se os valores obtidos nas nove linhas para a base padrão de dez linhas (área útil de 4,8 m²).

Previamente à semeadura, promoveu-se o manejo fitossanitário da área experimental visando o controle de plantas espontâneas. Inicialmente, aplicou-se glifosato em área total, por meio de bomba costal. Contudo, devido à necessidade de ajustes na eficácia da dessecação, após o período de ação, uma segunda aplicação química foi executada em faixas específicas (Figura 03). Para assegurar a ausência de matocompetição durante o estabelecimento do experimento, realizou-se também a capina manual dentro de cada unidade experimental, garantindo a limpeza rigorosa das parcelas antes do plantio (Figura 04).

Figura 3 - Aplicação do herbicida glifosato.



Fonte: autoria própria, 2025

Figura 4 - Capina manual dentro de cada unidade experimental.



Fonte: autoria própria, 2025

A semeadura realizada em 07/06 foi precedida por uma irrigação de uma hora em 05/06 para garantir a umidade adequada do solo.

A adubação de semeadura consistiu na aplicação de 315 kg ha^{-1} do formulado N-P₂O₅-K₂O na proporção 08-28-16. O fertilizante foi distribuído em área total e a lanço dentro das unidades experimentais e posteriormente incorporado de forma manual durante abertura dos sulcos de cultivo, mantendo-se o espaçamento de 0,20 m entre as linhas. Esse procedimento

assegurou que o fertilizante fosse coberto pelo solo, evitando o contato direto com as sementes e possíveis danos por salinidade (Figura 5).

Figura 5 – Abertura dos sulcos de cultivo e incorporação dos fertilizantes.



Fonte: autoria própria, 2025

Após o plantio, a área foi protegida com malhas de sombreamento (sombrite) para evitar a depredação por aves (Figura 6). No mesmo dia da semeadura, realizou-se uma irrigação inicial para favorecer a embebição e germinação. A emergência das plântulas foi constatada em 14/06 (7 dias após a semeadura - DAS), data em que se procedeu à retirada das malhas de sombreamento.

Figura 6 - Proteção com malhas de sombreamento e primeira irrigação.



Fonte: autoria própria, 2025

Ao longo do ciclo, foram adotadas práticas de manejo fitossanitário e nutricional conforme as demandas da cultura. O controle de formigas foi efetuado em 20/06, com a aplicação de formicida (FORTR) ao redor dos formigueiros encontrados e o manejo de pragas seguiu com a aplicação do inseticida Klorpan (80 mL/20 L de calda) em 26/06, além de duas aplicações de Connect (50 mL/20 L de calda) ao longo do ciclo conforme a necessidade, utilizando bomba costal em todas as operações (Figura 7).

Figura 7 - Aplicação de defensivos agrícolas.



Fonte: autoria própria, 2025

A adubação de cobertura foi parcelada em duas etapas, seguindo os estádios fenológicos da cultura. A primeira ocorreu em 01/07 (24 DAS), no início do perfilhamento, com a aplicação de 190 g/parcela de sulfato de amônio e 48 g/parcela de cloreto de potássio (KCl), distribuídos a lanço dentro das parcelas e seguidos de irrigação. A segunda adubação, mantendo-se as mesmas dosagens e procedimentos, foi realizada em 29/07 (52 DAS), no início do emborrachamento (Figura 8).

Figura 8 - Calibração dos recipientes utilizados para adubação.



Fonte: autoria própria, 2025

Quanto ao manejo hídrico do experimento, foi conduzido em duas fases distintas. Durante os primeiro 28 dias após a semeadura, utilizou-se o sistema de irrigação por aspersão convencional com três linhas operantes, visando assegurar a disponibilidade hídrica necessária para o estabelecimento da cultura e a uniformidade de emergência, nesse período foram realizadas 10 irrigações. Aos 32 DAS, em 09/07, o sistema foi reconfigurado para apenas uma linha de aspersão central, adotando o modelo *line-source*, permitindo o estudo das cultivares sob gradientes de disponibilidade hídrica ao longo da área e do tempo. Vale ressaltar, que em 17/06, realizou uma irrigação suplementar localizada de 20 litros nas últimas parcela dos blocos inferiores (blocos 4, 5 e 6), tendo em vista a má germinação daquelas plantas. Essa operação foi manual, tendo sido utilizado um irrigador com marcação de medida.

Na estratégia de irrigação, devido à dificuldade em dados meteorológicos no local em tempo real, optou-se pelo padrão de controle do tempo de irrigação, mantendo-se o padrão com variações ao longo do experimento. Nas etapas finais do experimento, com a percepção de processos de acamamento nas unidades experimentais que receberam maior quantidade de água, as irrigações tiveram frequência reduzida. Para cálculo da ET₀, utilizou-se dados da estação meteorológica automática do INMET A569, localizada aproximadamente a 3,8 km da área do experimento. E ET₀ foi calculada com base no método FAO Penman-Monteith (PEREIRA et al., 2025). Foram observadas falhas de dados da estação do INMET, especialmente na parte final do experimento. Para preenchimento de falhas de dados de ET₀,

utilizou-se o método FAO Penman–Monteith Empiricamente Ajustado, proposto por Borges Júnior e Pinheiro (2019), o qual requer dados meteorológicos apenas de temperatura do ar.

Aos 102 dias após a semeadura, em 17/09/2025, precedeu-se à colheita manual e individual de cada unidade experimental (Figura 9). O momento da colheita foi determinado pela maturação da cultura, variando entre o estágio fenológico de grão pastoso e grão duro, com aproximadamente 85% da área experimental atingindo o ponto ideal. Imediatamente após a coleta, o material foi transportado para o galpão de máquinas, local próximo a área experimental, onde se procedeu as demais operações de trilhagem e à pesagem dos grãos de cada parcela.

Figura 9 - Momento da colheita.



Fonte: autoria própria, 2025

2.6 Variáveis avaliadas

Para análise do desempenho da cultura, as variáveis coletadas foram estratificadas em características biométricas, referentes ao desenvolvimento vegetal, e componentes de rendimento. Foram avaliadas as variáveis: altura de planta (AP), número de espiga por m² (NEM), número de sementes por espiga (NSE), peso de mil grão (PMG), produtividade da água de irrigação (Wirri) e produtividade da cultura (Y).

