

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

NADIA MENDES DINIZ

DIFERENTES TURNOS DE REGA APLICADOS AO FEIJOEIRO DE
INVERNO SOB GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

Monte Carmelo
2023

NADIA MENDES DINIZ

DIFERENTES TURNOS DE REGA APLICADOS AO FEIJOEIRO DE
INVERNO SOB GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

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 Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Eusímio
Felisbino Fraga Júnior.

Monte Carmelo
2023

NADIA MENDES DINIZ

DIFERENTES TURNOS DE REGA APLICADOS AO FEIJOEIRO DE
INVERNO SOB GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

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 Engenheira Agrônoma.

Monte Carmelo, 20 de junho de 2023

Banca Examinadora

Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Júnior
Orientador

Prof. Dr. Odair José Marques
Membro da Banca

Prof. Dr. Diego Bispo dos Santos Farias
Membro da Banca

Monte Carmelo
2023

AGRADECIMENTOS

Gratidão a Deus por estar vivendo esse sonho e me permitir crescer na Sua presença.

Agradeço ao meu pai Irael Diniz por ser exemplo de pessoa, de humildade e caráter, me ensinando a viver neste mundo. A minha mãe Marilandes Mendes Diniz por nunca soltar minha mão, ouvir minhas histórias todos os dias e compartilhar comigo toda minha jornada. Gratidão por serem os alicerces dessa caminhada.

A minha avó Ana dos Reis Mendes, exemplo de força e fé, por abrir as portas da sua casa para que eu buscasse meus anseios.

Aos meus amigos Maria Clara Gabriel Silva, Michelly de Moraes Ferreira e João Paulo Lima Corrêa por estarmos juntos ao longo destes anos, vivendo a graduação com leveza.

Ao meu orientador Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Junior por todas as oportunidades e apoio concedidas na minha graduação.

A todos os membros do Centro de Inteligência em Cultivos Irrigados e, em especial, ao Paulo Henrique Lacerra Ferrari pela parceria na condução da área experimental com gotejamento subsuperficial.

A Netafim Brasil e a Agrocafé por acreditarem na pesquisa institucional e fomentarem atividades de formação de novos profissionais. Em especial aos Especialistas Agrônômicos Amanda Moreno Carlos e William Damas, por estarem sempre presentes na condução deste projeto. Também ao Eng. Agr. Victor Borges por compartilhar conosco com esmero o manejo da área experimental.

A Universidade Federal de Uberlândia *campus* Monte Carmelo por possibilitar o crescimento de tantas pessoas com ensino impecável. Aos servidores do *campus* por todo apoio nas atividades deste trabalho e pela amizade.

Enfim, agradeço a todos contribuintes na realização deste trabalho e, também, aos que contactei nessa jornada, todos imprescindíveis em minha formação.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	JUSTIFICATIVA.....	8
3	OBJETIVO.....	10
4	REVISÃO DA LITERATURA.....	11
4.1.	Cultura do feijoeiro	11
4.2.	Água no solo	12
4.3.	Água na planta.....	13
4.4.	Irrigação por gotejamento subsuperficial.....	15
4.5.	Irrigação do feijoeiro de inverno	16
5	MATERIAL E MÉTODOS	17
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
7	CONCLUSÕES.....	51
	REFERÊNCIAS.....	51

RESUMO

O manejo correto da irrigação perante a necessidade hídrica da cultura é essencial, haja vista sua influência na produtividade e na eficiência do uso da água. Diante disso, objetivou-se com este trabalho comparar diferentes turnos de rega aplicados ao feijoeiro de inverno sob gotejamento subsuperficial. Constituído por cinco tratamentos distribuídos ao acaso em seis repetições, sendo turnos de rega fixos: T1 - um dia; T2 - três dias e T3 - cinco dias; turnos de rega variáveis estabelecidos de acordo com as características do sistema de irrigação instalado: T4 - 22,2 mm e T5 - 11,1 mm. O trabalho foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Uberlândia *campus* Monte Camelo, em sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial a 0,23 cm de profundidade, com espaçamento de 0,90 m entre tubos e 0,50 m entre emissores autocompensantes com vazão de 1,50 L h⁻¹ e pressão de serviço entre 0,4 a 0,3 bar. A cultivar utilizada foi a Pérola, com espaçamento de 0,45 m entre linhas e população final de 178.000 plantas por hectare. A evapotranspiração da cultura (ET_c) foi determinada pelo método Penman-Monteith aliado a coeficiente de cultivo tabelado. Para monitoramento da umidade do solo foram instalados tensiômetros e sensores Delta T-SM150T. Foram realizadas avaliações de índice SPAD, potencial e conteúdo relativo de água na folha. Nos estádios fenológicos R5 e R8 foram realizadas avaliações de altura de planta, diâmetro da haste, comprimento do entrenó, número de folhas, flores e vagens. Após a colheita foram determinados o número de hastes e vagens por planta, grãos por vagem, massa de 100 grãos, massa seca vegetativa, porcentagem de grãos retidos em peneiras 13, 12, 11, 10 e fundo, além da eficiência no uso da água. A ET_c média do ciclo foi de 5,0 mm, no total de 563,0 mm. Ocorreram 157,1 mm de precipitações pluviométricas, sendo 96,8% no período de maturação da cultura. O aumento da evapotranspiração de referência coincidiu com a ampliação da demanda da cultura, aos 60 dias após a semeadura. Os dados foram submetidos aos testes de: variância, teste de médias, normalidade e homodasticidade, pelos testes F, Tukey, Jaque-Bera e Cochran, respectivamente, realizados por meio do software SpeedStat. Houve diferenças significativas apenas para o comprimento do entrenó no estádio R5, sendo o T4 superior. Os tratamentos T1 e T5 proporcionaram maior manutenção da água disponível do solo. Turno de rega longo, seja fixo ou variável, tende a expor a cultura ao estresse hídrico e, conseqüentemente, diminuir a produtividade. Não houve diferenças significativas entre a adoção dos turnos de rega impostos sobre caracteres agrônômicos e de status hídrico do feijoeiro irrigado por gotejamento subsuperficial. Quanto aos componentes de produção, os números médios de vagens por planta, grãos por vagem, e massa de 100 grãos foram: 14,8; 5,1 e 23,4 gramas, respectivamente. A produtividade máxima entre as parcelas avaliadas foi de 6.159,3 kg ha⁻¹, mínima de 1.328, 5 kg ha⁻¹ e média de 3270,2 ha⁻¹.

