

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

PAULO HENRIQUE FERRARI LACERRA

ÉPOCAS E MÉTODOS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO
SOB GOTEJAMENTO SUBTERRÂNEO

Monte Carmelo
2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

PAULO HENRIQUE FERRARI LACERRA

ÉPOCAS E MÉTODOS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO
SOB GOTEJAMENTO SUBTERRÂNEO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia da
Universidade Federal de Uberlândia,
Campus Monte Carmelo, como
requisito necessário para a obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Eusímio Felisbino
Fraga Júnior

Monte Carmelo
2025

PAULO HENRIQUE FERRARI LACERRA

ÉPOCAS E MÉTODOS DE ADUBAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO MILHO
SOB GOTEJAMENTO SUBTERRÂNEO

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso
de Agronomia da Universidade Federal de
Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como
requisito necessário para a obtenção do grau
de Engenheiro Agrônomo.

Monte Carmelo, 06 de maio de 2025

Banca Examinadora

Prof. Dr. Eusímio Felisbinio Fraga Júnior
Orientador

Prof. Dr. Odair José Marques
Membro da Banca

Prof. Dr. Ricardo Gava
Membro da Banca

Monte Carmelo
2025

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Deus por me conceder os dons e graças necessárias para realização deste sonho. A Nossa Sra. Aparecida, pela proteção, intercessão e preces atendidas ao longo de todas as atividades que desempenhei neste trabalho.

Ao meu pai, Luiz Paulo Lacerra, pelo grande exemplo de homem, pelos grandes conselhos em meio as dificuldades e pelo inestimável esforço em impedir que qualquer dificuldade estivesse em meu caminho. A minha mãe, Elisangela de Souza Ferrari Lacerra, por me conceder base emocional e apoio em minhas decisões. Ao meu irmão, Bruno Ferrari Lacerra, pelo companheirismo e compreensão na convivência diária.

Aos amigos que me acompanharam ao longo desta jornada, em especial Isadora Rodrigues Damascena, Henrique Scrideli Stefanoni e Murilo Valbusa Pelá, pela amizade construída ao longo dos anos, trazendo leveza nos momentos de dificuldade.

Ao orientador e amigo Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Junior, pelos grandes ensinamentos e oportunidades que me concedeu ao longo da minha graduação.

Aos membros do Centro de Inteligência em Cultivos Irrigados, em especial à Nádia Mendes Diniz, pela parceria na condução do experimento com gotejamento subsuperficial e pelo exemplo profissional e acadêmico.

Aos parceiros Agrocafé e Netafim, Brasil, por acreditarem no desenvolvimento de pesquisas dentro da universidade e fomentar os avanços científicos na agricultura irrigada. Em especial os especialistas agrônômicos William Damas, Amanda Moreno Carlos e Victor Borges, compartilhando experiências e auxiliando na condução das atividades experimentais.

A Universidade Federal de Uberlândia *campus* Monte Carmelo, pelo ensino gratuito de qualidade. Em especial a todos os funcionários que de alguma forma colaboraram com as atividades realizadas ao longo do experimento.

SUMÁRIO

RESUMO	6
1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	9
3. REFERENCIAL TEÓRICO	9
3.1. Cultura do milho	9
3.2. Adubação Nitrogenada	10
3.3. Irrigação Por Gotejamento Subsuperficial.....	11
3.4. Métodos de adubação nitrogenada.....	13
4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1. Características da área experimental.....	14
4.2. Delineamento Experimental	15
4.3. Sistema de Irrigação.....	16
4.4. Manejo de irrigação	17
4.5. Manejo de adubação	23
4.6. Tratamentos	26
4.7. Semeadura e tratos culturais	27
4.8. Monitoramento biométrico de planta.....	29
4.9. Análise econômica.....	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5.1. Avaliação do manejo hídrico da cultura via gotejamento subterrâneo	31
5.2. Avaliações de parâmetros agronômicos	37
5.3. Análise de Viabilidade Econômica.....	42
6. CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

RESUMO

A cultura do milho (*Zea mays* L.) ocupa posição de destaque na agricultura brasileira, sendo o primeiro cereal mais produzido no país. Sua importância deve-se tanto ao consumo humano quanto, em grande escala, ao consumo animal, sendo o milho utilizado na produção de bebidas, rações, pratos típicos da culinária brasileira e até mesmo na fabricação de polímeros e combustíveis. Diante da crescente instabilidade climática enfrentada em várias regiões do Brasil, especialmente no que se refere à chuva, a irrigação tem se mostrado uma alternativa para garantir uma produção satisfatória. No entanto, o manejo da cultura utilizando sistemas de irrigação ainda carece de informações técnicas confiáveis. Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a resposta das características agrônômicas da cultura do milho sob diferentes métodos e épocas de aplicação nitrogenada. O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Uberlândia, no campus de Monte Carmelo, com área total de 1.655 m². A área possui sistema de irrigação por gotejamento subterrâneo, instalado a uma profundidade aproximada de 23 cm, com tubos espaçados a 90 cm em linhas paralelas e emissores com vazão de 1 L h⁻¹ a cada 50 cm, operando com pressão de serviço de 1,8 bar. O experimento contou com cinco tratamentos: (1) adubação nitrogenada via fertirrigação fracionada entre os estádios V4 e V8; (2) adubação nitrogenada via fertirrigação fracionada entre os estágios V4 e VT; (3) adubação nitrogenada convencional via cobertura, com aplicação de 50% em V4 e o restante fracionado via fertirrigação em V6 e V8; (4) cultivo em sequeiro com adubação convencional em dose única em V4; e (5) cultivo irrigado com adubação convencional em dose única em V4. A dose de adubação nitrogenada foi de 170 kg ha⁻¹. Observou-se que o fracionamento da adubação até estádios mais avançados da cultura proporcionou incremento na produção de biomassa, e a irrigação impactou positivamente nos parâmetros vegetativos e reprodutivos da cultura.

Palavras-Chave: *Zea mays*, irrigação localizada, fertilidade, fertirrigação

1. INTRODUÇÃO

A cultura do milho é de importância fundamental para economia brasileira com área cultivada na segunda safra de 2022/2023 de 17.192,7 mil hectares, atingindo produtividades médias de 5.954 kg ha⁻¹ e produção total de aproximadamente 102.365,1 mil toneladas, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (CONAB, 2024). Os maiores produtores de milho primeira e segunda safra por municípios temos Sorriso-MT, Rio Verde-GO, Nova Ubiratã-MT e Nova Mutum-MT, respectivamente, sendo o estado do Mato Grosso de maior produção. (IBGE, 2024)

O cultivo de milho é realizado em duas janelas de semeadura, durante a primavera em épocas de altos índices pluviométricos e início a meados do verão, quando os índices pluviométricos tendem a diminuir. Estas duas janelas são comumente denominadas primeira e segunda safra, ou safra de verão e safrinha. Com o avanço da produção de soja durante o período da safra, a produção total de milho na segunda safra suplantou a primeira safra. Segundo dados do IBGE, 2024, a produção de milho de segunda safra no último ano foi 3,8 vezes maior que a produção de milho de primeira safra.

Entretanto, mesmo com alta produção neste período, algumas regiões têm enfrentado dificuldades na produção devido às condições ambientais não favoráveis, entre elas o aumento da temperatura e a baixa precipitação pluviométrica. Quando presentes de forma mais intensa, estes eventos são capazes de causar redução significativos na produtividade da lavoura, alteração na duração do ciclo e perdas de qualidade do produto final (BENDER, 2017).

Em relação às necessidades hídricas da cultura, para atingir as produtividades máximas, uma cultivar de ciclo médio de milho necessita de aproximadamente 350 a 500 mm para atender completamente sua demanda, com evapotranspiração média diária de 5 a 7 mm dia⁻¹, sendo o período de maior demanda durante a fase reprodutiva. (FORNASIERI, 2007)

Desde modo, justifica-se a utilização de tecnologias para mitigar parte desses efeitos negativos das mudanças climáticas, sendo uma delas a irrigação localizada, que passa a se

tornar a principal fonte de água para cultura nos períodos onde a precipitação natural não é suficiente.

Em nível nacional, a irrigação é predominantemente realizada pelo método de aspersão com pivô central, que corresponde a cerca de 70% da área irrigada total. Esse método tem demonstrado eficiência ao longo dos anos, especialmente em áreas com topografia favorável, concentradas em polos da região Sudeste, parte do Nordeste e Centro-Oeste (ANA, 2021). No entanto, a irrigação localizada por gotejamento subterrâneo surgiu como uma alternativa frente aos desafios do uso de pivô central, sendo um dos principais problemas a dificuldade de manejo nas áreas de cantos, que anteriormente não contavam com opções para irrigação adequada.

Segundo Silva e Soares (2009), a utilização de um sistema de irrigação pode não só mitigar impactos causados pelas condições ambientais inadequadas, mas pode também abrir um leque de possibilidades em relação ao manejo da cultura, como por exemplo a fertirrigação. Tal tecnologia consiste na aplicação de adubos via sistema de irrigação, colocando os nutrientes diretamente no sistema radicular da planta e promovendo uma absorção mais rápida e eficiente pela cultura.

Outro ponto a ser abordado é o manejo nutricional da cultura, se tratando principalmente do nitrogênio, imprescindível para obtenção das produtividades desejadas, atuando no desenvolvimento das estruturas vegetativas e reprodutivas da planta. A deficiência deste nutriente pode reduzir drasticamente o rendimento da cultura, acarretando em perdas de produtividade (FANCELLI; FAVARIN, 1989).

Diante da crescente utilização do sistema de irrigação localizada por gotejamento subterrâneo, pela importância do manejo da adubação nitrogenada na cultura e pela falta de conhecimento técnico científico nesta área, é de suma importância o desenvolvimento de trabalhos que abordam o comportamento da cultura utilizando tal tecnologia mesclado com diferentes tipos de manejo de adubação nitrogenada.

Dessa forma, o presente trabalho considerou duas hipóteses: a) o método e época da adubação nitrogenada influenciam no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura do milho irrigado por gotejamento subsuperficial; b) a irrigação por gotejamento

subsuperficial proporciona incremento no desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura do milho cultivado em segunda safra.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo:

- a) Avaliar a resposta de características agronômicas da cultura do milho sob diferentes métodos e épocas de aplicação da adubação nitrogenada.
- b) Avaliar a influência da irrigação nas características agronômicas da cultura do milho quando cultivado em segunda safra.
- c) Avaliar a viabilidade econômica do cultivo de milho segunda safra na região em estudo com e sem irrigação

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Cultura do milho

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas agrícolas mais importantes e amplamente cultivadas no mundo, desempenhando papel crucial na alimentação humana, na nutrição animal e na indústria. Originário da América Central, especialmente da região que compreende o México, o milho foi domesticado há aproximadamente 7.000 anos, sendo uma das primeiras plantas a ser cultivada pelos humanos (FELIPPE, 2007).

Segundo Fornasieri Filho (2007), a posição botânica do milho pode ser caracterizada da seguinte forma: Família: *Poaceae*; subfamília: *Panicoideae*; Tribo: *Andropogoneae*; Subtribo: *Tripsacinae*; Genero: *Zea*.