2.6.1 Altura de planta (AP)

Previamente à colheita, aos 100 dias após a semeadura, em 15 de setembro de 2025, foi realizada a medida da altura das plantas, em três pontos ao acaso, representativas da área útil de cada unidade experimental, sendo as medidas feitas com régua linimétrica e considerando a distância do colo até o ápice da espiga (Figura 10).

Figura 10 - Medição da altura de planta.



Fonte: autoria própria, 2025

2.6.2 Número de espigas por metro quadrado (NEM)

O número de espigas por unidade de área foi determinado aos 97 dias após a semeadura, em 12 de setembro de 2025, pelo total de espigas contidas em duas fileiras dentro do gabarito utilizado, em três pontos ao acaso, cujas dimensões eram de 0,52 m x 0,52 m, onde se realizou uma extrapolação linear para um metro quadrado (Figura 11).

Figura 11 – Coleta das espigas dentro do gabarito



Fonte: autoria própria, 2025

2.6.3 Número de sementes por espiga (NSE)

Para determinar o número de sementes por espiga, 10 espigas por parcela foram selecionadas aleatoriamente. Após a limpeza manual, o material foi submetido à contagem mecânica em equipamento de bancada, disponível no laboratório de melhoramento genético. Devido a inconsistências na contagem automatizada, optou-se pela contagem manual de subamostras aleatórias de cada lote. Este procedimento possibilitou validar e corrigir margens de erro do equipamento.

2.6.4 Peso de mil grão (PMG)

Para a determinação do PMG, utilizou-se as amostras representativas compostas pelas 10 espigas colhidas e utilizadas para avaliação do número de sementes por espigas com o valor corrigido para 13% de umidade.

Paralelamente, determinou-se a massa inicial dos grãos de cada repetição utilizando uma balança analítica de precisão. Visando eliminar a interferência da variação do teor de água entre as amostras e permitir a comparação homogênea entre os tratamentos, os dados de massa bruta foram convertidos em massa corrigida para teor de umidade padrão de 13%, seguindo a equação matemática de correção de umidade descrita por:

$$Massa\ corrigido = Massa\ atual * \left(\frac{100 - Umidade\ atual}{100 - Umidade\ padrão} \right)$$

Em que a Massa atual corresponde à massa inicial da amostra e a Umidade atual representa o teor de água real mensurado após a secagem complementar. Por fim, o peso de mil grãos foi calculado extrapolando-se a relação proporcional entre a massa corrigida a 13% e o número total de grãos da respectiva amostra, expressando-se os resultados finais em gramas.

2.6.5 Produtividade da cultura (Y)

A determinação da produtividade da cultura foi realizada por meio da pesagem dos grãos após a colheita manual, feita com um cutelo e trilhagem mecânica das plantas localizadas na área útil de cada unidade experimental (Figura 12). Por fim, os valores obtidos foram extrapolados para a unidade de área de um hectare, expressando o rendimento final da cultura.

Figura 12 - Pesagem e trilhagem das amostras colhidas.



Fonte: autoria própria, 2025

Para as subparcelas que sofreram o erro operacional no momento da semeadura, foi realizado um ajuste na produtividade por área. A fórmula padrão de correção utilizada nos dados para que elas ficassem na mesma base da área útil das demais antes de executar a ANOVA, foi:

$$Dados\ ajustados = Dados\ coletados \times \left(\frac{10}{9}\right)$$

Durante a condução das avaliações pós-colheita, especificamente no processo de trilhagem mecânica das amostras de espigas, constatou-se visualmente a ocorrência de perdas de grãos associadas ao próprio mecanismo da trilhadora. Visando garantir a precisão dos dados de produtividade, foi implementado um protocolo emergencial de amostragem e quantificação dessas perdas residuais. Adotou-se um protocolo experimental em que, após o processamento mecânico de cada parcela, foram coletadas aleatoriamente 10 espigas residuais do material descartado pela máquina, as quais foram conduzidas ao laboratório para debulha e contagem manual minuciosa dos grãos retidos.

Foi feita a média da contagem de sementes em 10 espigas que passaram na trilhadora, para cada nível de irrigação, convertidas em peso para a área útil da parcela experimental (4,8 m²) utilizando-se os dados de número de sementes por metro quadrado e os dados de peso de

mil grão à 13% de umidade. Esses totais foram somados aos valores de pesagem de grãos no processo de trilhagem, para mitigar o erro experimental.

2.6.6 Produtividade da água de irrigação (Wirri)

Para a determinação da eficiência do uso da água, estabeleceu-se a relação proporcional entre a produtividade final da cultura e a lâmina líquida acumulada de irrigação fornecida ao sistema durante o ciclo da cultura, expressando o indicador de produtividade hídrica:

$$Wirri = \frac{Y}{Tirri}$$

Onde: Wirri é a produtividade da água de irrigação (kg m^{-3}); Y é a produtividade da cultura (kg ha^{-1}); e Tirri é o total de água aplicada via irrigação ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)

2.6.7 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Devido à natureza sistêmica do fator irrigação no sistema *line-source*, os efeitos de lâmina foram medidos por meio dos coletores distribuídos na área. As diferenças entre cultivares e irrigação foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas por meio do pacote Exp.Des.pt (FERREIRA et al., 2018), no software R versão 4.5.3 (R Core Team 2023).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Considerações sobre o desenvolvimento da cultura e colheita

Durante a fase final do ciclo da cultura, observou-se o acamamento de plantas em algumas unidades experimentais (Figura 13). No entanto, esse evento não acarretou perdas significativas na produtividade ou na qualidade da biomassa, visto que o trigo já se encontrava no estágio final de maturação. Adicionalmente, o potencial impacto negativo sobre a produtividade foi mitigado pela realização da colheita manual.

Figura 13 - Medição da área acamada.