PALAVRAS-CHAVE

Palavras-Chave: *Phaseolus vulgaris* L., manejo da irrigação, irrigação localizada.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor mundial de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), com baixa representatividade em volumes exportáveis e produção predominantemente dirigida ao mercado interno. No estado de Minas Gerais a produção do feijão não ultrapassa os maiores estados produtores de feijão no país, sendo eles Bahia, Pernambuco, Ceará e Paraná (CONAB, 2023). Os municípios de Unai e Paracatu são os maiores produtores do estado de Minas Gerais (IBGE, 2021).

O cultivo do feijoeiro no Brasil é realizado em três épocas distintas de plantio: primeira, segunda e terceira safra - também denominada safra de inverno -, com semeadura nos períodos de agosto a dezembro, janeiro a abril e maio a julho, respectivamente. Este cenário conota a variabilidade genética, a plasticidade fenotípica e o curto período de desenvolvimento da cultura, contribuindo para uso em sistema de sucessão. Tais características contribuem para a disponibilidade do grão e regulação de preços no mercado.

Entretanto, devido às baixas precipitações pluviométricas no período de safra de inverno, produtividades satisfatórias estão aliadas ao plantio em época correta e utilização de sistemas de irrigação, fonte majoritária de fornecimento de água à cultura neste período.

Predominante no país, o método de irrigação por aspersão via pivô central ocupa cerca de 70% da área total irrigada, de forma concentrada em regiões planas (ANA, 2021). Em contrapartida, sistemas de irrigação localizada outrora limitados à irrigação em superfície, em cultivos perenes, vêm sendo aprimorados para instalação subsuperficial, apresentando maximização da eficiência do uso da água e insumos, com aplicação na zona radicular das culturas, além de proporcionar manutenção dos tratos culturais em superfície. Economia de recurso hídrico e altos níveis de produtividade são características deste sistema que geram crescimento ascendente no mercado (NASCIMENTO et al., 2020).

Deste modo, o cultivo do feijoeiro de inverno é predominante em áreas sob irrigação por sistema de pivô central, instituindo importante alternativa na sucessão de culturas aos irrigantes. Entretanto, dispondo de desempenho superior, o sistema de irrigação

subsuperficial vêm demonstrando maior incremento de produtividade e eficiência no uso da água em diversas culturas quando comparado aos demais (ÇETIN, KARA, 2019; OLIVEIRA et al, 2019); AYDINSAKIR et al., 2021; WANG et al., 2022)

Todavia, o desempenho da cultura sob sistema de irrigação é subjugado ao manejo realizado no sistema produtivo. Características físicas e químicas do solo, condições climáticas e atributos do material genético utilizado são atributos decisivos nos resultados gerados na lavoura. Portanto, a disposição de água à cultura deve ser realizada de modo a oferecer condições hídricas necessárias para a máxima expressão do genótipo em campo, em interação com fatores edafoclimáticos.

Neste cenário, perante as mudanças climáticas mundiais, há crescente preocupação com a eficiência no uso da água, exigindo manejo gerador de máxima eficácia, usufruindo de mínimo recurso hídrico. Esta eficiência pode ser maximizada por meio da gestão hídrica nas propriedades (ZAHOOR et al, 2019), regida pelo acompanhamento do funcionamento do sistema de irrigação, das condições edafoclimáticas e da demanda evapotranspirativa dos cultivos.

Dentre este conjunto, tem-se a aplicação de estratégias de turnos de rega fixo, com reposição da evapotranspiração da cultura em períodos determinados ou variáveis), com a taxa evapotranspirativa como parâmetro decisivo para determinação do momento de efetuar eventos de irrigação.

Diante da importância do cultivo do feijoeiro na safra de inverno e dos desafios encontrados no manejo da irrigação visando máxima eficiência no uso da água, há interesse no conhecimento do desempenho da cultura do feijão de inverno sob sistema de gotejamento subsuperficial, bem como a aferição de parâmetros edafoclimáticos pertinentes ao cultivo.

2 JUSTIFICATIVA

O feijão comum está entre as leguminosas mais consumidas no mundo, importante fonte de proteínas e compostos polifenólicos, compondo segurança alimentar e de renda aos

agricultores (GANESAN; XU, 2017). O cultivo do feijão de terceira safra, ou safra de inverno, surgiu no Brasil no início da década de 1980, sugerido por Vieira (1967) como alternativa às áreas favoráveis à irrigação, diminuindo a oscilação de preços e disponibilidade de feijão no mercado, com grãos de melhor qualidade. A produção de terceira safra é ainda caracterizada por maiores produtividades, devido às baixas incidências de doenças e de taxa de aborto de flores e vagens, propiciada por temperaturas amenas e menor intensidade de eventos pluviométricos na colheita (PORTES, 2022).