Segundo Costa et. al. (2024) o centro de origem do milho é a região mesoamericana, com destaque para o México, onde foi cultivado inicialmente como base alimentar de civilizações como os maias e os astecas. No Brasil, existem registros do cultivo do milho há cerca de 7.000 anos, onde foram encontrados achados arqueológicos no que hoje corresponde ao estado de Minas Gerais, trazidos pelos povos ameríndios. Essa cultura tornou-se parte essencial das tradições alimentares e culturais brasileiras, desempenhando papel central na culinária regional e em festividades, como as festas juninas.

No Brasil, sua produção desempenha papel estratégico no agronegócio, atendendo tanto às demandas internas quanto às exportações. A adaptabilidade do milho a diferentes condições climáticas, associada à sua alta produtividade e diversificação de usos, explica sua ampla difusão global (FORNASIERI, 2007).

No cenário nacional, a cultura se destaca como um dos principais produtos agrícolas, tendo participação importante dentre as principais fontes de receita no agronegócio brasileiro, se consolidando como um dos principais produtores e exportadores mundiais, fornecendo grãos tanto para o mercado estrangeiro como Ásia e Europa. Para consumo interno, o milho pode ser utilizado como matéria prima para confecção de rações, bioenergia e alimentos processados. Dados da CONAB (2024) indicam que a produção brasileira de milho alcançou 102 milhões de toneladas na safra 2022/2023, destacando-se as regiões Centro-Oeste e Sul pela elevada produtividade.

3.2. Adubação Nitrogenada

O nitrogênio (N) é o nutriente exigido em maior quantidade pelas culturas no geral, inclusive ao milho. Deste modo, a adubação nitrogenada se torna ferramenta fundamental para obter resultados satisfatórios no rendimento da cultura. (OKUMURA, 2011).

Segundo Fernandes (2005), o aumento da dose de N aplicada à cultura do milho reflete proporcionalmente em um aumento de produtividade da cultura, além de mostrar efeitos positivos em algumas características agronômicas como índice de área foliar, massa

de 100 sementes, número de sementes por espiga, altura de plantas e índice de colheita. De acordo com Silva (2005), as principais épocas na cultura do milho onde são realizadas as adubações nitrogenadas são entre os estádios V4 e V6 de desenvolvimento da cultura.

A adubação nitrogenada quando inserida no sistema de plantio direto (SPD) pode sofrer processos com maior perda de nitrato por lixiviação, menor decomposição dos restos culturais, maior volatilização e desnitrificação e maior imobilização microbiana, causando um suprimento inadequado de N às plantas quando comparado ao sistema de cultivo convencional (FANCELLI; FAVARIN, 1989; LARA CABEZAS; KORNDÖRFER; MOTTA, 1997).

Para adubação nitrogenada, a fonte mais comum nos cultivos agrícolas é a ureia, tanto no Brasil quanto no mundo (IFA, 2013). A utilização desta fonte se justifica devido à sua elevada concentração de N, reduzindo custos com transporte. A ureia também possui alta solubilidade, se tornando uma opção para composição de formulados. (FRAZÃO et. al., 2014)

Entretanto, uma das principais dificuldades na utilização desta fonte é a perda de N por volatilização de amônia (NH_3) para atmosfera, sendo este o principal fator responsável pela baixa eficiência da ureia aplicada sobre a superfície do solo (BOUWMEESTER et al., 1985; RAUN & JOHSON, 1999).

Segundo Sangoi et. al. (2003), A volatilização de amônia ocorre quando há simultaneamente a presença de amônio no solo e pH elevado. Isso é comum após a aplicação de ureia, já que sua hidrólise provoca o aumento do pH ao redor dos grânulos. Quando esse fertilizante é aplicado em superfície, sem incorporação, e em condições favoráveis de temperatura e umidade, as perdas por volatilização tendem a ser significativas.

3.3. Irrigação Por Gotejamento Subsuperficial

A irrigação consiste na aplicação de água no solo na quantidade e momento adequado para o pleno desenvolvimento das plantas. Para que tal objetivo pudesse ser

alcançado, os sistemas de irrigação sofreram uma série de modificações e evoluções ao longo do tempo, partindo de simples desvio de água para cultivos próximos até complexos sistemas de bombeamento e aplicação de água de maneira eficiente (CARVALHO et al, 2020).

Além do desenvolvimento dos sistemas, também foram desenvolvidos métodos para estimar a quantidade de água necessária para o desenvolvimento vegetal, ou seja, a demanda hídrica das culturas agrícolas. Tal necessidade é representada pela evapotranspiração, que consiste no somatório de água perdida tanto para atmosfera pelo solo, através do processo de evaporação, quanto pela superfície foliar, pelo processo de transpiração, sendo mensurada em (mm dia^{-1}). A evapotranspiração pode ser medida através de sensores instalados em estações meteorológicas ou lisímetros de pesagem (THORNTHWAITE; MATHER, 1955)

Para aferição da efetividade da aplicação de água utiliza-se sensores de umidade de solo como tensiômetros, que utilizam a curva de retenção de água, ou sensores digitais, que disponibilizam as informações através de volume.

Diante da evolução dos métodos de irrigação, até o momento os sistemas mais utilizados são: irrigação por inundação, pivô central, aspersão convencional, microaspersão, gotejamento superficial e subsuperficial (CARVALHO et al, 2020). Dentre estes sistemas, um dos que apresenta os melhores resultados no quesito uniformidade e eficiência de aplicação é o gotejamento, pois proporciona a aplicação de água diretamente no sistema radicular das plantas com maior frequência e baixa vazão. E se tratando do gotejamento subsuperficial, a tecnologia consiste no enterro dos tubos gotejadores abaixo da superfície do solo, visando mitigar danos causados por fatores externos como mecanização ou animais. O sistema subsuperficial também proporciona menores perdas por evaporação e diminui a competição com plantas infestantes, contribuindo para maior eficiência econômica e agrônômica (FRIZZONE; MELO, 2022).

3.4. Métodos de adubação nitrogenada

Segundo Pöttker e Wiethölter (2004), a aplicação de N pode ser por diferentes métodos. Dentre estes, os mais utilizados são a aplicação a lanço na superfície do solo, técnica comumente conhecida como adução convencional. Em casos onde não ocorra precipitação pluviométrica nos primeiros dias após a aplicação, pode-se realizar a incorporação ao solo, evitando a liberação de amônia para atmosfera.

Outro método de adubação se torna possível quando se utiliza o sistema de irrigação, onde o processo de aplicação de fertilizantes via sistema de irrigação:

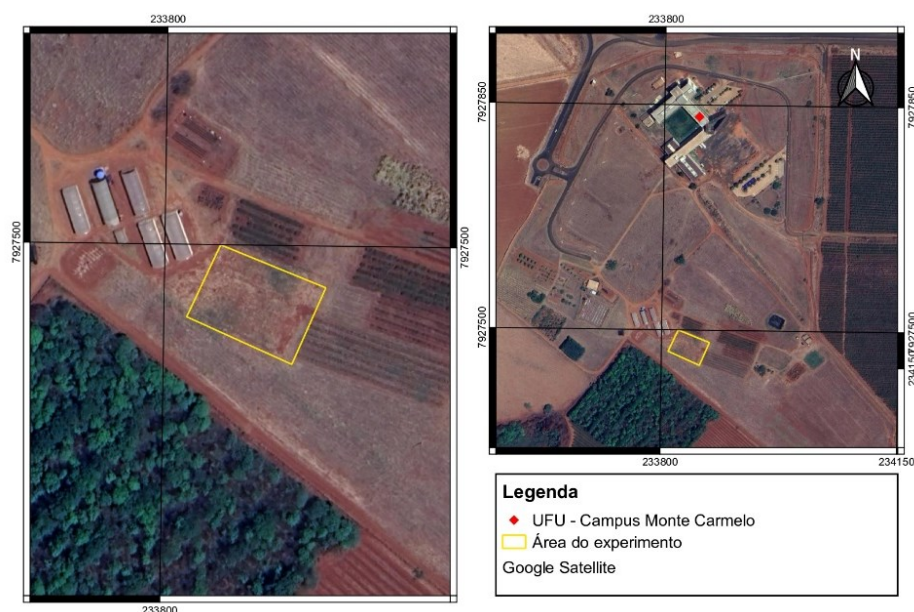
“A fertirrigação é o processo de aplicação de fertilizantes juntamente com a água de irrigação visando fornecer as quantidades de nutrientes requeridas pela cultura no momento adequado para obtenção de altos rendimentos e produtos de qualidade. Por meio da fertirrigação, há possibilidade de um ajuste mais eficiente às diferentes fases fenológicas das culturas, redundando em maior eficiência de uso e economia de fertilizantes. Além disso, a fertirrigação permite flexibilidade de mudanças nas relações entre nutrientes; distribuição e localização dos adubos onde ocorre maior densidade de raízes; possibilidade de controle da profundidade de aplicação do adubo, levando a menor perda de nutrientes por lixiviação e menor perda de nitrogênio por volatilização, uma vez que os fertilizantes estão dissolvidos em água; menor compactação do solo devido ao menor trânsito de máquinas; economia de mão de obra e comodidade na aplicação” (CARRIJO et al., 2004).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Características da área experimental

O experimento foi estabelecido no Campo Demonstrativo e Experimental na Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo (18°43'37" S e 47°31'26" O; 900 m de altitude média), com o sistema de gotejamento subsuperficial (Figura 1). O histórico da área após a instalação do sistema de gotejamento subterrâneo conta com experimentos de milho segunda safra em 2021, soja na primeira safra de 2021/22 e feijão de inverno em 2022, sendo estes experimentos com quimigação e turnos de rega, respectivamente.

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distroférico, de textura argilosa. (SANTOS et al., 2018; RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999). A Tabela 1 descreve as características granulométricas do solo da área experimental.

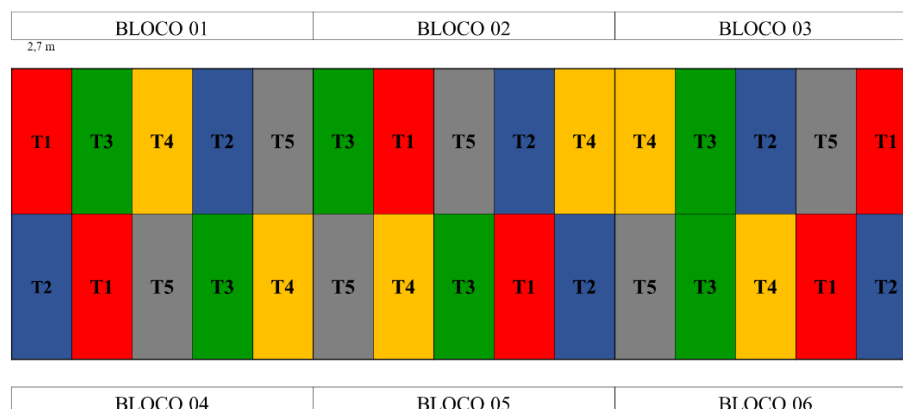
Figura 1: Localização da área experimental**Tabela 1.** Análise granulométrica da área experimental.