Fonte: autoria própria, 2025

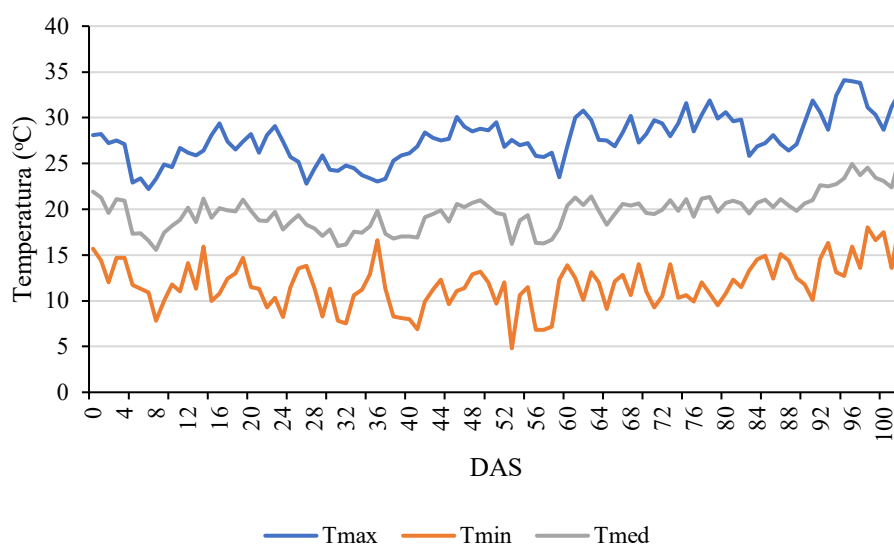
Embora as causas do acamamento não tenham sido determinadas de forma conclusiva, sugere-se o efeito de fatores bióticos e abióticos exógenos, tais como rajadas de vento e distúrbios por animais. Alternativamente, fatores de manejo associados a irrigação podem ter atuado como indutores, destacando-se o efeito físico da pressão do aspersor ou o efeito gravitacional decorrente do maior volume de água aplicado em determinadas lâminas, o qual elevou a massa da parte aérea das plantas e propiciou o tombamento do colmo. Somado a isso, o manejo da fertilização surge como outra variável determinante, sugerindo-se que uma redução no aporte geral da adubação ou ajustes no cronograma de aplicação, evitando o fornecimento tardio da segunda adubação de cobertura, poderiam atenuar o problema. Finalmente, especula-se que a adoção de uma menor densidade populacional de plantas atuaria de forma mitigatória sobre o acamamento.

3.2 Variáveis meteorológicas e consumo hídrico

O experimento foi conduzido no período de 07/06 a 17/09/2025, totalizando um ciclo de 102 dias, ao longo desse intervalo, a temperatura máxima diária apresentou média de 27,6 °C, com extremos de 22,2 a 34,1 °C. A temperatura mínima diária oscilou entre 4,8 e 18,4 °C,

registrando média de 11,8 °C. Quanto à temperatura média diária, os valores variam de 15,6 a 25,6 °C, com média geral de 19,7 °C. A variação temporal dessas variáveis térmicas ao longo do ciclo da cultura esta ilustrada na Figura 14.

Figura 14 - Variação temporal das temperaturas do ar máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed) com os dias após a semeadura (DAS).



Fonte: autoria própria, 2026

No início do período experimental, realizou-se a avaliação da distribuição das lâminas de irrigação por meio de coletores instalados na área experimental. Durante esse procedimento, constatou-se uma taxa de aplicação média variando entre 13,4 e 15,5 mm h⁻¹ e a carga de pressão variando entre 20 e 29 m.c.a. nos três primeiros eventos hídricos, período em que as três linhas laterais de irrigação permaneciam operantes.

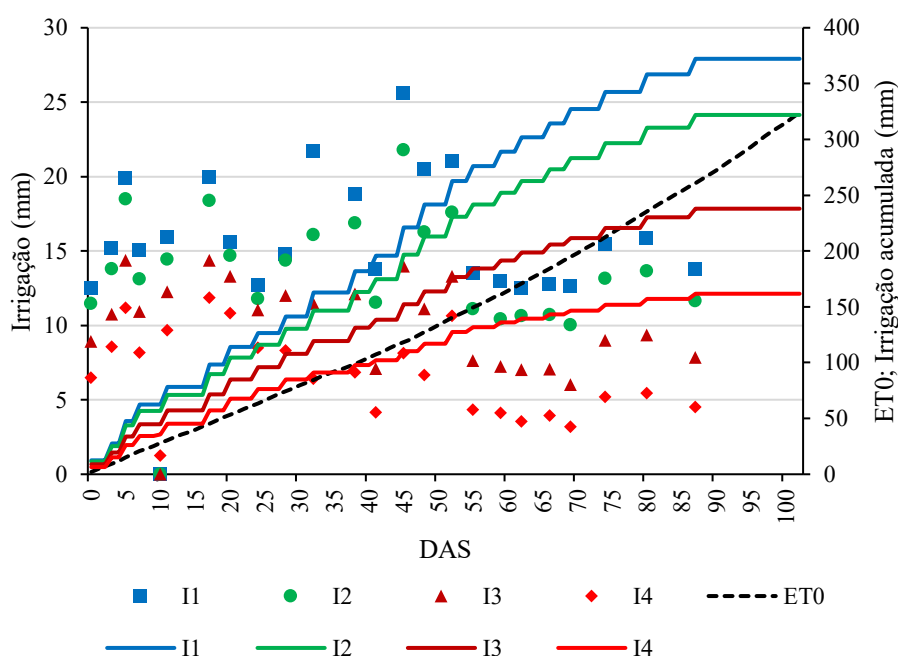
Com base nos dados meteorológicos históricos locais, estimou-se uma evapotranspiração de referência (ET0) média de 3 mm/dia para o período. Consequentemente, o tempo de irrigação foi ajustado entre 0,5 e 1 hora, visando aproximar-se da lâmina de reposição da ET0. O manejo com as três linhas laterais estendeu-se até o dia 05/07/2025, correspondendo a 28 dias após a semeadura (DAS). Em virtude da utilização de aspersores setoriais nas linhas laterais, que possuem menor capacidade de vazão, observou-se uma variação na lâmina aplicada desde a fase inicial, caracterizada pela redução do volume de água nas posições mais distantes da linha central de irrigação (*line-source*).

Visando incrementar a diferenciação entre os tratamentos hídricos, a partir de 09/07/2025 (32 DAS), a irrigação foi restrita à linha lateral central. A distribuição das lâminas

continuou sendo avaliada em cada ciclo de irrigação mediante o uso de coletores, dispostos conforme o desenho experimental apresentado na Figura 01. Esse arranjo permitiu o monitoramento contínuo de um ponto para cada posição de parcela experimental em relação à *line-source*, individualizado por bloco.