Dentre as regiões do país, o Nordeste detém a maior área destinada ao cultivo do feijoeiro: 1,46 milhões de hectares, porém sob baixa produtividade: 404 kg ha⁻¹. A produtividade média brasileira do grão é de 880 kg ha⁻¹, a qual, perante projeção otimista de incremento de tecnologias, sofrerá elevação de 65,4%, alcançando 1.350 kg ha⁻¹ em 2050 (ANTOLIN, HEINEMANN, MARIN, 2021).

Todavia, a baixa oferta de água torna-se fator limitante ao desenvolvimento do feijão de inverno, cenário contornado pela adoção de sistemas de irrigação. Contudo, a utilização inadequada do sistema de irrigação pode gerar prejuízos quanto ao desperdício de água e energia, causando lixiviação de nutrientes no solo e, conseqüentemente, menor expressão do potencial produtivo da cultura (DRUGOWICH, D'AURIA, 2017).

O manejo da irrigação é caracterizado por duas premissas: quanto e quando irrigar. A primeira, determinada pela aplicação de água suficiente à demanda da cultura, correspondente à evapotranspiração. A segunda, instituída pelo chamado turno de rega, estabelecido de acordo com características do solo como: densidade, capacidade de campo e ponto de murcha permanente aliados a alguns atributos da cultura, como: evapotranspiração máxima, fator de disponibilidade de água e profundidade efetiva do sistema radicular (SILVEIRA, STONE, 2001).

Silveira et al. (1984) destacou a influência negativa de turnos de rega fixos mais longos sobre a produtividade do feijoeiro de inverno, assim como constatado em forrageiras e nas culturas de milho, tomate, café, batata e melancia (CALDWELL, SPURGEON, MANGES, 1994; WANG, KANG, LIU, 2006; CUNHA et al, 2007; MONTE et al, 2009; CAMARA et al, 2011; FERNANDES et al, 2014; COUTINHO et al, 2015; RODRIGUEZ-ORTEGA, 2017) sob turnos de rega fixos e variáveis.

Arbat et al. (2020) apontou maximização da eficiência no uso da água em sistema de gotejamento subsuperficial quando adotada alta frequência de eventos de irrigação na cultura do arroz. Em contrapartida, estudos apontam maior eficiência no uso da água sob adoção de turnos de rega longos nas culturas do milho, destacando acúmulo de sódio na planta submetida a turnos de rega curtos, acompanhado por menor produtividade (CAVERO, MEDINA, MONTOYA, 2018). Entretanto, não há resultados na literatura sobre o uso da tecnologia com diferentes turnos de rega na cultura do feijoeiro.

Ademais, o conhecimento da influência da frequência de reposição de água no solo constitui medida essencial na busca por rendimentos satisfatórios na agricultura, adequado à metodologia de cada sistema de irrigação (SILVA, NEVES, 2020). Portanto, no cultivo de feijão de inverno, no qual a irrigação representa a majoritariedade na contemplação da necessidade hídrica da cultura, o entendimento da influência dos turnos de rega no desempenho do cultivo sob sistema de gotejamento subsuperficial torna-se essencial para a maximização da eficiência do uso da água, caracterizando medida mitigatória de desperdícios de recursos naturais e econômicos.

3 OBJETIVO

Avaliar os efeitos de turnos de regas fixos e variáveis na cultura do feijoeiro de inverno, irrigado sob gotejamento subsuperficial.

Avaliar o desenvolvimento vegetativo e a produtividade do feijoeiro de inverno irrigado por gotejamento subsuperficial submetido a diferentes turnos de rega.

Avaliar estratégias de manejo da irrigação por gotejamento subsuperficial na disponibilidade de água no solo cultivado com feijoeiro.

Avaliar a eficiência do uso da água em sistema de produção de feijão irrigado por gotejamento subsuperficial com diferentes turnos de rega.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1. Cultura do feijoeiro

De origem Mesoamericana e Andina, o gênero *Phaseolus* compreende 70 espécies diferentes entre as quais tem-se *P. vulgaris*, popularmente denominada feijoeiro comum. Populações selvagens de feijão são encontradas ainda em regiões do México e Argentina, em altitudes entre 500 e 2000 metros de altitude (DEBOUCK, 1986), conotando a aptidão a diferentes ambientes desenvolvida pela leguminosa ao longo da evolução.

A domesticação do feijoeiro comum, iniciada a cerca de 7.000 anos na América Latina (KAPLAN, 1965), propiciou alterações adaptativas viabilizadoras do cultivo nos agroecossistemas, como alterações no hábito de crescimento, deiscência das vagens, sensibilidade ao fotoperíodo, forma da planta, cor dos grãos e dormência das sementes (BELLUCCI et al, 2014).

Pertencente à família Fabaceae, o feijoeiro comum é uma planta herbácea, de porte ereto ou rasteiro, hábito de crescimento determinado (crescimento vegetativo cessa após florescimento), indeterminado (crescimento da parte aérea perdura após florescimento) ou semi-indeterminado. O ciclo de desenvolvimento varia entre 65 e 120 dias, de acordo com as condições edafoclimáticas e as cultivares.