Camada (cm)	Granulometria (g.kg ⁻¹)		
	Areia total	Silte	Argila
0 - 20	350	172	478

4.2. Delineamento Experimental

Com área total de 1296 m², a área conta com 40,5 metros de comprimento e 32,0 metros de largura. O delineamento escolhido foi o de blocos casualizados, com cinco tratamentos dispostos em seis blocos, totalizando 30 parcelas experimentais. Cada parcela experimental tem 43,2 m², sendo 2,7 metros de largura e 16,0 metros de comprimento (Figura 2).

Figura 2: Croqui da área experimental com distribuição de blocos e tratamentos.

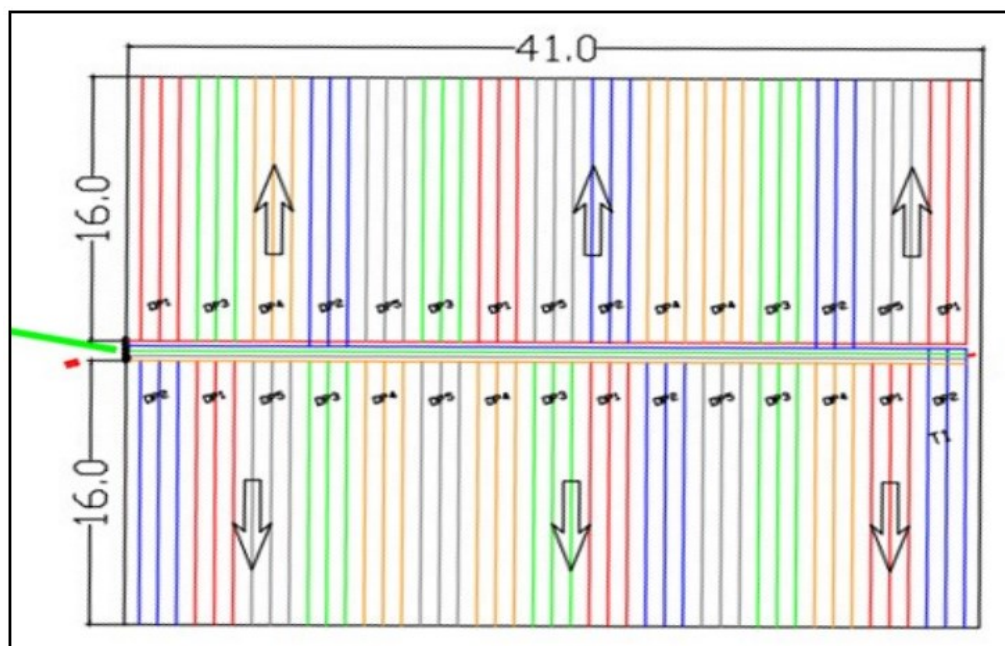


4.3. Sistema de Irrigação

O sistema de irrigação é composto por cinco setores, cada um abastecido por uma linha principal com válvula independente. Cada válvula controla simultaneamente a irrigação de seis parcelas, dispostas de forma aleatorizada. Dentro dessas parcelas, os tubos gotejadores estão organizados em três linhas laterais, com 16 m de comprimento e enterradas a aproximadamente 23 cm de profundidade, utilizando um equipamento fornecido pelo fabricante dos tubos. O espaçamento entre os tubos é de 90 cm, enquanto os emissores, com vazão de 1 L h^{-1} , estão distribuídos a cada 50 cm, resultando em uma taxa de aplicação de $2,2 \text{ mm h}^{-1}$. Os emissores operam em uma faixa de trabalho de 0,4 a 3,0 bar. No total, o sistema conta com 2.880 emissores e 1.440 metros de tubos gotejadores (Figura 3).

O sistema de filtragem de água conta com um filtro de disco, com malha de filtragem de 120 *mesh*. A captação de água é realizada de um reservatório instalado ao lado da estação de bombeamento, com capacidade de 20.000 L.

Figura 3: Layout do sistema de irrigação



4.4. Manejo de irrigação

O manejo de irrigação utilizou-se do método de balanço hídrico climatológico, utilizando dados da estação meteorológica presente no *campus*, nas coordenadas geográficas: 18°43'38" S e 47°31'20" O, baseando-se no método Penman-Monteith FAO 56 para determinar a evapotranspiração de referência (ET_o) diária, como descrito na equação 1 (ALLEN et al., 1998). Para o cálculo da evapotranspiração da cultura deve-se utilizar o coeficiente de cultivo do milho (K_c) tabelado, correspondendo a 0,8; 1,23 e 0,35 nas fases vegetativa, reprodutiva e maturação, respectivamente, descrito na equação 2 (ALBUQUERQUE, 2010).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2(es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

(Equação 1)

Onde:

ET_o – Evapotranspiração de referência (mm d⁻¹);

R_n - Saldo de radiação à superfície da cultura (MJ m⁻²d⁻¹);

G - Densidade do fluxo de calor do solo (MJ m⁻²d⁻¹);

T - Temperatura do ar a 2 m de altura (°C);

u₂ - Velocidade de vento a 2 m de altura (m s⁻¹);

e_s - Pressão de vapor de saturação (kPa);

e_a - Pressão parcial de vapor (kPa);

Δ - Declividade da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C⁻¹), e

γ - Coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹).

$$ET_c = ET_o * K_c$$

(Equação 2)

Onde:

ET_c: Evapotranspiração da cultura (mm);

ET_o: Evapotranspiração de referência (mm) e

K_c: Coeficiente do cultivo.

Para aferição em campo da efetividade do manejo via balanço hídrico, utilizou-se duas baterias de tensiômetros, onde cada bateria contou com tensiômetros em três profundidades distintas: 20, 40 e 60 cm, conforme apresentado na Figura 4. As leituras destes equipamentos foram realizadas diariamente e posteriormente convertidas de quilopascal para umidade base volume cm³ cm⁻³ (%) por meio da curva de retenção de água no solo. Os parâmetros utilizados para determinação da curva de retenção de água no solo estão

representados na Tabela 2; bem como a equação de van Genutchen (1980), expressa na Equação 3, utilizada para elaborar a curva de retenção, conforme a Figura 5.

Figura 4: Bateria de tensiômetros em diferentes profundidades.



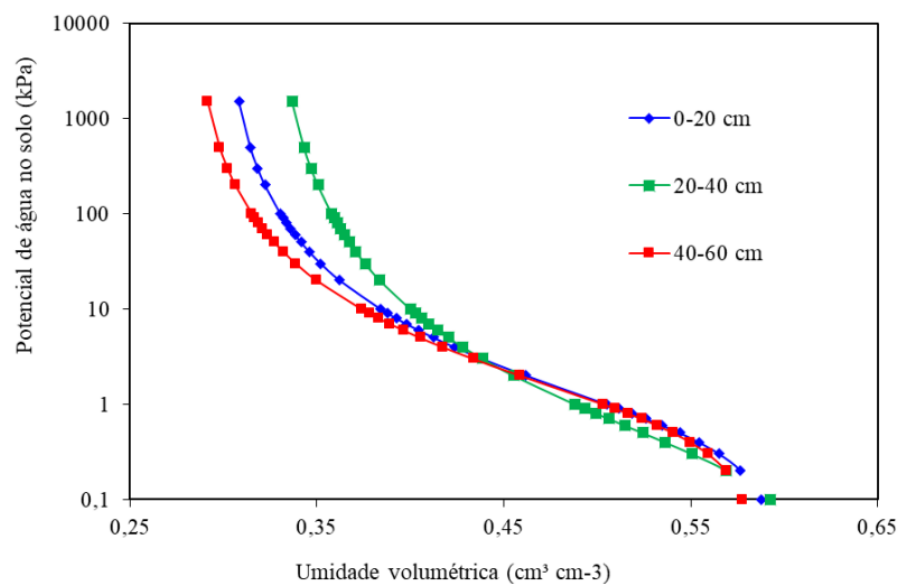
Tabela 2. Parâmetros utilizado na Equação de van Genutchen (1980) para o cálculo da CRAS.

Camada (cm)	r ²	Θs	Θr	α	n	m = 1 - 1/n
0 – 20	0,9900	0,5950	0,2980	0,1824	1,4250	0,2982
20 – 40	0,9860	0,6160	0,3230	0,4010	1,3427	0,2552
40 – 60	0,9900	0,5830	0,2810	0,1470	1,4367	0,3040

$$\theta_{Solo} = \theta_{Residual} + \frac{(\theta_{Saturado} - \theta_{Residual})}{[1 + (\alpha \cdot |\Psi_{m\ solo}|)^n]^{(1-\frac{1}{n})}}$$

(Equação 3)

Figura 5: Curva de retenção elaborada conforme a equação de van Genutchen (1980).



Em relação às características físico-hídricas do solo, como umidade da capacidade de campo, ponto de murcha permanente, capacidade de água total e capacidade real de água do sistema radicular da camada de 0-20 cm, temos os valores expressos na Tabela 3.

Tabela 3. Característica físico-hídricas do solo da área experimental.

Camada (cm)	Características físico-hídricas do solo			
	θ_{CC} (cm³/cm³)	θ_{PMP} (cm³/cm³)	CAD Total (mm)	CAD Real (mm)
0-20	0,393	0,301	55,08	19,28

Também foi realizada análise laboratorial de qualidade da água, realizando um comparativo dos resultados encontrados com as recomendações de qualidade de água de irrigação descritos pela Embrapa (2010). Os resultados apresentados na Tabela 4 demonstram que a água apresenta condições adequadas para uso agrícola, com todos os parâmetros dentro dos limites recomendados. O pH de 7,1 encontra-se na faixa ideal (6-8,5), indicando

neutralidade adequada. Os teores de elementos potencialmente tóxicos como alumínio ($<0,038 \text{ mg L}^{-1}$), cádmio ($<0,01 \text{ mg L}^{-1}$) e chumbo ($<0,03 \text{ mg L}^{-1}$) estão significativamente abaixo dos limites críticos. A baixa concentração de sólidos suspensos totais (4 mg L^{-1}) e de elementos como ferro e manganês ($<0,03 \text{ mg L}^{-1}$ para ambos) indica ausência de riscos para os sistemas de irrigação ou para as plantas.

Tabela 4. Análise de qualidade água da área experimental.