Diante da dificuldade de obtenção de dados meteorológicos locais em tempo real, a estratégia adotada baseou-se no controle do tempo de irrigação, o qual foi monitorado com variações ao longo do período. Nas etapas finais, em virtude do acamamento observado nas unidades experimentais que receberam maiores volumes hídricos, reduziu-se a frequência das irrigações. O resultado do monitoramento desses eventos, incluindo as lâminas de irrigação por evento, as lâminas de irrigação acumuladas e a evapotranspiração de referência (ET0) acumulada ao longo do ciclo, está apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Monitoramento das lâminas por evento, lâmina acumulada e evapotranspiração de referência acumulada ao longo do ciclo.



Fonte: autoria própria, 2026

3.3 Análise de variância – abordagem geral

As variáveis produtivas da cultura do trigo foram submetidas à Análise de Variância (ANOVA) para o delineamento de blocos casualizados em arranjo de parcelas subdivididas (Tabela 2), revelando que a interação dupla entre os fatores irrigação e cultivar não apresentou significância estatística ($p \geq 0,05$) para nenhuma das características estudadas (AP, NEM, NSE,

PMG, Wirri e Y). Essa ausência de efeito interativo indica que as cultivares respondem de maneira homóloga as variações na disponibilidade hídrica, permitindo o desdobramento e a discussão dos efeitos simples e isolados de cada fator.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância das características altura de plantas (AP), número de espigas por metro quadrado (NEM), número de sementes por espiga (NSE), peso de mil grão a 13% (PMG_{13%}), produtividade da água de irrigação (Wirri) e produtividade da cultura (Y) das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação. Sete Lagoas, MG, 2026.

Fonte de variação (FV)	GL	(AP)	(NEM)	(NSE)	(PMG _{13%})	(Wirri)	(Y)
Irrigação (Parcela)	3	***	***	***	NS	NS	***
Bloco	5	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Erro a	15						
Cultivar (Subparcela)	1	NS	NS	NS	**	NS	NS
Irrigação X Cultivar	3	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Erro b	20						
Total	47						
CV 1 (%)		7,21%	14,64%	9,60%	4,96%	19,17%	15,02%
CV 2 (%)		5,64%	13,01%	8,88%	8,15%	17,00%	14,75%

GL: graus de liberdade; CV 1: coeficiente de variação da parcela; CV 2: coeficiente de variação da subparcela; NS: não significativo ($p \geq 0,05$); *: significativo a 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); **: significativo a 1% de probabilidade ($0,001 \leq p < 0,01$); ***: altamente significativo a 0,1% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,001$).

O fator isolado irrigação exerceu efeito altamente significativo ($p < 0,001$) sobre a altura de plantas (AP), número de espiga por metro (NEM), número de sementes por espiga (NSE) e produtividade da cultura (Y), consolidando a forte dependência desses caracteres em relação ao suprimento de água. Em contrapartida, o fator cultivar manifestou efeito significativo exclusivamente sobre o peso de mil grãos (PMG) ($p < 0,01$), evidenciando que a massa individual dos grãos preserva um forte controle genético e sofre pouca influência do ambiente hídrico. Por fim, a produtividade da água de irrigação (Wirri) foi a única variável que não sofreu

impacto de nenhum dos fatores ou de sua interação ($p \geq 0,05$), indicando um comportamento estável e equivalente na eficiência de conversão entre o volume de água aplicado e a fitomassa produzida. Os coeficientes de variação obtidos nas parcelas (CV 1) e subparcelas (CV 2) apresentaram magnitudes consideradas de baixas a médias, flutuando entre 4,96% e 19,17%.

3.4 Altura de planta (AP)

A análise de variância revelou efeito altamente significativo ($p < 0,001$) do fator lâmina de irrigação sobre a altura das plantas de trigo (Tabela 3). Por outro lado, não foi observada influência significativa para o fator cultivar ($p = 0,3374$), assim como a interação entre irrigação e cultivar também se mostrou não significativa ($p = 0,5971$), denotando um comportamento homólogo das cultivares frente às disponibilidades hídricas testadas. O coeficiente de variação para a parcela (CV 1) foi de 7,21% e para a subparcela (CV 2) foi de 5,64%, indicando baixa variabilidade experimental em relação à média.

Tabela 3 - Resultado da análise de variância para variável altura de planta (AP).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr(>Fc)
Irrigação	3	5614,7	1871,56	50,56	< 2e-16 ***
Bloco	5	312,9	62,58	1,691	0,1975
Erro a	15	555,3	37,02	—	—
Cultivar	1	21,9	21,87	0,966	0,3374
Irrigação X Cultivar	3	43,6	14,53	0,642	0,5971
Erro b	20	452,7	22,63	—	—
Total	47	7000,9	—	—	—

GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: F calculado. Códigos de significância para o p -valor ($Pr > Fc$): *** altamente significativo ($p < 0,001$); ** significativo ($p < 0,01$); * significativo ($p < 0,05$); - não significativo ($p \geq 0,05$).

O desdobramento do efeito isolado da irrigação por meio do teste de Tukey apontou que as maiores médias de altura foram obtidas sob as lâminas de 372,2 mm (94,85 cm) e 321,9 mm (92,33 cm), as quais não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 4). A redução da lâmina de água promoveu decréscimos acentuados no porte da planta, com a menor média registrada no tratamento de 161,7 mm (67,24 cm). Esse resultado evidencia que o déficit hídrico severo restringe o alongamento celular e o desenvolvimento vegetativo da cultura (LARCHER, 2000).

Quanto às cultivares, as médias situaram-se em 85,09 cm para C1 e 83,74 cm para C2, confirmando a similaridade fenotípica para este caractere. De acordo com o teste F, as médias deste fator são estatisticamente iguais.

Tabela 4 - Valores médios da altura de plantas (AP) das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação, Sete Lagoas, MG, 2025.

Tratamentos	Médias	Grupos
372,2	94,85	a
321,9	92,33	a
237,9	83,24	b
161,7	67,24	c

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

A análise do desenvolvimento estrutural revelou que a restrição hídrica afetou significativamente a altura de planta (AP) das cultivares avaliadas, ocorrendo um decréscimo linear conforme se reduziu a lâmina de irrigação ao longo do gradiente do sistema *line-source*.