A maior densidade do sistema radicular está nos primeiros 20 cm do solo (FERREIRA et al, 2021) e o aparato foliar é composto por um único par unifoliolado, de origem embrionária, seguido de trifólios com estípula, raque, pecíolo e pulvínulos, sendo a área foliar variável em função de fatores ambientais (SANTOS, 2021).

Estas características morfológicas do feijoeiro são direta e indiretamente influenciadas por fatores bióticos e abióticos. Dentre estes, destaca-se a disponibilidade de água condizente à demanda hídrica da cultura, crucial nos processos de divisão, expansão e diferenciação celular, sendo estes severamente afetados pela escassez de água, quando há queda na pressão de turgor (TAIZ et al., 2021; KHATUN et al., 2021).

Portanto, o estresse hídrico prejudica o crescimento do sistema radicular e vegetativo, gerando alterações na arquitetura do feijoeiro e, conseqüentemente, diminuição da biomassa e menor produtividade (DURIGON et al, 2019; ABEBE et al, 2020). Ademais, em condições de estresse hídrico, as propriedades químicas e físicas dos grãos sofrem depauperamento, prejudicando o fornecimento de vitaminas e minerais essenciais na alimentação (SILVA et al., 2020).

4.2. Água no solo

Em situação de contato de massa de água com o solo, serão desencadeados processos de distribuição desta entre os coloides do solo, por meio de processos denominados: infiltração, evaporação, redistribuição e absorção pelas plantas. O primeiro deles, a infiltração, é caracterizada pela entrada de água no solo, com duração dependente da quantidade de água aplicada. A infiltração pode ser horizontal (regida pela gravidade), vertical descendente ou vertical ascendente (regidas pela capilaridade). Em curtos períodos de disponibilidade de água, os três tipos de infiltração coexistem com a mesma velocidade (REICHARDT, TIMM, 2022).

Concomitantemente à entrada de água no solo via precipitação ou irrigação, os macroporos atuam na infiltração gravitacional da água, enquanto os microporos agem por capilaridade, movimentando a água horizontal e ascendentemente (LIBARDI, 2005). Deste modo, a taxa de deslocamento da umidade é definida pelo tamanho e continuidade dos poros, logo, a infiltração de água está intimamente ligada às propriedades físicas do solo (BARRY, 2021).

Portanto, solos argilosos, com mais microporos, tendem a reter água satisfatoriamente quando comparados aos solos arenosos, onde predominam macroporos, com maior taxa de drenagem (LAMBERS, OLIVEIRA, 2019). Compensatoriamente, o armazenamento de água no solo é exercido pelas denominadas forças matriciais, também denominado potencial matricial do solo, representado pela atratividade entre a fração sólida do solo e as moléculas de água por meio das propriedades de adesão e coesão (GLIŃSKI, LIPIEC, 2018).

Em conseguinte, a saída de água do solo pode ocorrer por evaporação, fenômeno caracterizado pela passagem do estado líquido para o estado gasoso, a qual ocorre na superfície foliar quando a esta intercepta a água proveniente de irrigação ou precipitações pluviométricas, ou no solo, decorrente em maior fração nos macroporos (ZHOU, 2020). A taxa de água perdida por evaporação está sujeita a demanda evaporativa da atmosfera, regulada pela temperatura e radiação solar, velocidade de infiltração e do poder de retenção da camada de solo em contato com a fonte de água, via irrigação ou precipitação pluvialétrica (NOVÁK, HLAVÁČIKOVÁ, 2019; BARRY, 2021).

Além da evaporação, a perda de água do solo ocorre pela absorção por parte das plantas, realizadas pelo sistema radicular, especialmente na camada de 0-20 cm, onde há maior densidade de raízes, seguida da camada de 0-40 cm (ZHANG, PEI, CHEN, 2004; CHENG et al, 2006;; VICENTE et al, 2017; MONTEJO-MARTÍNEZ, 2020). O deslocamento da água do solo para as raízes ocorre por meio da diferença de potencial da água no solo e das raízes (BARRY, 2021), promovido pela transpiração da planta.

Neste contexto, a deposição de água no solo, quando realizada próxima ao sistema radicular e em acordo com a necessidade da cultura, maximiza a absorção da água aplicada pelas raízes, elevando a eficiência da utilização do recurso hídrico (AL-OMRAN et al, 2010; LAMM et al, 2021; PARIS et al, 2018; YANG et al, 2020; MATTAR et al, 2021). Entretanto, a frequência desta reposição é objeto de estudo, para aumento da eficiência no uso da água por métodos de irrigação, como no gotejamento subsuperficial, no qual há priorização da mínima da percolação de água no solo.

4.3. Água na planta

O percurso da água pelo ciclo hidrológico desencadeia uma série de reações promotoras da transformação de energia, sendo as plantas responsáveis pela reutilização de 60% das precipitações pluviométricas (OKI, KANAE, 2006). O movimento da água na planta ocorre por diferença de potencial da matéria úmida, o solo, para a matéria de menor umidade. a atmosfera, (BUCKLEY, 2019). A disponibilidade de água no solo para as plantas

está sujeita à quantidade de armazenamento de água no solo, sua relação com o potencial hídrico do solo e à conformação espacial das raízes no solo, a qual define a área de exploração do sistema radicular (LAMBERS, OLIVEIRA, 2019).