Análise	Resultado (mg L⁻¹)	Limite de quantificação	Qualidade da água para irrigação – EMBRAPA 2010
Sólidos suspensos totais – 105°C	4	2,5	-
pH	7,1	-	6 a 8,5
Alumínio	< 0,038	0,038	< 5,0
Bário	< 0,030	0,03	-
Cálcio	6,21	0,5	< 20,0
Cádmio	< 0,01	0,01	-
Cromo	< 0,03	0,03	-
Cobre	< 0,005	0,005	< 0,2
Ferro	< 0,03	0,03	< 5,0
Potássio	< 0,50	0,5	< 2,0
Magnésio	< 0,03	0,5	< 5,0
Manganês	< 0,03	0,03	< 0,2
Sódio	2,478	0,5	< 40,0
Níquel	< 0,03	0,03	-
Chumbo	< 0,03	0,03	-
Zinco	< 0,03	0,03	< 2,0
Boro	< 0,03	0,03	< 2,0
Molibdênio	< 0,10	0,1	-
Cobalto	< 0,10	0,1	-
Fósforo total	< 0,03	0,03	< 2,0
Enxofre	< 0,10	0,1	-
Cloro livre	< 0,20	0,2	-

4.5. Manejo de adubação

A área experimental segue o manejo de plantio direto ainda em processo de consolidação, o manejo químico do solo foi realizado com base em análises laboratoriais do solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade, utilizando amostras compostas de ambas as parcelas. Os resultados obtidos através destas análises, bem como sua classificação de acordo com a 5ª Aproximação (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999) estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5. Análise química completa do solo (0-20 cm e 20-40 cm) com classificação pela 5ª aproximação (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999)

Parâmetro	0-20 cm		20-40 cm	
	Teores	Classificação	Teores	Classificação
pH (H₂O)	6,2	Acidez Fraca	6,6	Acidez Fraca
P-Mehlich (mg dm⁻³)	14,4	Adequado	5,5	Baixo
K (cmol_c dm⁻³)	0,34	Alto	0,25	Alto
Ca (cmol_c dm⁻³)	3,2	Médio	3,14	Médio
Mg (cmol_c dm⁻³)	0,9	Alto	0,8	Médio
Al (cmol_c dm⁻³)	0	-	0	-
H+Al (cmol_c dm⁻³)	3	Médio	2	Médio
SB (cmol_c dm⁻³)	4,45	-	4,19	-
CTC (cmol_c dm⁻³)	7,45	-	6,19	-
V%	60	Adequado	68	Adequado
Ca/Mg	3,9	-	3,5	-
M.O. (dag kg⁻¹)	2	Baixo	1,5	Baixo
C.O. (dag kg⁻¹)	1,2	Baixo	0,9	Baixo
B (mg dm⁻³)	1,2	Alto	0,9	Alto
Cu (mg dm⁻³)	0,34	Baixo	0,3	Baixo
Fe (mg dm⁻³)	13,4	Baixo	9,4	Baixo
Mn (mg dm⁻³)	2,1	Baixo	2,1	Baixo
Zn (mg dm⁻³)	6,1	Alto	4,5	Alto

O manejo de adubação foi baseado na metodologia descrita por Alvarez et.al., 1999, (quinta aproximação) e pelas informações disponibilizadas pelo time técnico da Netafim, onde os quantitativos foram os mesmo para todos os tratamentos, não existindo diferenças de doses. A fonte de adubação de base utilizada durante o plantio foi o formulado 10-50-00 (10% N; 50% P₂O₅). Para adubação nitrogenada de cobertura e também via fertirrigação, utilizou-se Ureia, (45% N). Já para o manejo de potássio, utilizou-se o cloreto de potássio

(60% K₂O), aplicado no estágio de desenvolvimento da cultura correspondente a V2, 10 dias após a semeadura.

Figura 6: Aplicação de adubos em cobertura utilizando carriola adubadeira.



Os quantitativos em quilogramas por hectare das fontes utilizadas e do total de nutrientes disponibilizados pelas adubações, bem como métodos de aplicação utilizados estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6. Adubação utilizada no experimento

Fonte	Dose (kg ha ⁻¹)	Método de aplicação	Nutrientes (kg ha ⁻¹)		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Phusion Super (10-50-00)	275,0	Plantio	27,5	137,5	0
Ureia (45 % N)	388,8	Cobertura/Fertirrigação	170,2	0	0
KCl (60 % K₂O)	166,6	Cobertura	0	0	100,0
Total	-	-	197,72	137,5	100,0

A decisão de não realizar a calagem na área experimental fundamentou-se na análise criteriosa dos atributos químicos do solo, os quais apresentaram condições adequadas para o desenvolvimento da cultura do milho sem a necessidade de correção. O solo demonstrou saturação por bases (V%) de 60% na camada de 0-20 cm e 68% na camada de 20-40 cm, valores que se encontram dentro da faixa considerada ideal (50-70%) para a cultura, conforme Ribeiro; Guimarães; Alvarez et al. (1999). Além disso, a ausência completa de alumínio tóxico ($Al^{3+} = 0,00 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ em ambas as camadas) eliminou um dos principais indicadores para aplicação de calcário. Os teores de cálcio ($3,20 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e magnésio ($0,90 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) na camada superficial classificaram-se como altos e adequados, respectivamente, enquanto o pH em água (6,2) situou-se na faixa ótima para o milho (5,5-6,5). A relação Ca/Mg, embora ligeiramente elevada (3,5:1), não representou risco de desbalanço nutricional.

4.6. Tratamentos

Para realização dos trabalhos, foram testados diferentes métodos e épocas de aplicação de adubação nitrogenada, além do efeito da presença ou não de irrigação. Os métodos de adubação variaram entre fertirrigação e adubação convencional, já as épocas de aplicação variaram de V4 até VT. Na Tabela 7 estão descritos os métodos de aplicação de cada tratamento; as épocas com que foram realizadas as aplicações de acordo com o estágio de desenvolvimento fenológico da cultura; o quantitativo de N em cada uma das aplicações; o quantitativo total de N após o fim das aplicações.

Tabela 7. Métodos e épocas de aplicação de nitrogênio nos diferentes tratamentos.

Tratamento	Método de aplicação	Estádio fenológico						N (kg ha ⁻¹)
		V4	V6	V8	V12	V16	VT	
T1	Fertirrigação	56,7	56,7	56,7	0	0	0	170,2
T2	Fertirrigação	34,0	0	34,0	34,0	34,0	34,0	170,2
T3	Conv. + Ferti.	85,1	42,5	42,5	42,5	0	0	170,2
T4*	Convencional	170,2	0	0	0	0	0	170,2
T5**	Convencional	170,2	0	0	0	0	0	170,2

*T4 - Sequeiro com adubação convencional

**T5 - Irrigado com adubação convencional

O tratamento 1 (T1) recebeu adubação nitrogenada via fertirrigação, com o nutriente sendo fracionado em três aplicações nos estádios V4, V6 e V8. O tratamento 2 (T2) também foi submetido à fertirrigação, porém com um maior número de fracionamentos, ocorrendo nos estádios V4, V8, V12, V16 e VT, visando atender à demanda nutricional da cultura ao longo do ciclo. No tratamento 3 (T3), a adubação foi parcialmente convencional, com 50% da dose total aplicada em V4, enquanto os outros 50% foram divididos em duas aplicações via fertirrigação nos estádios V6 e V8. Já o tratamento 4 (T4) recebeu apenas uma adubação de cobertura em V4, com a dose total do fertilizante, sendo o único tratamento conduzido sem irrigação (sequeiro). Por fim, o tratamento 5 (T5) seguiu o mesmo esquema de adubação do T4, com aplicação única em V4, porém contou com irrigação, assim como os demais tratamentos.

4.7. Semeadura e tratos culturais

O controle de plantas daninhas, pragas e doenças foi realizado com o auxílio da equipe técnica AGROCAFÉ, e as aplicações eram realizadas em sua maioria através de um

pulverizador costal. A dessecação da área foi realizada no dia 16 de fevereiro, a relação de produtos e doses utilizadas na aplicação estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8. Produtos e doses utilizados na dessecação.

Data	Princípio ativo	Classificação	Dose
16/fev	Ácido 2,4-diclorofenoxiacético	Herbicida	0,4 L ha ⁻¹
	Glifosato	Herbicida	3,0 L ha ⁻¹
	Clorantraniliprole + Lambda-cialotrina	Inseticida	0,6 L ha ⁻¹

O híbrido de milho utilizado no experimento foi o K7510 VIP3, desenvolvido pela KWS, destacado por seu elevado potencial produtivo e ampla adaptabilidade, especialmente em safrinha tropical. Apresenta ciclo precoce, com GDU de 820 °C, altura de planta entre 260 e 280 cm e inserção de espiga entre 125 e 145 cm. Suas espigas possuem de 16 a 18 fileiras de grãos amarelo-alaranjados, de textura semidentada e peso de mil grãos variando entre 310 e 350 gramas. Além disso, incorpora a tecnologia VIP3, proporcionando eficiente controle da lagarta-do-cartucho. Recomenda-se o cultivo em macroambientes 1 a 5, com populações variando conforme a época de semeadura e nível tecnológico adotado (KWS, 2025).

O ciclo da cultura iniciou-se em 06 de março de 2023, com a semeadura, e encerrou-se em 25 de agosto de 2023, quando realizou-se a colheita das parcelas experimentais na área. O espaçamento utilizado entre linhas foi de 45 centímetros, com 2,47 plantas m⁻¹, resultando numa população final de 54.889 plantas há⁻¹, seguindo as recomendações da empresa detentora do híbrido.

4.8. Monitoramento biométrico de planta

Foram realizadas avaliações biométricas na cultura do milho nos estádios fenológicos V12 e VT, nos dias 30 de maio e 15 de junho de 2023, respectivamente. No estádio V12, foram avaliadas a altura de plantas e o índice de área foliar (IAF). A altura foi determinada utilizando uma trena, mensurando a distância da base da planta até o final da última folha completamente expandida. O IAF foi obtido a partir da medição do comprimento e da largura de todas as folhas fotossinteticamente ativas da planta, considerando o produto dessas dimensões e um fator de correção de 0,75 para estimativa da área foliar total, como descrito por Francis; Rutger e Palmer (1969).

No estádio VT, além das avaliações de altura de plantas e IAF, também foram mensurados o diâmetro do caule e a altura de inserção da primeira espiga. O diâmetro do caule foi medido com um paquímetro a 1 cm da superfície do solo, enquanto a altura da espiga foi determinada com o auxílio de uma trena, considerando a distância da base da planta até o ponto de inserção da primeira espiga. Para cada avaliação, foram analisadas duas plantas por parcela, totalizando 60 plantas identificadas para acompanhamento ao longo do ciclo.

Na colheita, realizada no início de agosto de 2023, foram coletados 4 metros lineares de plantas em cada parcela experimental. Nesse espaço, foi realizada a contagem total de plantas e de espigas para determinação do índice de prolificidade. Das espigas colhidas em cada parcela, 10 foram selecionadas aleatoriamente para as análises morfológicas, sendo avaliados diâmetro e comprimento de espiga, número de fileiras de grãos e número de grãos por fileira. A massa seca da parte aérea foi determinada utilizando três plantas inteiras por parcela, as quais foram picadas e submetidas à secagem em estufa de ventilação forçada a 65 °C até atingirem peso constante. A produtividade foi estimada com base no peso dos grãos colhidos nos 8 metros lineares de cada parcela, sendo posteriormente corrigida para 14% de umidade.