Essa sensibilidade estrutural ao déficit hídrico corrobora os resultados de Soares et al. (2021), que reportaram reduções marcantes na altura de genótipos de trigo no Cerrado em resposta ao estresse hídrico, associando esse efeito à menor plasticidade morfológica de materiais menos tolerantes. Fisiologicamente, a redução da AP sob estresse ocorre devido à diminuição da pressão de turgor celular nas zonas de alongamento do colmo, o que limita a expansão foliar e a divisão celular (TAIZ; ZEIGER, 2009). Esse comportamento é considerado um mecanismo clássico de sobrevivência e adaptação, pelo qual a planta reduz sua área de projeção vertical e foliar para minimizar as perdas por transpiração e conservar energia (LARCHER, 2000).

Além disso, os resultados assemelham-se ao comportamento padrão observado por Borges Júnior (2025), que salienta como a restrição de água na fase vegetativa compromete o índice de área foliar e o acúmulo de fitomassa seca da parte aérea, refletindo-se diretamente em plantas de menor porte no momento da colheita.

3.5 Número de espiga por metro quadrado (NEM)

Para o número de espigas por metro quadrado, verificou-se efeito altamente significativo ($p < 0,001$) apenas para o fator isolado irrigação. A variação entre cultivares ($p =$

0,1767) e a interação irrigação *versus* cultivar ($p = 0,2196$) não exerceram impactos significativos sobre a variável. Os coeficientes de variação obtidos foram de 14,64% para CV 1 e 13,01% para CV 2 (Tabela 5).

Tabela 5 - Resultado da análise de variância, para variável número de espiga por metro quadrado (NEM).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr(>Fc)
Irrigação	3	292182	97394	14,5759	0,000102 ***
Bloco	5	44013	8803	1,3174	0,309077
Erro a	15	100228	6682	—	—
Cultivar	1	10352	10352	1,961	0,176726
Irrigação X Cultivar	3	25423	8474	1,6054	0,219629
Erro b	20	105574	5279	—	—
Total	47	577771	—	—	—

GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: F calculado. Códigos de significância para o p -valor ($\text{Pr} > \text{Fc}$): *** altamente significativo ($p < 0,001$); ** significativo ($p < 0,01$); * significativo ($p < 0,05$); - não significativo ($p \geq 0,05$).

De acordo com o teste de Tukey para o fator irrigação, as lâminas de 321,9 mm, 372,2 mm e 237,9 mm propiciaram os maiores valores absolutos de NEM, respectivamente, 624,47; 616,19 e 563,11 espigas por metro² – compondo o mesmo agrupamento estatístico. A imposição do menor suprimento hídrico (161,7 mm) afetou negativamente a fixação e a sobrevivência de perfilhos, resultando na menor média observada (429,48 espigas/m²). O teste F confirmou a igualdade estatística entre as cultivares C1 (572,99 espigas/m²) e C2 (543,62 espigas/m²).

Tabela 6 - Valores médios do número de espigas por metro quadrado (NEM) das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação, Sete Lagoas, MG, 2025.

Tratamentos	Médias	Grupos
372,2	616,19	a
321,9	624,47	a
237,9	563,11	a
161,7	429,48	b

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

O NEM se confirmou como um dos componentes de rendimento mais sensíveis à disponibilidade de água no solo, apresentando reduções significativas na faixa em que a restrição hídrica foi mais severa devido ao gradiente imposto pelo sistema *line-source*.

Esse decréscimo acentuado do NEM sob condições de estresse está em consonância com as observações de Borges Júnior (2025) na região de Sete Lagoas, MG. O autor salienta que a redução na lâmina líquida de irrigação atua limitando drasticamente o aparecimento e, principalmente, a sobrevivência de afilhos férteis. No trigo, a dinâmica de perfilhamento ocorre no início da fase vegetativa. Sob déficit hídrico, a planta prioriza o colmo principal e aborta os afilhos secundários por escassez de recursos, resultando em menor densidade de espigas por unidade de área no momento da colheita (LARCHER, 2000).

Da mesma forma, utilizando a técnica de aspersão em fonte linear em ambiente de alta demanda evaporativa na estação experimental do Central Arid Zone Research Institute, no noroeste da Índia, Rao et al. (2013) identificaram reduções expressivas no número de espigas à medida que as parcelas experimentais se distanciavam da linha central de irrigação.

Os resultados do presente estudo reforçam o consenso de que a imposição de estresse hídrico contínuo penaliza a estrutura produtiva do trigo logo no início do seu ciclo biológico.

3.6 Número de sementes por espiga (NSE)

O número de sementes por espiga foi influenciado de forma altamente significativa ($p < 0,001$) pelas lâminas de irrigação aplicadas. Não houve resposta significativa para o fator cultivar ($p = 0,9325$) e para interação entre os fatores ($p = 0,0724$), embora a interação tenha manifestado uma tendência de resposta ao nível de 10% de probabilidade. Os valores de CV foram de 9,60% para CV 1 e 8,88 para CV 2 (Tabela 7).

Tabela 7 - Resultado da análise de variância, para variável número sementes por espiga (NSE).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr(>Fc)
Irrigação	3	612,94	204,315	14,0041	0,000127 ***
Bloco	5	149,82	29,965	2,0538	0,128703
Erro a	15	218,84	14,59	—	—
Cultivar	1	0,09	0,092	0,0074	0,932502
Irrigação X Cultivar	3	101,5	33,835	2,7092	0,072457
Erro b	20	249,78	12,489	—	—
Total	47	1332,99	—	—	—

GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: F calculado. Códigos de significância para o p -valor ($Pr > Fc$): *** altamente significativo ($p < 0,001$); ** significativo ($p < 0,01$); * significativo ($p < 0,05$); - não significativo ($p \geq 0,05$).

A comparação de médias para as lâminas de irrigação revelou que a lâmina máxima de 372,2 mm proporcionou o maior número de sementes por espiga (43,71), não diferindo estatisticamente do tratamento com 321,9 mm (42,61) pelo teste de Tukey. O déficit hídrico gradual reduziu o componente de produção, sendo que a lâmina de 161,7 mm limitou o NSE a apenas 34,79 sementes. Esse decréscimo está associado à menor diferenciação de espiguetas e abortos de flores induzidos pelo estresse na fase de emborrachamento e antese (TAIZ; ZEIGER, 2009). As cultivares mantiveram médias estritas de 39,85 para C1 e 39,76 para C2 de sementes por espiga.

Tabela 8 - Valores médios do número de sementes por espiga das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação, Sete Lagoas, MG, 2025 (NSE).