Darwin & Darwin (1896) percebeu a habilidade das raízes de influírem crescimento em direção a regiões úmidas do solo, distante do solo seco. Essa capacidade, denominada hidrotropismo positivo com sensibilidade proferida pela coifa, permite o desenvolvimento radicular em solos secos, por meio de curvaturas ou crescimento, em direção a regiões úmidas. Em contraste, sob contato com solo úmido, o desenvolvimento é cessado (LAMBERS, OLIVEIRA, 2019). Entretanto, o processo de exploração do solo gera custo energético às plantas, conferindo redução do crescimento da parte aérea e direcionamento das fontes energéticas como amido e sacarose para as raízes, diminuindo a área foliar (DU et al, 2020; ZIA et al, 2021).

Após a absorção pelas raízes, a condução de água nas plantas é regulada pelo mecanismo da transpiração, o qual possui regulação regida pela abertura estomática, que por sua vez é coordenada pelo deslocamento das paredes das células guarda, gerando fluxo de condução de água das raízes às folhas (BUCKLEY, 2019). Cerca de 200 a 400 moléculas de água são perdidas para cada molécula de CO₂ obtida pelos estômatos (PITTERMANN, 2010), evidenciando a importância deste recurso hídrico para as plantas. Deste modo, a atividade metabólica das plantas decai substancialmente à medida que a água armazenada no solo decresce (ALFONSO, BRÜGGEMANN, 2012; LUO, ZHANG, ZHANG, 2016).

A intensidade da transpiração é afetada, entre outros fatores, pelas variáveis climáticas, sendo elas: a temperatura, déficit de pressão de vapor e radiação solar (KIRSCHBAUM, MCMILLAN, 2018), os quais influem na formação da diferença de potencial. Logo, o conhecimento e acompanhamento destas variáveis é primordial no estabelecimento de medidas satisfatórias no manejo das culturas (CAMPBELL et al, 2014; HANSEN, 2019) para conhecimento da demanda hídrica das plantas, seguida de reposição assertiva de água no solo em quantidade e momento adequados.

4.4. Irrigação por gotejamento subsuperficial

O antigo território da Mesopotâmia, entre os Rios Tigre e Eufrates é considerado o centro de surgimento da agricultura, a cerca de 10.000 anos. Concomitantemente, foram instauradas práticas de fornecimento de água às plantas, por meio de simples desvios de água para cultivos próximos (ANGELAKIS et al, 2020). Destarte, a história da irrigação se emaranha à da evolução humana, vista sua importância no estabelecimento de populações nos mais diversos territórios, viabilizando a produção de alimentos.

Caracterizada pela aplicação de água no solo na quantidade e momento adequados, a irrigação sofreu aprimoramentos ao longo da história, sob a preocupação da aplicação correta para alcance de maiores produtividades e eficiências. Para tanto, foram desenvolvidos métodos de conhecimento da demanda hídrica das culturas, representada simplificada pela evapotranspiração, a qual constitui a água exaurida pela transpiração da cultura somada à evaporação de água do solo (NOLZ, 2016). Atualmente, esta pode ser auferida por meio de sensores instalados em estação meteorológica, lisímetro de pesagem, ou de forma indireta, pela combinação entre a evapotranspiração de referência e o coeficiente de cultivo (SANTOS et al, 2021; SILVA et al, 2022; WANNIARACHCHI, SARUKKALIGE, 2022).

A decisão da quantidade a irrigar nas propriedades é realizada sob auxílio de sensores da umidade do solo: tensiômetros ou sensores volumétricos, que disponibilizam o status hídrico do solo de acordo com a curva de retenção de água ou calibração, respectivamente (AZEVEDO, SILVA, 1999). Além destes, o uso de balanço hídrico climatológico constitui ferramenta amplamente empregada, baseada na estimativa da dinâmica da água, usufruindo de dados climatológicos de entradas e saídas de água no sistema (LOPES, 2004; RODRIGUES et al, 2019; PEREIRA, PAREDES, JOVANOVIC, 2020).

Perante o desafio de disponibilizar água às plantas, a evolução dos métodos de irrigação proporcionou o estabelecimento dos sistemas atuais: irrigação por inundação, pivô central, aspersão convencional, gotejamento superficial e subsuperficial. A irrigação via sistema de gotejamento proporciona distribuição de água em área próxima sistema radicular das plantas, com maior frequência e baixa vazão (MENEGASSI, 2022). Este modo de funcionamento garante a formação de bulbos molhados no solo, com variações de forma e

velocidade de formação de acordo com as propriedades físicas do solo. Deste modo, solos de textura arenosa carecem de tubos gotejadores com menor espaçamento entre si, ao mesmo tempo que solos predominantemente argilosos podem usufruir de espaçamentos maiores (MAIA et al, 2010).

O sistema de gotejamento subsuperficial consiste na instalação dos tubos gotejadores abaixo da superfície do solo, sob as premissas de diminuição de danos causados por agentes externos recorrentes no gotejamento superficial e aplicação de água e insumos na zona radicular, diminuindo a evaporação e a competição com plantas infestantes e aumentando a eficiência e economia (SIDHU et al., 2019; PAOLINELLI, DOURADO NETO, MANTOVANI, 2022).

Entretanto, a eficiência no uso da água no sistema de gotejamento subsuperficial está sujeita ao movimento da água no solo, necessitando de manejo maximizador da promoção de redistribuição capilar, movimento horizontal e ascendente da água para formação de bulbos molhados na zona radicular com mínima percolação, conservando umidade do solo ideal à cultura (LAMM, CAMP, 2007).