Para a análise dos dados, utilizou-se o software estatístico SPEED (Sistema de Processamento Estatístico de Experimentos Dialéticos) da UFLA. Inicialmente, foram verificados os pressupostos da análise de variância, incluindo testes de homoscedasticidade

(Cochran, Bartlett e Harley), normalidade dos resíduos (Jarque-Bera) e aditividade do modelo. Também foi calculado o índice paramétrico para avaliação da adequação do modelo.

Realizou-se uma análise de covariância preliminar para verificar possíveis relações entre variáveis. Os dados foram então submetidos à análise de variância (ANOVA) considerando o delineamento experimental em blocos casualizados. Por fim, aplicou-se o teste de comparação de médias Scott-Knott a 5% de probabilidade para avaliar as diferenças entre os tratamentos. O coeficiente de variação foi calculado como indicador da precisão experimental.

4.9. Análise econômica

Ao final do trabalho, realizou-se a análise de viabilidade econômica do cultivo de milho segunda safra sob as diferentes condições de manejo hídrico, sendo estas, sequeiro e irrigado. Para obtenção do valor de produtividade do milho irrigado, utilizou-se a média ponderada dos tratamentos com a presença de irrigação, sendo que no tratamento sequeiro, foram utilizados os valores do tratamento sem irrigação.

Esta análise considerou custos de produção fornecidos pela CONAB (2024), onde o custo médio operacional de produção do milho segunda safra no município de Unaí, Goiás, no ano de 2023 pode chegar a R\$ 4.312,79 por hectare, incluindo: despesas de custo variável (R\$ 3.545,03), como custeio e financiamentos, e custos fixos (R\$ 767,76), como manutenções e depreciações de maquinário e instalações. Estes valores consideram uma produtividade média de 6000 kg/ha, ou 100 sc ha⁻¹, chegando ao valor médio de custo por saca de R\$ 43,12, em que R\$ 35,45 representa o custo variável e R\$ 7,67 custos fixos.

Considerando sistemas irrigados, é necessário realizar a inclusão dos valores referentes à instalação e à operação do sistema de irrigação nos custos de produção. Em consulta com a fabricante, os valores médios de instalação são estimados em aproximadamente R\$ 15.000,00 por hectare, com uma vida útil de 10 anos. Isso implica em um acréscimo de R\$ 1.500,00 por hectare ao ano em depreciação, que se soma aos custos

fixos originais, totalizando R\$ 2.267,76 por hectare. Já o custo de operação do sistema irrigado gira em torno de R\$ 1.000,00 por hectare, elevando o custo variável total para R\$ 4.545,03 por hectare.

Os custos de produção por saca podem ser determinados através das seguintes equações, descritas por Raineri, Rojas e Gameiro (2015):

$$CV/sc = CV_{total} / \text{Produtividade}$$

(Equação 4)

$$CF/sc = CF_{total} / \text{Produtividade}$$

(Equação 5)

$$CT/sc = CV/sc + CF/sc$$

(Equação 6)

Onde:

CV: Custo Variável;

CF: Custo Fixo;

CT: Custo Total;

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Avaliação do manejo hídrico da cultura via gotejamento subterrâneo

Durante o ciclo da cultura, os eventos de precipitação foram concentrados no início do ciclo, até os 50 dias após a emergência. O total de chuva acumulado no período foi de 139

mm, com maior precipitação observada nos DAE 27 e 28, igual a 13,2 e 11,8 mm respectivamente.

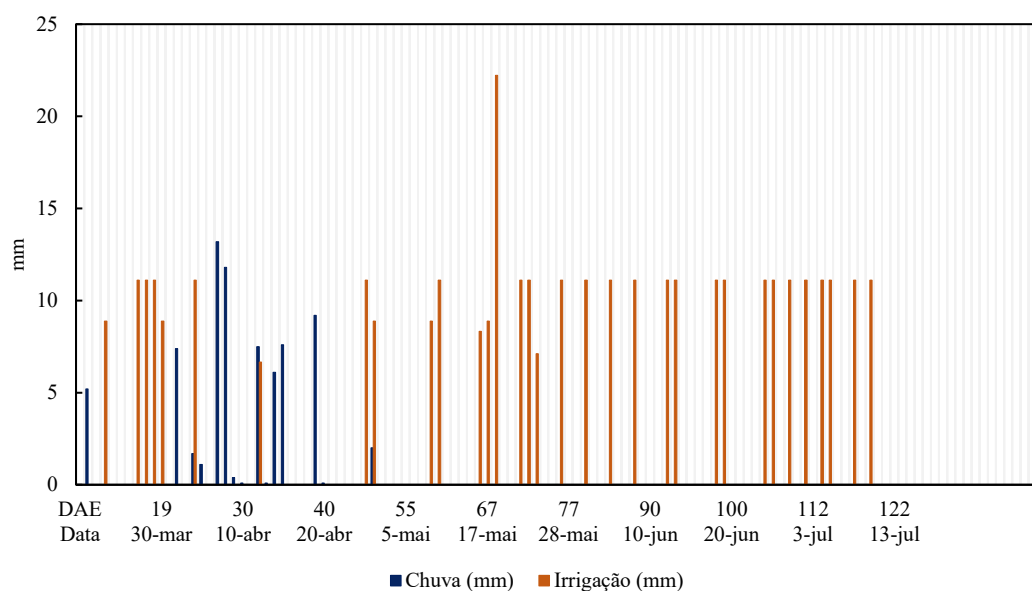
Durante o período chuvoso realizou-se 7 eventos de irrigação que totalizaram 69 mm. Nesta janela houve um veranico, período sem precipitação natural, de 10 dias que proporcionou uma diferença razoável no percentual de água disponível no solo, variando de 105,2% de AD nas áreas irrigadas para 96,8% na área de sequeiro. Essa diferença de percentual de água disponível se deve pela conservação da umidade do solo na camada mais superficial do solo, 0 a 20 cm, nos tratamentos irrigados.

A partir do 50 DAE não houve precipitações e para atender a demanda hídrica da cultura realizou uma lâmina de irrigação acumulada de 286 mm. Nos tratamentos com irrigação, T1, T2, T3 e T5, o percentual de água disponível no solo variou entre 209,2 à 288,8 mm. Estes valores estão dentro da faixa de armazenamento de água no solo disponível para as plantas, isto é, entre a umidade de capacidade de campo (233 mm) até a umidade do ponto de murcha permanente (187 mm). A umidade também se manteve dentro do intervalo de água facilmente disponível (AFD), onde o limite inferior era de 206 mm, considerando um fator de disponibilidade de 0,6 (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Esta oscilação de armazenamento de água no solo é justificada pelos maiores valores de tensão de água no solo observado na camada 0-20 cm, na ordem 32,75 kPa em média. Destaca-se que este mesmo parâmetro no tratamento T4, sequeiro, a tensão média provável é maior que 59,76 kPa.

Nos tratamentos com e sem irrigação, o nível de armazenamento de água no solo esteve acima da capacidade de campo nos primeiros 50 dias após a emergência da cultura, face as precipitações naturais ocorridas nas áreas irrigadas ou de sequeiro e por consequência das características de manejo operacional do sistema por gotejamento subsuperficial em cultivos anuais.

A lâmina de irrigação aplicada durante o ciclo da cultura foi de 355 mm. Houve pequenas diferenças para o momento que o evento de irrigação foi realizado em cada tratamento sendo que foram realizados 32 eventos de irrigação com turno de rega variável médio de 2,5 dias. Ao todo, o acumulado total de irrigação e precipitações foi de 428 milímetros, conforme descrito na Figura 9.

Figura 7: Acumulado total de chuvas e irrigações ao longo do ciclo.



Á seguir, estão representados graficamente os comportamentos da tensiometria e água disponível no solo correlacionados com os eventos de precipitação e irrigação em três tratamentos. As Figuras 10, 11 e 12 representam, respectivamente, a variação da tensão de água no solo nos tratamentos 1, 2 e 4. Por sua vez, as Figuras 13, 14 e 15 demonstram a dinâmica da água no solo para os mesmos tratamentos (1, 2 e 4), em mesma ordem correspondente.

Figura 8: Comportamento da tensão de água no solo via SDI no tratamento 1.

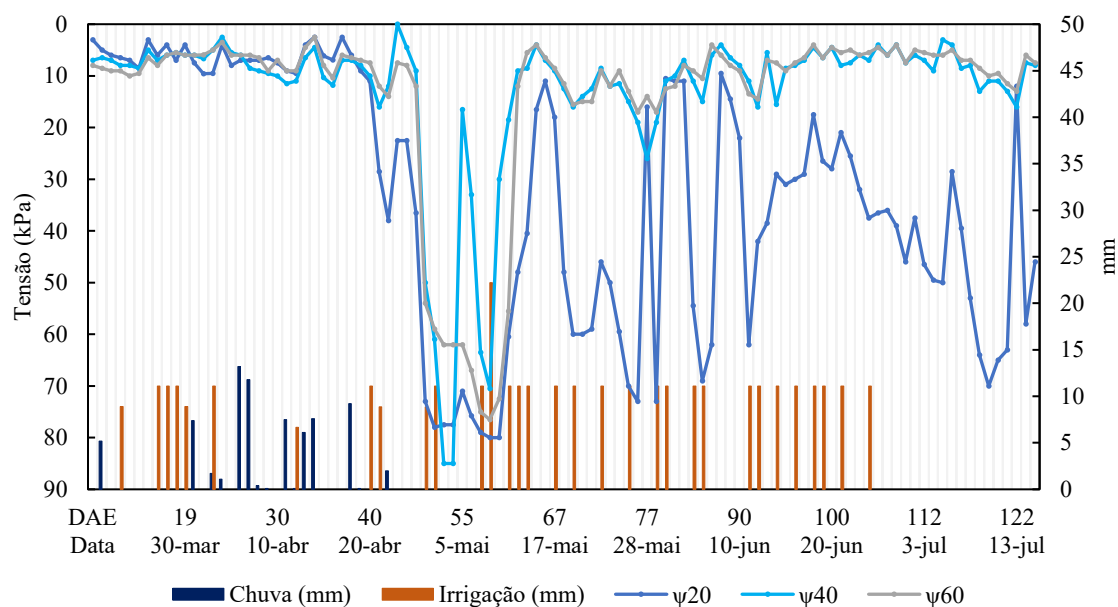


Figura 9: Comportamento da tensão de água no solo via SDI no tratamento 2.