Tratamentos	Médias	Grupos
372,2	43,71	a
321,9	42,61	ab
237,9	38,12	bc
161,7	34,79	c

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

Diferente do NEM, o NSE reflete o impacto do estresse hídrico em um período posterior do ciclo, concentrando entre as fases de diferenciação floral, emborrachamento e antese (LARCHER, 2000).

A redução do NSE observada neste experimento corrobora os achados de Borges Júnior (2025), que obteve decréscimo marcantes na quantidade de grãos por espiga sob regimes de irrigação deficitária controlada. Fisiologicamente, a falta de água durante o emborrachamento inibe a divisão celular nas espiguetas em desenvolvimento e induz o abortamento de flores. Além disso, se o estresse persistir até a antese, compromete-se a viabilidade do grão de pólen, reduzindo a taxa de fertilização e resultando em espigas com falhas de granação (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Esse padrão de sensibilidade reprodutiva também foi reportado por Soares et al. (2021) ao caracterizaram genótipos de trigo na região de Planaltina (DF), no Cerrado. Os autores observaram que o estresse hídrico reduz o fluxo de fotoassimilados para os drenos reprodutivos, o que compromete o desenvolvimento da inflorescência e aumenta o abortamento de estruturas florais. Dessa forma, o comportamento decrescente verificado para o NSE no presente estudo evidência que a restrição hídrica na entressafra mineira limita diretamente o potencial de fixação de grãos por espiga.

3.7 Peso de mil grãos a 13% de umidade (PMG_{13%})

Diferenciando-se das variáveis de crescimento e rendimento, o PMG não foi afetado significativamente pelas lâminas de irrigação ($p = 0,0969$). Constatou-se, efeito significativo ($p < 0,01$) para o fator isolado cultivar, enquanto a interação permaneceu não significativa ($p = 0,4452$). O experimento registrou CV de 4,96% para CV 1 e 8,15 para CV 2 (Tabela 9).

Tabela 9 - Resultado da análise de variância, para variável peso de mil grãos corrigido para 13% (PMG_{13%}).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr(>Fc)
Irrigação	3	19,56	6,519	2,5247	0,096901
Bloco	5	31,69	6,338	2,4547	0,081449
Erro a	15	38,73	2,582	—	—
Cultivar	1	75,5	75,501	10,8448	0,003633 **
Irrigação X Cultivar	3	19,39	6,464	0,9284	0,445212
Erro b	20	139,24	6,962	—	—
Total	47	324,11	—	—	—

GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: F calculado. Códigos de significância para o p -valor (Pr > Fc): *** altamente significativo ($p < 0,001$); ** significativo ($p < 0,01$); * significativo ($p < 0,05$); - não significativo ($p \geq 0,05$).

O teste de Tukey para o fator genotípico evidenciou a superioridade da cultivar C1 para a variável PMG_{13%}, que apresentou grãos mais pesados (33,64 g) em comparação a cultivar C2 (31,13 g). Como o fator irrigação não foi significativo pelo teste F, as médias das lâminas mantiveram-se estatisticamente equivalentes, variando de 31,57 g (na lâmina de 237,9 mm) a 33,33 g (na lâmina de 372,2 mm). Tais resultados indicam que o peso unitário dos grãos foi uma característica fortemente controlada pelo potencial genético dos materiais avaliados, sofrendo menor oscilação pelas condições hídricas do ambiente.

Tabela 10 - Valores médios do peso de mil grãos corrigidos para 13% de umidade (PMG_{13%}) das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação, Sete Lagoas, MG, 2025.

Cultivar	Médias	Grupos
C1	33,64	a
C2	31,13	b

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); C1, cultivar TBIO Aton; C2, cultivar TBIO Duque.

Diferenciando-se das demais variáveis reprodutivas, o PMG não foi afetado significativamente pelas lâminas de irrigação ($p = 0,0969$), demonstrando ser uma característica intrínseca com forte controle genético e estabilidade fenotípica perante as variações de suprimento de água.

Este comportamento de estabilidade de peso unitário dos grãos encontra eco direto na literatura regional. Soares et al. (2021) verificaram que o peso de mil grãos tendeu a manter correlações mais baixas ou respostas menos elásticas à variação severa dos regimes hídricos em cultivares adaptadas ao Cerrado, quando comparado a variáveis como o número de espigas.

Explica-se essa resposta pelo fato de que o trigo, ao enfrentar o estresse hídrico, tende a sacrificar o número de drenos, reduzindo a quantidade de espigas por m² e sementes por espiga, para garantir que os grãos efetivamente remanescentes atinjam um enchimento adequado por meio da translocação de carboidratos solúveis estocados no colmo. Assim, mesmo sob menores lâminas, o peso individual do grão tende a ser preservado até o limite do esgotamento das reservas da planta (LARCHER, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2009).

3.8 Produtividade da água de irrigação (Wirri)

A produtividade da água de irrigação, que expressa a eficiência na conversão do volume de água aplicado em fitomassa produtiva, não sofreu modificações estatísticas significativas em função de nenhum dos fatores estudados. O teste F não acusou significância para irrigação ($p = 0,2381$), cultivar ($p = 0,2918$) e para interação dupla ($p = 0,3288$). Os coeficientes de variação foi de 19,17 para CV 1 e 16,99% para CV 2 (parcelas e subparcelas), respectivamente (Tabela 11).

Tabela 11 - Resultado da análise de variância, para variável produtividade da água de irrigação (Wirri).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr(>Fc)
Irrigação	3	0,42	0,139993	1,5699	0,2381
Bloco	5	0,8016	0,160312	1,7977	0,1739
Erro a	15	1,3376	0,089175	—	—
Cultivar	1	0,0822	0,082171	1,1724	0,2918
Irrigação X Cultivar	3	0,2562	0,085411	1,2186	0,3288
Erro b	20	1,4018	0,070088	—	—
Total	47	4,2993	—	—	—

GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: F calculado. Códigos de significância para o p -valor ($Pr > Fc$): *** altamente significativo ($p < 0,001$); ** significativo ($p < 0,01$); * significativo ($p < 0,05$); - não significativo ($p \geq 0,05$).