4.5. Irrigação do feijoeiro de inverno

A necessidade hídrica do feijoeiro é mutável de acordo com a duração do ciclo, cultivar, local, características do solo e umidade. A cultivar influencia na perda de água em razão da superfície de absorção da energia solar, representada pelo índice de área foliar. Equitativamente, a densidade, eficiência de absorção e profundidade do sistema radicular determinam o consumo de água pela cultura (SILVEIRA, STONE, 2001). Perante estas características, Doorenbos e Kassam (1979), alinhados à Touil et al. (2022) estabeleceram o requerimento máximo de água da cultura do feijoeiro entre 300 a 500 mm.

Segundo Stone e Moreira, o feijão de inverno demanda 3 mm dia⁻¹ de água da germinação ao florescimento, seguida de 6 mm dia⁻¹ nas fases seguintes. Este comportamento é desencadeado pela curva demonstrada no Kc da cultura, sendo que apresenta menor valor no período vegetativo, seguido de maior valor no florescimento, com queda nos estádios de

maturação (ALBUQUERQUE, GUIMARÃES, 2004). Esta queda na do Kc na fase final é consequência do estágio da queda das folhas em função da translocação de matéria seca para os grãos (GUERRA et al, 2003).

A indisponibilidade de água no solo, caracterizada pela evapotranspiração superior à absorção pela planta, afeta a cultura do feijoeiro em todas as fases de desenvolvimento, sendo a severidade dos danos dependente da intensidade e, frequência, duração do estresse e da fase fenológica na qual ocorre (ARRUDA et al, 2018), em virtude de sua baixa capacidade de restabelecimento após déficit hídrico e ao limitado desenvolvimento radicular (FRANCISCO et al. 2016). Sob condições estresse hídrico, o feijoeiro tende a florescer precocemente e enchimento de grãos é reduzido, gerando senescência prematura (NUNEZ-BARRIOS, 1991).

Número de folhas e vagens, altura de plantas e crescimento do caule são aspectos influentes na produtividade, também afetados pela baixa disponibilidade de água em relação à demanda do feijoeiro. Entretanto, quantos aos fatores de produtividade, o número de vagens por planta caracteriza variável notadamente influente na produtividade e sensível à escassez hídrica, relacionada ao déficit na fase de floração, relacionada à abscisão das flores, além do pronunciamento da alteração na arquitetura das plantas e na qualidade química e fisiológica dos grãos (LIBARDI, 1996; DURIGON, 2019; SILVA et al. 2020). Portanto, a disponibilidade, bem como a frequência na aplicação de água influenciam no desempenho da cultura (VALERIANO et al, 2019), sendo necessários estudos fomentadores de medidas coerentes de manejo da irrigação na cultura do feijão de inverno.

5 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Monte Carmelo (18°43'37"S, 47°31'26"W; 900 m de altitude), onde está instalada a área experimental com sistema de gotejamento subsuperficial, com área de 1312 m² (41 m x 32 m), sobre Latossolo Vermelho (SANTOS et al., 2018). O sistema de irrigação subsuperficial utilizado, instalado em 2021, constitui ferramenta destinada a pesquisas sobre o sistema,

perpassando pelos plantios anteriores de milho e soja, nos períodos de safrinha e primeira safra de 2021, respectivamente, onde foram realizados experimentos com quimigação – inseticidas e herbicidas.

A 23 cm de profundidade, constituído por cinco linhas principais com válvulas independentes, o sistema dispõe de cinco tratamentos. Estas são divididas em linhas laterais, sendo três em cada parcela. O sistema possui espaçamento de 0,90 m entre os tubos gotejadores, 0,50 m entre emissores autocompensantes, com vazão nominal de 1 L h^{-1} , pressão de serviço entre 0,4 à 3,0 bar, totalizando 2880 emissores e 1440 m de tubos gotejadores (figura 1).

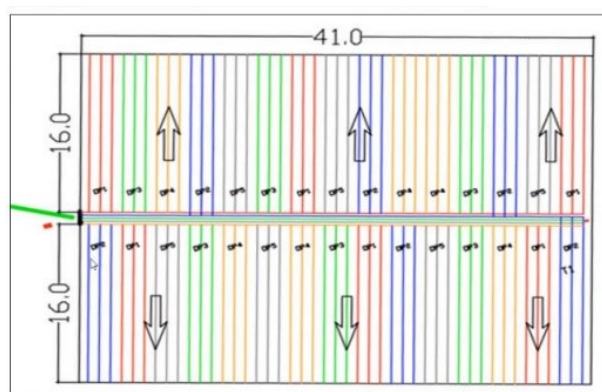


Figura 1: Layout do sistema de irrigação.

Foram avaliados cinco diferentes turnos de rega, fixos e variáveis, com diferentes parâmetros de reposição da água no solo: T1 – turno de rega fixo de um dia; T2 – turno de rega fixo de 3 dias; T3 – turno de rega fixo de 5 dias; T4: turno de rega variável de 22,2 mm e T5 – turno de rega variável de 11,1 mm. A imposição dos tratamentos ocorreu a partir do estabelecimento das plantas e realização da adubação de cobertura (30 DAS).

Os tratamentos foram dispostos em blocos casualizados, com 6 repetições, de acordo com o sistema já instalado (figura 2).