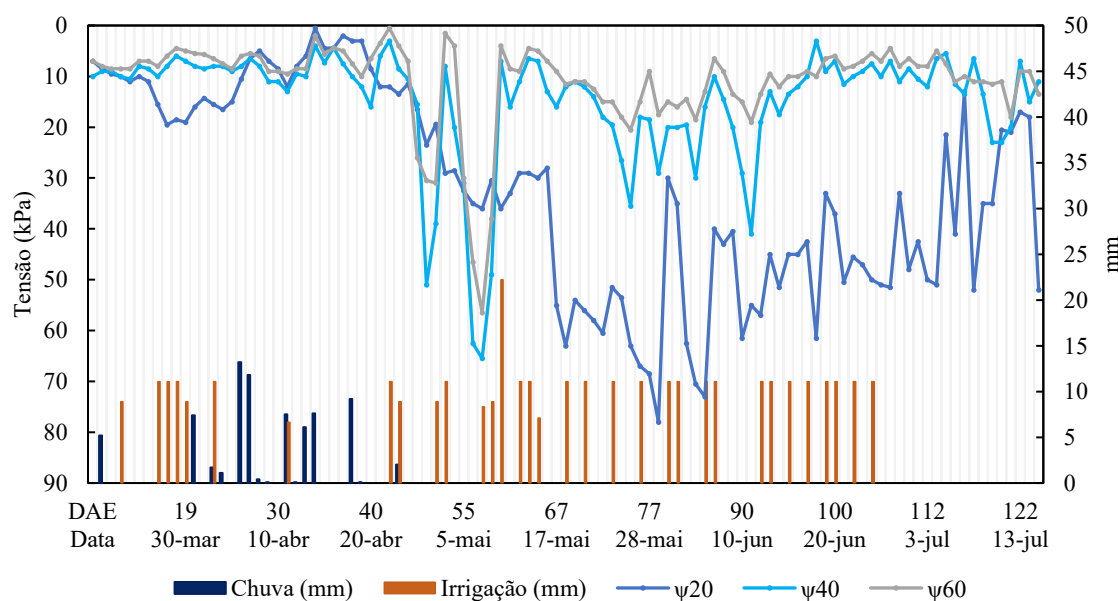


Figura 10: Comportamento da tensão de água no solo via SDI no tratamento 4.

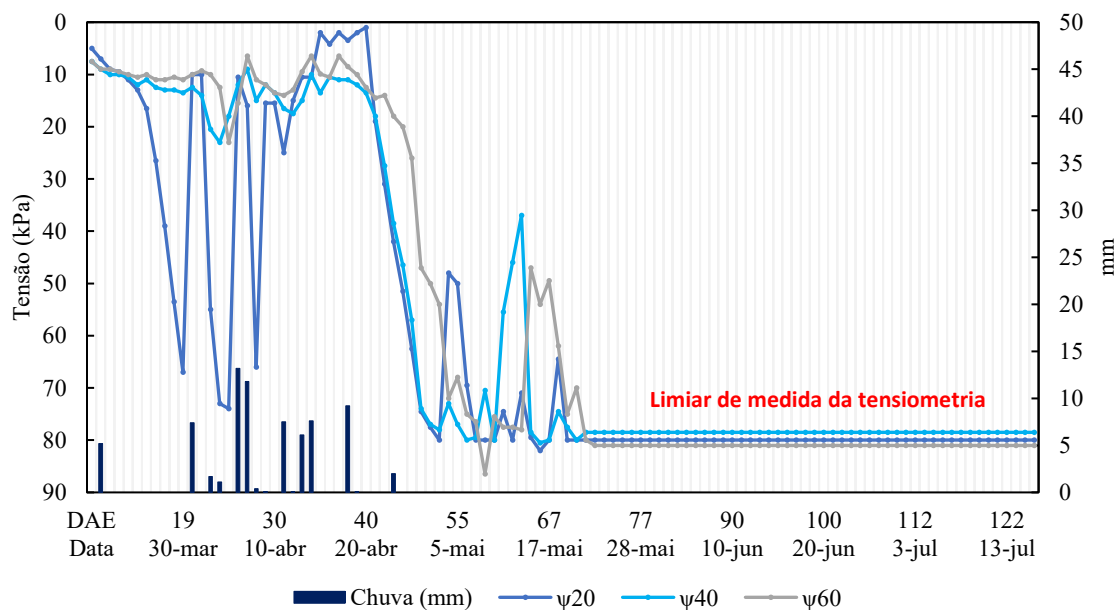


Figura 11: Comportamento da dinâmica da água no solo via SDI no tratamento 1.

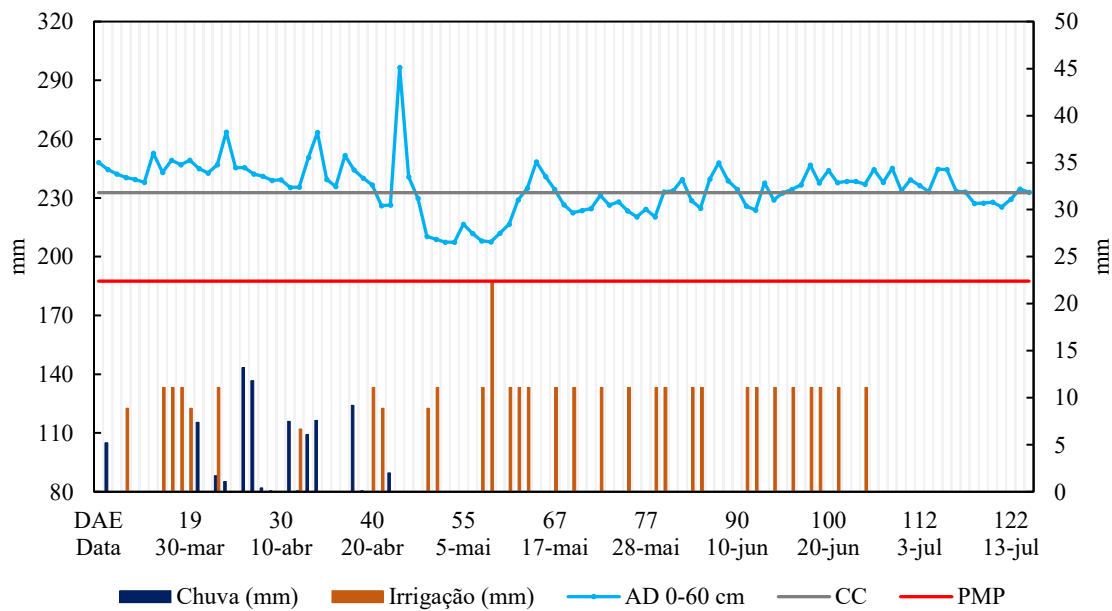


Figura 12: Comportamento da dinâmica da água no solo via SDI no tratamento 2.

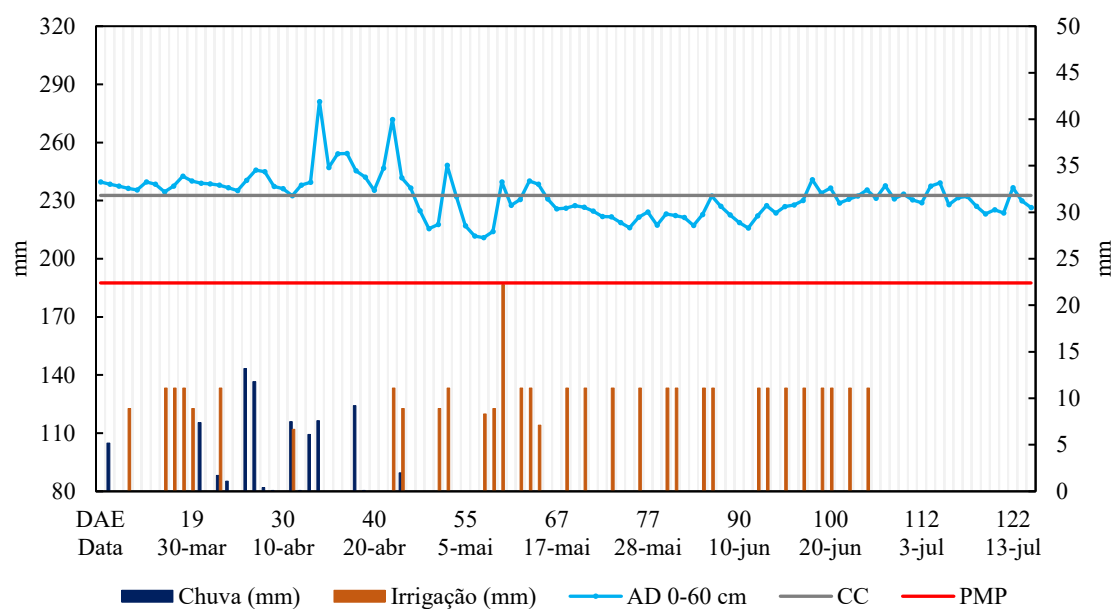
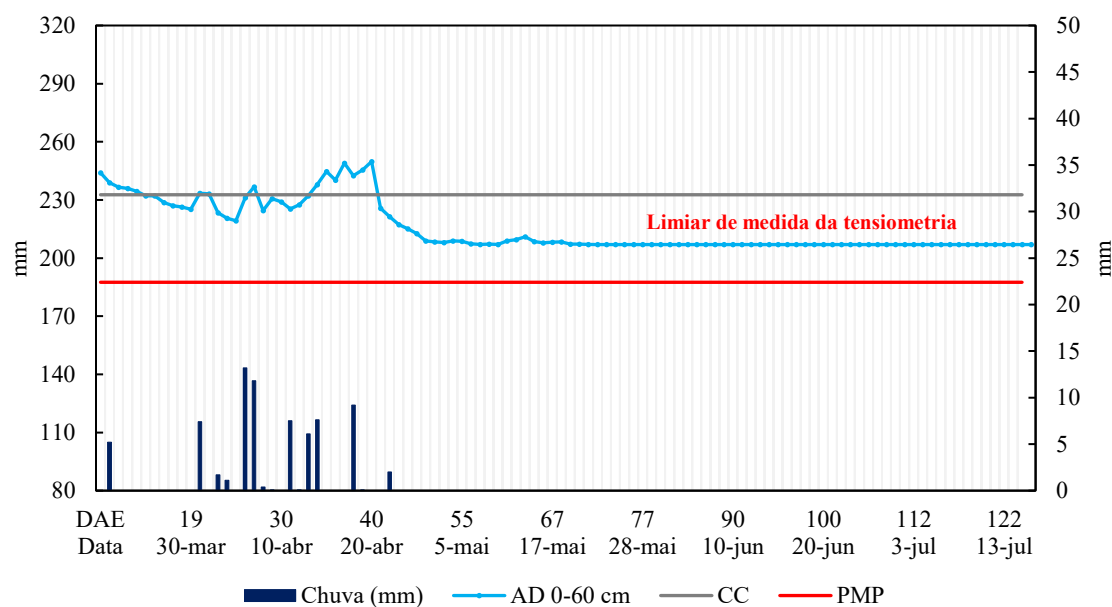


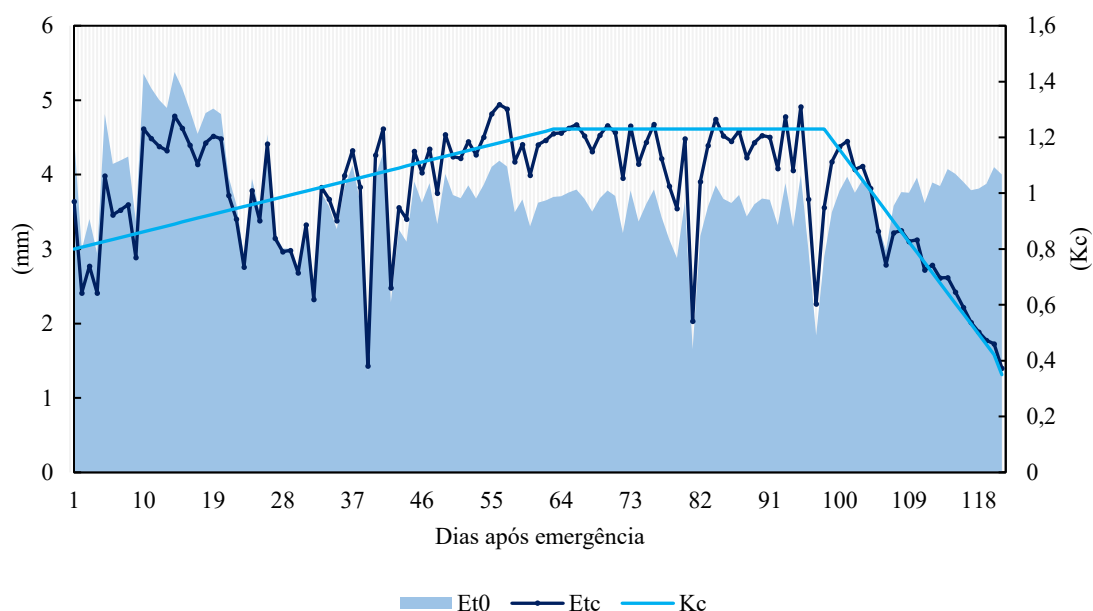
Figura 13: Comportamento da dinâmica da água no solo via SDI no tratamento 4.