As médias de Wirri para o fator irrigação variaram entre 1,44 kg/m³ (na menor lâmina de 161,7 mm), 1,48 kg/m³ (na maior lâmina de 372,2 mm) e 1,65 kg/m³ (na lâmina intermediária de 237,9 mm), sem contrastes estatísticos. Com relação às cultivares, os índices médios foram de 1,59 kg/m³ para C1 e 1,51 kg/m³ para C2. A ausência de efeito significativo indica que a produtividade da água de irrigação manteve-se estatisticamente equivalente entre os regimes hídricos. Contudo, do ponto de vista prático, nota-se que níveis intermediários de disponibilidade hídrica propiciaram os maiores valores numéricos para essa variável, evidenciando uma tendência de otimização no uso da água sob estresse moderado, sem que houvesse prejuízo severo ao rendimento de grãos e contrastando com a perda de eficiência observada nos extremos de excesso ou déficit severo (Tabela 12).

Tabela 12 - Valores médios da produtividade da água de irrigação (Wirri) das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas, Sete Lagoas, MG, 2025.

Cultivar	Médias	Grupos
C1	1,59	a
C2	1,51	a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); C1, cultivar TBIO Aton; C2, cultivar TBIO Duque.

A ausência de efeito para Wirri indica uma proporcionalidade direta entre o decréscimo da produtividade da cultura e a redução no volume de água aplicado ao longo do gradiente do aspersor em linha. Esse cenário assemelha-se às observações de Soares et al. (2021), que ao caracterizarem genótipos de trigo para tolerância à seca no Cerrado, constataram que as variáveis morfológicas e produtivas de alguns materiais não apresentam correlação significativa com a eficiência do uso da água de irrigação, atingindo valores máximos sob estresse moderado, o que evidência a complexibilidade e dificulta a seleção isolada de materiais geneticamente mais eficientes sob condições de estresse hídrico variável.

Por outro lado, este resultado contrapõe parcialmente o cenário reportado por Borges Júnior (2025) na mesma localidade, em que o autor verificou um incremento de até 51,7% na Wirri sob condições de irrigação deficitária controlada, sugerindo que a reduções moderadas de água poderiam otimizar o índice. No entanto, a estabilidade da Wirri observada neste experimento sinaliza que ambas as cultivares (TBIO Aton e TBIO Duque) possuem uma plasticidade agrônômica equivalente no uso dos recursos hídricos.

Sob a ótica de sistemas de cultivo comerciais em regiões com restrição hídrica, Rao et al. (2013) destacam que a manutenção de níveis estáveis de produtividade de água é um indicador importante, pois válida a viabilidade técnica de estratégias de manejo de irrigação suplementar, permitindo que o produtor otimize a receita líquida por unidade de água consumida, mesmo que ocorram perdas marginais na produtividade total por área.

3.9 Produtividade da cultura (Y)

A análise das perdas na trilhagem mecânica de grãos revelou uma variação expressiva, compreendida entre o valor mínimo de 582,16 kg ha⁻¹ (obtido na parcela i4C2) e o máximo de 2.387,48 kg ha⁻¹ (observado na parcela a2C1), com média igual a 1462,2, kg ha⁻¹. Esses valores foram somados aos valores de produção obtidos a partir da trilhagem.

Obteve-se resposta altamente sensível e significativa ($p < 0,001$) para a produtividade de grãos, em resposta às diferentes lâminas de irrigação. O fator cultivar ($p = 0,3360$) e a interação entre os fatores ($p = 0,5180$) não demonstraram efeitos significativos sobre o rendimento final. O controle experimental registrou coeficientes de variação de 15,01% para CV 1 e 14,75% para CV 2 (Tabela 13).

Tabela 13 - Resultado da análise de variância, para variável produtividade da cultura (Y).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr(>Fc)
Irrigação	3	77276686	25758895	62,59	< 2e-16 ***
Bloco	5	3911567	782313	1,901	0,1539
Erro a	15	6173258	411551	—	—
Cultivar	1	385979	385979	0,972	0,336
Irrigação X Cultivar	3	931636	310545	0,782	0,518
Erro b	20	7944791	397240	—	—
Total	47	96623917	—	—	—

GL: graus de liberdade; SQ: soma dos quadrados; QM: quadrado médio; Fc: F calculado. Códigos de significância para o p -valor ($\text{Pr} > \text{Fc}$): *** altamente significativo ($p < 0,001$); ** significativo ($p < 0,01$); * significativo ($p < 0,05$); - não significativo ($p \geq 0,05$).

Pela análise do teste de Tukey para irrigação, constatou-se que os tetos produtivos foram alcançados sob as maiores lâminas de água. A lâmina de 372,2 mm resultou na maior média (5.510,09 kg ha⁻¹), situando-se estatisticamente equivalente à lâmina de 321,9 mm, que produziu 5.305,55 kg ha⁻¹. Sob condições de restrição hídrica moderada (237,9 mm) e severa (161,7 mm), houve quedas acentuadas na produtividade, atingindo marcas de 3.930,64 kg ha⁻¹ e 2.342,72 kg ha⁻¹, respectivamente. O comportamento produtivo assemelhou-se entre os materiais genéticos, com médias gerais de 4.361,92 kg ha⁻¹ para cultivar C1 e 4.182,57 kg ha⁻¹ para cultivar C2.

Tabela 14 - Valores médios da produtividade da cultura (Y) das cultivares de trigo submetidas a diferentes lâminas de irrigação, Sete Lagoas, MG, 2025

Tratamentos	Médias	Grupos
372,2	5.510,09	a
321,9	5.305,55	a
237,9	3.930,64	b
161,7	2.342,72	c

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

A produtividade de grãos das cultivares avaliadas respondeu de forma decrescente aos menores níveis de disponibilidade hídrica imposto pelo sistema *line-source*, confirmando que o manejo estratégico e o suprimento hídrico adequado são determinantes para a expressão do potencial produtivo do trigo no Cerrado mineiro. A redução drástica na produtividade nas faixas de menor suprimento de água é reflexo direto da penalização sofrida pelos componentes de rendimento primários (NEM e NSE), conforme discutido anteriormente.

Essa dependência do rendimento em relação à lâmina de água aplicada corrobora amplamente os achados de Borges Júnior (2025), que em condições edafoclimáticas semelhantes na região de Sete Lagoas, MG, observou reduções acentuadas na produtividade do trigo quando submetidos a regimes de déficit hídrico. Do mesmo modo, Soares et al. (2021) evidenciaram que a produtividade de grãos é uma das variáveis mais afetadas pelo estresse hídrico severo no Cerrado, limitando os processos de translocação de fotoassimilados para os grãos sob condições de restrição.