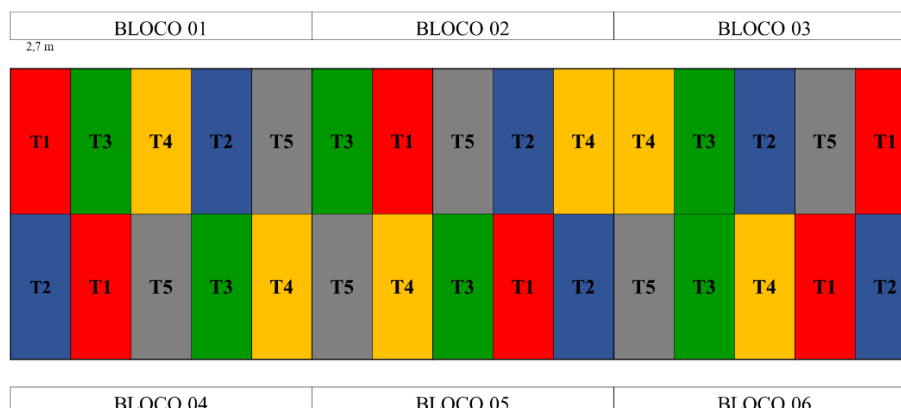


Figura 2: croqui da área experimental com distribuição de blocos e tratamentos.

No período anterior à sementeira foram realizadas lâminas maiores, visando alcance da capacidade de campo do solo em toda a área, igualmente em todos os tratamentos, totalizando 84,3 mm nos 30 dias antecedentes à sementeira.

Sob sistema de plantio direto em processo de consolidação, o manejo químico do solo foi realizado mediante análise laboratorial da fertilidade por meio de amostra composta representando a área experimental. Os resultados obtidos foram interpretados e as recomendações de adubação feitas segundo Alvarez et al., (1999).

Apresentando 47,8% de argila, o solo da área experimental com gotejamento subsuperficial é classificado como argiloso (ALVAREZ et al., 1999). Diante da classificação dos parâmetros do solo, a saturação de alumínio do solo é adequada ao cultivo do feijoeiro (<50%), como recomendado por Alvarez et al. (1999).

Entre os micronutrientes, boro e ferro possuem teores menores, sendo classificados como medianos, além do manganês, enquadrado nesta mesma classificação na camada de 20-40 cm. Ademais, os parâmetros restantes demonstraram conteúdo satisfatório ao feijoeiro. Os parâmetros químicos e físicos do solo, bem como a classificação dos teores de cada componente da análise estão expressos na tabela 1.

Tabela 1: Resultados de análise química e física do solo da área experimental

Atributos	Unidade	Resultados	
		(0 – 20 cm)	(0 – 40 cm)
Areia total	g kg ⁻¹	350,0	350,0
Silte	g kg ⁻¹	175,0	175,0
Argila	g kg ⁻¹	47,8	47,8
pH em água	-	6,0 ^b	6,2 ^a
pH CaCl ₂	-	5,3 ^m	5,4 ^m
P meh.	mg dm ⁻³	23,3 ^a	15,8 ^a
Na	mg dm ⁻³	-	-
K	mg dm ⁻³	193,0 ^{mb}	190,0 ^{mb}
S	mg dm ⁻³	5,0 ^m	5,0 ^m
Ca	cmolc dm ⁻³	3,5 ^b	3,5 ^b
Mg	cmolc dm ⁻³	1,3 ^b	1,2 ^b
Al	cmolc dm ⁻³	0,0 ^{mb}	0,0 ^{mb}
H+Al	cmolc dm ⁻³	1,4 ^b	1,5 ^b
Cu	mg dm ⁻³	4,0 ^a	3,5 ^a
Fe	mg dm ⁻³	27,0 ^m	21 ^m
Mn	mg dm ⁻³	10,3 ^b	5,7 ^m
Zn	mg dm ⁻³	4,5 ^a	4,1 ^a
B	mg dm ⁻³	0,4 ^m	0,4 ^m
M.O	dag kg ⁻¹	2,8 ^m	3,2 ^m
C.O	cmolc dm ⁻³	1,6 ^m	1,9 ^m
SB	cmolc dm ⁻³	5,3 ^b	5,2 ^b
t	cmolc dm ⁻³	5,3 ^b	5,2 ^b
T	cmolc dm ⁻³	6,7 ^m	6,7 ^m
V	%	79,0 ^b	78,0 ^b
m	%	0,0	0,0

^a alto; ^{mb} muito bom; ^bbom; ^m médio.

Foram realizados três eventos de adubação, sendo eles: 190 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio no dia 08 de junho, à lanço; 300 kg ha⁻¹ do formulado 08-30-10 no sulco de semeadura (10 de junho de 2022) e 116 kg ha⁻¹ de ureia à lanço 17 dias após a semeadura (DAS), no estágio fenológico V2. Esta aplicação precoce da adubação de cobertura ocorreu em função da necessidade de irrigação com volume superior para diluição do fertilizante, a qual possivelmente interferiria nos tratamentos

A semeadura foi realizada em 10 de junho de 2022, com auxílio de semeadora de arrasto, em sistema de plantio direto, a 5 cm de profundidade (figura 3).



Figura 3: plantio do feijoeiro por meio de semeadora de arrasto em sistema de plantio direto.

As linhas de plantio foram instaladas paralelas aos tubos gotejadores, com espaçamento de 0,45 m entre linhas. Este espaçamento foi adotado visando a centralização das linhas de plantio em relação aos tubos gotejadores. A cultivar utilizada foi a Pérola, com ciclo de 95 dias, hábito de crescimento indeterminado (entre tipos II e III), porte semi-ereto a prostrado e peso médio de 100 sementes de 27 g (YOKOYAMA et al., 1999).