A evapotranspiração da cultura – ET_c – foi estabelecida pela relação entre a ET_0 e o coeficiente de cultivo do milho (K_c) – tabelado, correspondendo a 0,8; 1,23 e 0,35 nas fases vegetativa, reprodutiva e maturação, respectivamente, onde: $ET_c = ET_0 \times K_c$

O comportamento da evapotranspiração da cultura do milho segunda safra sob gotejamento subsuperficial ao longo do ciclo pode ser visualizado na Figura 16, onde a evapotranspiração de referência acumulada foi de 448 milímetros, já a evapotranspiração da cultura acumulada foi de 458 milímetros.

Figura 14: Dados do balanço hídrico climatológico ao longo do ciclo da cultura.



5.2. Avaliações de parâmetros agronômicos

Os resultados descritos na Tabela 8 mostram que, no estágio vegetativo V12 não houve diferenças significativas entre os tratamentos para altura de plantas, variando de 143,79 no tratamento sequeiro (T4) a 156,33 cm no tratamento fertirrigado (T2), e IAF, entre

2,69 (T4) e 3,26 (T2). Esta uniformidade inicial se dá devido às boas condições climáticas presentes no início do desenvolvimento da cultura, quando os índices pluviométricos concentrados nos primeiros 50 dias pós emergência foram suficientes para manter teores adequados de água no solo, não influenciando no desenvolvimento da cultura.

Tabela 8. Avaliação de parâmetros vegetativos da cultura no estágio V12.

Tratamento	Parâmetros Vegetativos em V12	
	Altura de Plantas (cm)	IAF
1	153,45 a	3,14 a
2	156,33 a	3,26 a
3	151,45 a	2,85 a
4	143,79 a	2,69 a
5	154,79 a	2,72 a
CV (%)	8,16	14,99

*Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Na fase reprodutiva (VT), observou-se que o tratamento T4 (sequeiro) apresentou altura de plantas significativamente menor (251,5 cm) em comparação aos demais tratamentos, que tiveram média de 275,6 centímetros, representando uma redução de 8,7%. Nos parâmetros de IAF, o tratamento em sequeiro (T4) registrou IAF de 3,83, significativamente inferior aos demais tratamentos (média de 4,65 nos irrigados), representando uma redução de 17,6%, como descrito na Tabela 9. Esta diferença acentuada na fase reprodutiva, não observada no estágio V12 (Tabela 8), evidencia o efeito cumulativo do estresse hídrico no desenvolvimento da cultura. Alguns trabalhos como de Costa; Pinho e Parry (2008), verificaram a redução da área foliar das plantas de milho quando submetidas ao estresse hídrico, bem como Oliveira et al. (2017), que constatou que a irrigação adequada permite maior desenvolvimento do sistema radicular das plantas de milho, melhorando consequentemente o crescimento e desenvolvimento vegetativo, incluindo altura de planta.

É interessante notar que, embora o T4 tenha apresentado menor altura, seu diâmetro de caule foi numericamente superior (27,17 cm), possivelmente indicando um mecanismo de adaptação ao estresse. Os resultados encontrados vão em contrapartida com o que foi observado por Brito et al. (2013), que constatou um incremento no diâmetro de colmo de 0,9 mm a cada adição de 20% na lâmina de irrigação em função da evapotranspiração da cultura. Entretanto, segundo Dutra et al. (2012), o aumento do diâmetro de caule pode estar relacionado com o aumento na concentração de etileno, hormônio produzido em condições de estresse, que leva ao menor crescimento da raiz principal e aumento consequente das raízes laterais e axilares. A altura de inserção da primeira espiga variou entre 123,5 cm (T3) e 131,3 cm (T1). Embora não haja diferenças estatisticamente significativas, observa-se uma tendência de maior inserção nos tratamentos que receberam fertirrigação (T1 e T2), o que pode indicar uma distribuição mais homogênea dos fotoassimilados.

Tabela 9. Avaliação de Altura Média de Plantas (AMP), Altura Média da Espiga (AME), Índice de Área Foliar (IAF) e Diâmetro Médio de Caule (DMC) no estágio VT.

Tratamento	Parâmetros Vegetativos em VT			
	AMP (cm)	AME (cm)	IAF	DMC (mm)
1	277,7 a	131,3 a	4,69 a	26,08 a
2	267,1 a	130,8 a	4,73 a	25,99 a
3	268,0 a	123,5 a	4,75 a	26,06 a
4	251,5 b	130,0 a	3,83 b	27,17 a
5	269,5 a	125,9 a	4,49 a	25,88 a
CV (%)	4,39	5,36	11,81	8,94

*Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Os resultados das avaliações dos componentes de produção demonstraram diferenças significativas no desenvolvimento das espigas entre os tratamentos. O tratamento T4 (sequeiro) apresentou diâmetro de espiga significativamente menor (37,60 mm), representando uma redução de 11,7% em relação à média dos demais tratamentos (42,58

mm), o que pode ser atribuído ao efeito combinado do estresse hídrico na fase de enchimento de grãos e à menor disponibilidade de fotoassimilados. Em trabalho realizado por Biscaro et al. (2008), verificou-se que o aumento da lâmina de irrigação promoveu incremento linear no comprimento das espigas de milho. Os autores registraram médias de 3,7 cm para as maiores lâminas (200% da recomendação), reduzindo gradualmente até 3,4 cm nos tratamentos com menor disponibilidade hídrica (25% da irrigação recomendada), evidenciando a sensibilidade deste parâmetro às condições de umidade do solo durante o ciclo da cultura.

A redução no comprimento das espigas, que pode chegar a 11,6% no caso do T4, está diretamente relacionada com a diminuição da fotossíntese, resultado do baixo índice de área foliar anteriormente descrito, fenômeno descrito por Rivera-Hernández et al. (2010). Nascimento et al. (2017) também observou resultados que corroboram os resultados descritos na Tabela 10, onde a cada milímetro de lâmina de irrigação aplicado, houve um incremento de 0,01 cm no comprimento das espigas. O autor também destaca as diferenças observadas no índice de espigamento, onde os menores valores foram obtidos com lâmina de 20% e 50% da ETo, destacando o efeito do déficit hídrico durante os momentos de pré-florescimento.

Tabela 10. Diâmetro médio de Espiga (DME), Comprimento Médio de Espiga (CE), Número de Grãos por Fileira (NGF), Número de Fileiras (NF) e Índice de Espiga (IE).

Tratamento	Parâmetros de Espiga				
	DME (mm)	CME (cm)	NGF	NF	IE
1	42,5 a	14,6 a	35,7 a	15,1 a	1,45 a
2	43,2 a	14,9 a	35,7 a	15,2 a	1,33 a
3	41,3 a	13,9 b	33,8 a	14,9 a	1,51 a
4	37,6 b	13,2 b	33,8 a	15,2 a	0,95 b
5	42,1a	14,4 a	35,6 a	15,2 a	1,43 a
CV (%)	3,8	5,4	6,8	3,1	10,9

*Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

Os dados pós-colheita revelaram diferenças marcantes entre os tratamentos, com o T4 (sequeiro) apresentando produtividade ($66,05 \text{ sc ha}^{-1}$) e peso de 1000 grãos ($169,14 \text{ g}$) significativamente inferiores aos demais tratamentos ($p < 0,05$). A redução de 56,6% na produtividade e 28,9% no peso de grãos evidencia o impacto drástico do déficit hídrico nos componentes finais de produção. O tratamento T2 destacou-se com maior massa seca ($163,49$), 23,2% superior à média dos outros tratamentos, indicando um possível efeito do regime de fertirrigação no acúmulo de biomassa, resultado que corrobora com estudos de Haile; Nigussie e Nayana (2012), que constataram que a divisão da dose total de N em três aplicações - 25% na semeadura, 50% no perfilhamento e 25% na antese - resultou em maior acúmulo de biomassa quando comparado à aplicação única. Resultados semelhantes também foram observados por Fernandes et al. (2017), que afirmaram que o fracionamento da adubação nitrogenada proporcionou maior acúmulo de fitomassa na cultura do milho se comparado a aplicações em dose única.

Tabela 11. Avaliação de Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Biomassa por Planta (BP), Peso de Mil Grãos (PMG) e Produtividade no pós-colheita.

Tratamento	Parâmetros Vegetativos na pós-colheita			
	MSPA (g)	BP (g)	PMG (g)	Produtividade (sc ha^{-1})
1	132,74 b	319,52 a	238,31 a	150,43 a
2	163,49 a	349,25 a	254,00 a	143,02 a
3	132,82 b	315,77 a	239,54 a	155,63 a
4	113,41 b	196,68 b	169,14 b	66,05 b
5	121,35 b	312,32 a	246,10 a	154,62 a
CV (%)	10,95	11,83	12,06	22,15

*Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade

5.3. Análise de Viabilidade Econômica

Os resultados obtidos utilizando a produtividade do tratamento sequeiro e as médias de produtividade dos tratamentos irrigados constataram um custo de produção por sacas mais elevado no tratamento sequeiro em comparação aos tratamentos irrigados, como é possível observar na Tabela 13.

Tabela 13. Comparativo de custo de produção em sacas por hectare.