Em escala internacional, o comportamento decrescente da produtividade ao longo do gradiente assemelha-se aos resultados obtidos por Rao et al. (2013) em ambiente árido, reforçando que o estresse hídrico contínuo atua como o principal fator limitante da produtividade do trigo, independentemente do nível tecnológico ou manejo de solo adotado.

O fato de as cultivares TBIO Aton e TBIO Duque apresentarem comportamento produtivo similar ao longo do gradiente demonstra uma resposta homogênea desses materiais genéticos frente às variações do regime hídrico regional.

4 CONCLUSÃO

O desempenho agrônômico, os componentes de rendimento e a produtividade da cultura do trigo no Cerrado mineiro são altamente dependentes da disponibilidade hídrica.

O número de espigas por metro quadrado e o número de sementes por espiga constituem os componentes de produção mais sensíveis à restrição hídrica.

O peso unitário dos grãos é uma característica intrínseca e fortemente controlada pelo potencial genético de cada material.

As cultivares avaliadas apresentaram comportamento produtivo e eficiência no uso da água semelhantes perante o gradiente de irrigação, indicando que ambas são opções viáveis para compor os sistemas agrícolas irrigados locais.

Não observou diferença estatística para a produtividade da água de irrigação em resposta aos níveis dos fatores estudados. Embora, na prática, níveis intermediários de disponibilidade hídrica propiciaram os maiores valores para essa variável.

Recomenda-se uma lâmina de 321,9 mm para assegurar o desenvolvimento, estabilidade, produção, rendimento, eficiência e economia dos recursos.

5 REFERÊNCIAS

ALVARENGA, A. **Trigo no Brasil: Origem e histórico de cultivo**. 2019. Disponível em: <https://rehagro.com.br/blog/origem-do-trigo-no-brasil>. Acesso em: 25 fev. 2026.

ALVES, Geiza Maria Vieira. **Trigo irrigado para silagem em região do cerrado mineiro**. 2023. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal de São João del-Rei, Sete Lagoas, 2023.

BIOTRIGO GENÉTICA. **Cultivares: TBIO Aton**. Passo Fundo: Biotrigo, 2026a. Disponível em: <https://biotrigo.com.br/cultivares/tbio-aton/>. Acesso em: 13 jun. 2026.

BIOTRIGO GENÉTICA. **Cultivares: TBIO Duque**. [S. l.]: Biotrigo, 2026b. Disponível em: <https://biotrigo.com.br/cultivares/tbio-duque/>. Acesso em: 13 jun. 2026.

BIOTRIGO GENÉTICA. **Guia de Cultivares: Cerrado 2024**. Passo Fundo: Biotrigo Genética, 2023. Disponível em: https://biotrigo.com.br/wp-content/uploads/2023/06/guiadecultivares_cerrado_2024.pdf. Acesso em: 13 jun. 2026.

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

BORGES JÚNIOR, J. C. F. **Wheat yield and irrigation water productivity in a Cerrado region of Minas Gerais, Brazil**. Revista Ceres, Viçosa, v. 72, e72032, p. 1-11, 2025.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; PINHEIRO, M. A. B. **Daily reference evapotranspiration based on temperature for Brazilian meteorological stations**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 145, n. 12, 2019.

CANZIANI, J. R.; GUIMARÃES, V. D. A. **O trigo no Brasil e no mundo: cadeia de produção, transformação e comercialização**. In: CUNHA, G. R. (ed.). **Oficina sobre trigo no Brasil: bases para a construção de uma nova triticultura brasileira**. Passo Fundo: Editora Embrapa Trigo, 2009. p. 29-72.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA. **Trigo: Incertezas e rentabilidade contêm investimentos no Brasil**. Piracicaba: ESALQ/USP, 16 jun. 2026. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/diaria/trigo-incertezas-e-rentabilidade-contem-investimentos-no-brasil.aspx>. Acesso em: 19 jun. 2026.

COELHO, J. D. **Trigo: produção e mercado**. Caderno Setorial Etene, Fortaleza, v. 151, p. 1-9, 2021.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **A cultura do trigo**. 2017. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 25 fev. 2026.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos: 9º Levantamento**, v. 13, n. 9, safra 2025/26. Brasília: Conab, jun. 2026. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 19 jun. 2026

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, jun. 2013.

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

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **Package 'ExpDes.pt': experimental designs** (Portuguese). Versão 1.2.0. 2011. Disponível em: <http://r-project.org>. Acesso em: 25 fev. 2026.

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).

GUARIENTI, E. M. **Qualidade industrial de trigo**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1993. 27 p. (EMBRAPA-CNPT. Documentos, 8).

HANKS, R. J. *et al.* **Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies**. Soil Science Society of America Journal, v. 40, n. 3, p. 426-429, 1976.

HANKS, R. J. *et al.* **Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system**. Soil Science Society of America Journal, v. 44, n. 4, p. 886-888, 1980.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531 p.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; PAREDES, P.; LÓPEZ-URREA, R.; RAES, D.; SMITH, M.; KILIC, A.; SALMAN, M. **Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements**. 2. ed. rev. Rome: FAO, 2025. (FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56 Rev.1). Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cd6621en>. Acesso em: 05 mar. 2026.

POMERANZ, Y. **Wheat: Chemistry and Technology**. 3. ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists (AACC), 1988.

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, Berlin, v. 31, n. 6, p. 1185-1197, 2013.

SILVA, S. R.; BASSOI, M. C.; FOLONI, J. S. S. **Informações técnicas para trigo e triticales, Safra-2017.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2017. 241 p. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/trigo/index.htm>. Acesso em: 05 mar. 2026.

SOARES, G. F.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; PEREIRA, L. F.; LIMA, C. A. de; SOARES, D. dos S.; MULLER, O.; RASCHER, U.; RAMOS, M. L. G. **Characterization of wheat genotypes for drought tolerance and water use efficiency.** Scientia Agricola, Piracicaba, v. 78, n. 4, e20190304, p. 1-10, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

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, DF, v. 45, n. 8, p. 797-804, 2010.

WRIGLEY, C. W.; CORKE, H.; SEETHARAMAN, K.; FAUBION, J. **Encyclopedia of Food Grains.** 2. ed. Oxford: Academic Press, 2016.