Tratamento	Produtividade (sc ha ⁻¹)	CV/sc (R\$)	CF/sc (R\$)	CT/sc (R\$)
Sequeiro	66,05	53,67	11,62	65,29
Irigado	149,4	30,42	15,18	45,60

Ainda segundo a CONAB (2023), o preço médio de venda da saca de 60 quilos foi de R\$ 48,55 no estado de Minas Gerais no mês de agosto de 2023. Pode-se observar que em condições de sequeiro, considerando a realização de apenas uma safra por ano, os custos de produção são maiores que o preço de venda, consequentemente inviabilizando o cultivo nestas condições. Já em condições irrigadas, mesmo com o custo adicional causado pela instalação e manutenção do sistema, o incremento em produtividade viabiliza o cultivo de milho segunda safra.

6. CONCLUSÕES

Épocas e fracionamentos de adubação nitrogenada podem interferir desenvolvimento de parâmetros vegetativos da cultura. Deste modo, o fracionamento até o estágio fenológico VT através da fertirrigação proporcionou um maior acúmulo de massa seca da parte área, mas não alterou os parâmetros de produtividade da cultura.

A irrigação por gotejamento subsuperficial se mostrou altamente eficiente, tanto nos parâmetros vegetativos quanto reprodutivos, alcançando produtividades significativamente superior em relação ao tratamento sequeiro mesmo com a semeadura sendo realizado fora da janela estabelecida pelo zoneamento agroclimático da região.

Economicamente, a irrigação se mostrou peça fundamental para diminuir os custos de produção por saca, e viabilizar o cultivo de milho segunda safra na região e época em que foram conduzidos os estudos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Paulo Emilio de. Cultivo do Milho: Manejo de Irrigação. **Sistemas de Produção**. 1, [s. l.], ed. 6, 1 set. 2010. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/81707/1/Manejo-irrigacao.pdf?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 11 maio 2025.

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. **Fao, Rome**, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ALVAREZ, V. V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 43-60

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: 2021.

BENDER, Fabiani Denise. **Mudanças climáticas e seus impactos na produtividade da cultura de milho e estratégias de manejo para minimização de perdas em diferentes regiões brasileiras**. 2017. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-20102017-084031/>. Acesso em: 07 nov. 2024.

BISCARO, G. A.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. da. Influência da aplicação de água no milho verde irrigado na região do cerrado Sul-Mato-Grossense. **Agrarian**, Dourados, v. 1, n. 1, p. 67-77, jul./set. 2008.

CARRIJO, Osmar Alvez *et al.* FERTIRRIGAÇÃO DE HORTALIÇAS. **Circular Técnica**, Brasília, DF, v. 32, 12 out. 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/778699/1/ct32.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). Série histórica das safras: milho. Brasília: Conab, [s.d.]. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/910-Milho>. Acesso em: 11 maio 2025.

COSTA, J. R.; PINHO, J. L. N.; PARRY, M. M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 443–450, 2008.

COSTA, Flaviane Malaquias *et al.* Archaeological findings show the extent of primitive characteristics of maize in South America. **ScienceAdvances**, [S. l.], v. 10, p. 36, 4 set. 2024. DOI: 10.1126/sciadv.adn1466. Disponível em: https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adn1466?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%20pubmed. Acesso em: 12 maio 2025.

DUTRA, Carla Cristina; PRADO, Eber Augusto Ferreira do; PAIM, Leandro Ramão; SCALON, Silvana de Paula Quintão. Desenvolvimento de plantas de girassol sob diferentes condições de fornecimento de água. **Semina: Ciências Agrárias, Londrina**, v. 33, supl. 1, p. 2657-2668, 2012. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744117016.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2025.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua en el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 1979. 212p. (Estudio FAO Riego y Drenage, 33).

EMBRAPA. **Qualidade da água para irrigação**. Organizadores: Marcos Vinícius Folegatti et al. Brasília, DF: Embrapa, 2010. 149 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/875385/1/livroqualidadeagua.pdf>. Acesso em: 03, abr. 2025.

KWS SEMENTES. **K7510 VIP3**. Disponível em: <https://www.kws.com/br/pt/produtos/milho/portfolio-completo-milho/k7510-vip3/>. Acesso em: 21 mar. 2025.

F. DE CARVALHO, Daniel *et al.* Evolution and current scenario of irrigated area in Brazil: Systematic data analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, ano 2020, v. 28, n. 8, p. 505-511, 18 nov. 2024. DOI <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n8p505-511>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/qxMMDmGCF3dhS3SDvSMHq4F/?stop=previous&lang=en&format=html>. Acesso em: 18 nov. 2024.

FANCELLI, A.L.; FAVARIN, J.L. **Realidade e perspectivas para o sistema plantio direto no Estado de São Paulo**. In: FANCELLI, A.L., ed., Plantio direto. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1989. p.15-34.

FANCELLI, Antonio Luiz. Ecofisiologia, fenologia e implicações básicas de manejo. In: BORÉM, Aluizio; GALVÃO, João Carlos Cardoso; PIMENTEL, Marco Aurélio (org.). **Milho: do plantio à colheita**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. p. 49–75.

FELIPPE, Gil. **Grãos e Sementes: a vida encapsulada**. São Paulo: Senac, 2007.

FERNANDES, Flávia Carvalho Silva; BUZETTI, Salatiér; ARF, Orivaldo; ANDRADE, João Antônio da Costa. Doses, eficiência e uso de nitrogênio por seis cultivares de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 2, p. 195–204, 2005. Disponível

em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104285/1/Doses-eficiencia.pdf>.

Acesso em: 23 nov. 2024.

FERNANDES, Josely Dantas; CHAVES, Lúcia Helena Garófalo; MONTEIRO FILHO, Antônio Fernandes; VASCONCELLOS, Andreia; SILVA, José Rodrigues Pacífico da. Crescimento e produtividade de milho sob influência de parcelamento e doses de nitrogênio. **Revista Espacios**, v. 38, n. 8, p. 29, 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n08/a17v38n08p29.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2025.

FRANCIS, C.A.; RUTGER, J.N. & PALMER, A.F.E. **A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L.)**. Crop Science, 9:537-539,1969. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2135/cropsci1969.0011183X000900050005x> Acesso em: 05 mai. 2025

FRIZZONE, José Antônio; MELO, Verônica Gaspar Martins Leite de. Produtividade da água na agricultura irrigada. In: PAOLINELLI, Alysson; DOURADO NETO, Durval; MANTOVANI, Everardo Chartuni (org.). **Agricultura irrigada no Brasil: ciência e tecnologia**. Piracicaba: Esalq/USP, 2022. p. 269–287. DOI: 10.11606/9786587391236. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/biblioteca/pdf/4.Agricultura_Irigada_no_Brasil-ciência_e_tecnologia.pdf. Acesso em: 23 abr. 2025.

FORNASIERI FILHO, Domingos. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 576 p.

FRAZÃO, Joaquim J. Frazão *et al.* Fertilizantes nitrogenados de eficiência aumentada e ureia na cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S. l.], p. 1262-1267, 18 jul. 2014. DOI <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1262-1267>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/tmZZ7mtKDyxmw8hTFSZ8sDP/>. Acesso em: 11 nov. 2024.

HAILE, D.; NIGUSSIE, D.; AYANA, A. **Nitrogen use efficiency of bread wheat: Effects of nitrogen rate and time of application.** Journal of Soil Science and Plant Nutrition, v. 12, n. 3, p. 389–409, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.cl/pdf/jssp/v12n3/aop0212.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html>. Acesso em: 6 nov. 2024. (a)

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção agrícola municipal: Tabela 839 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias.** Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/839>. Acesso em: 6 nov. 2024. (b)

LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDÖRFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH₃ na cultura de milho: I. Efeito da irrigação e substituição parcial da uréia por sulfato de amônio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 481–487, 1997. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/F7VjSKLPYSm65RKFGMCzTXh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 abr. 2025.

NASCIMENTO, F. N. do; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; RAMOS, H. M. Desempenho da produtividade de espigas de milho verde sob diferentes regimes hídricos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 1, p. 94-108, 2017. DOI: <https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n1p94-108>.

OKUMURA, Ricardo Shigueru; MARIANO, Daiane de Cinque; ZACCHEO, Paulo Vicente Contador. Use of nitrogen fertilizer in maize: a review. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 4, n. 2, p. 226–244, 2011. Disponível em:

<https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/viewFile/1337/1473>. Acesso em: 18 jan, 2025.

OLIVEIRA, C. A. S., SILVA, E. M. da, ALVES, M. C., & SOUZA, E. G. (2017). **Irrigação e seu impacto no crescimento e desenvolvimento das plantas**. Revista International Journal of Development Research, 7(12), 17790-17794.

PÖTTKER, Delmar; WIETHÖLTER, Sírio. Épocas e métodos de aplicação de nitrogênio em milho cultivado no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 1015–1020, jul./ago. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/CJjNNGXsXWVCVHQwTmJPz5p/?lang=pt>. Acesso em: 23 abr. 2025.

RAINERI, C.; ROJAS, O. A. O.; GAMEIRO, A. H. Custos de produção na agropecuária: da teoria econômica à aplicação no campo. **Empreendedorismo, Gestão e Negócios**, v. 4, n. 4, Mar. 2015, p. 194-211. Acesso em: 11 mai 2025.

RIVERA-HERNÁNDEZ, B.; CARRILLO-ÁVILA, E.; OBRADOR-OLÁN, J. J.; JUÁREZ-LÓPEZ, J. F.; ACEVES-NAVARRO, L. A. Morphological quality of sweet corn (*Zea mays* L.) ears as response to soil moisture tension and phosphate fertilization in Campeche, Mexico. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 9, p. 1365–1374, 2010. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eee/agiwat/v97y2010i9p1365-1374.html>. Acesso em: 15 mar. 2025.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed, Brasília, DF: EMBRAPA, 356p. 2018.

SILVA, Davi José; SOARES, José Monteiro. Fertirrigação. In: SOARES, José Monteiro; LEÃO, Paulo César de Souza (org.). **A vitivinicultura no Semiárido brasileiro**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa Semiárido, 2009. cap. 11, p. 483–

512. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/513969>. Acesso em: 23 abr. 2025.

SILVA, Edson Cabral da. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto sobre Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S. l.], v. 29, n. 3, p. 353-362, 1 jun. 2005. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000300005>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/cq5NLfqMhFQLRxMhBX95pRC/>. Acesso em: 11 nov. 2024.

SILVA, Luiz Eduardo Bezerra; SILVA, José Crisólogo de Sales; SOUZA, Willian Cleisson Lopes de; LIMA, Luan Lucas Cardoso; SANTOS, Rafael Lima Vieira dos. Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de literatura. **Diversitas Journal**, [S. l.], v. 5, n. 3, p. 1636–1657, 2020. DOI: 10.17648/diversitas-journal-v5i3-869. Disponível em: https://www.diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/869. Acesso em: 6 nov. 2024.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance** Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1)

SANGOI, Luís; ERNANI, Paulo Roberto; LECH, Vanderlei Adilson; RAMPAZZO, Clair. Volatilização de N-NH₃ em decorrência da forma de aplicação de uréia, manejo de resíduos e tipo de solo, em laboratório. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 4, p. 687–692, jul./ago. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/KrKZVyqtJ9FBC4tXNTv7rNJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 abr. 2025.