Durante a fase de estabelecimento da cultura estas lâminas maiores via SDI foram aliadas a irrigações por aspersão, em função da inexistência de cobertura vegetal sobre a superfície, fator limitante na manutenção da umidade do solo onde estavam localizadas as sementes (ALTIERI, 1999).

O manejo fitossanitário foi realizado de acordo com as recomendações pertinentes. A colheita ocorreu em 29 de setembro do mesmo ano, totalizando 109 dias de ciclo.

A determinação da lâmina aplicada foi realizada pelo método do balanço hídrico, com estimativa da evapotranspiração de referência pelo método Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), apresentado na equação 1, com dados obtidos na estação meteorológica localizada na Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, nas coordenadas geográficas: 18°43'38"S e 47°31'20"W.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

Onde:

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

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

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

A evapotranspiração da cultura foi determinada pela relação entre a evapotranspiração de referência e o coeficiente de cultivo do feijoeiro, determinado conforme Guerra et al. (2003), utilizando a equação 2.

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (2)$$

Onde:

ET_c - Evapotranspiração da cultura (mm);

ET_o – Evapotranspiração de referência (mm), e

Kc - Coeficiente do cultivo.

Para monitoramento da umidade do solo foram acompanhados dados provenientes de duas baterias de tensiômetros instaladas nos tratamentos 2 e 5, nas profundidades de 20 cm, 40 cm e 60 cm, aos 47 DAS (Figura 4). As leituras da tensão de água no solo foram realizadas diariamente por meio de tensímetro digital, obtidas em quilopascal e posteriormente convertidas em umidade base volume $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ (%) por meio da curva de retenção de água do solo obtida em laboratório (Figura 3). A partir disso, as umidades de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) foram definidas como 38,7801% e 31,2535%, respectivamente.



Figura 4: bateria de tensiômetros instalada.

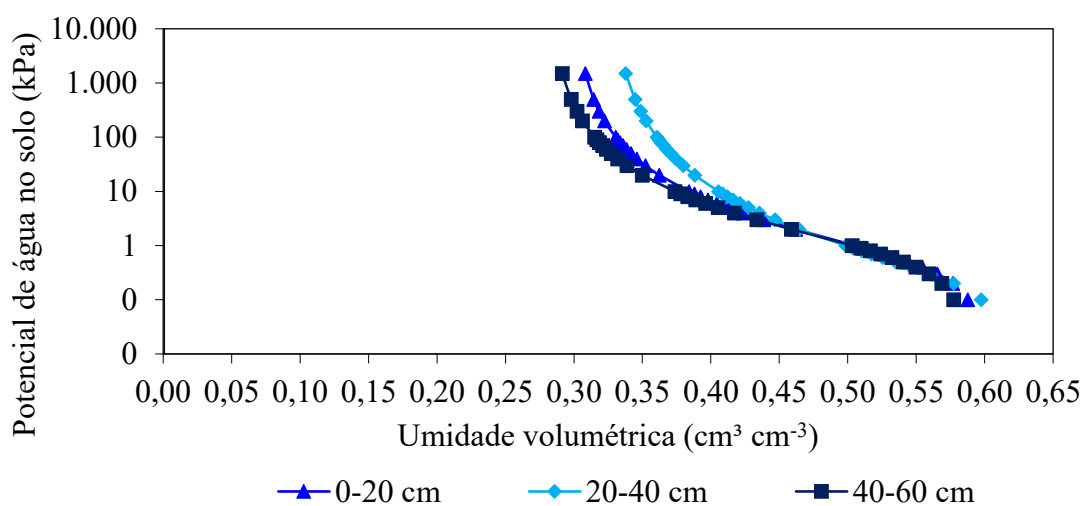


Figura 5: curva de retenção de água no solo da área experimental.

Aliados aos tensiômetros, foram instalados sensores de umidade volumétrica do solo, sensores Delta T SM 150T, conectados ao datalogger PC-200 Campbell. Estes forneceram dados da umidade do solo, com coleta da umidade volumétrica a cada 15 minutos. Foram instaladas duas baterias nas profundidades de 20 cm, 40 cm e 60 cm nos tratamentos 3 e 4. No tratamento 5 foram instalados sensores nas profundidades de 20 cm e 40 cm (figura 6).



Figura 6: instalação dos sensores de umidade volumétrica no solo.

Fornecendo dados em milivolt (mV), foi realizada a conversão das leituras dos sensores Delta T para V por meio da calibragem para $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ou %. Para conversão, foi utilizada a equação recomendada pelo manual técnico do equipamento (Delta-T Devices LTDA, 2022), apresentada na equação 3:

$$\theta_{\text{mineral}} = -0,0714 + 1,7190 * \left(\frac{mV}{1000}\right) - 3,7213 * \left(\frac{mV^2}{1000}\right) + 5,8402 * \left(\frac{mV^3}{1000}\right) - 4,3521 * \left(\frac{mV^4}{1000}\right) + 1,2752 * \left(\frac{mV^5}{1000}\right) \quad 3)$$

Onde:

θ_{mineral} – Umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), e
mV – Tensão observada no sensor do solo (milivolts).

Como meio de aferição do comportamento da cultura sob cada tratamento, foram realizadas avaliações quinzenais de potencial de água na folha (PAF), índice SPAD e conteúdo relativo de água (RWC). Para realização do PAF foram coletados dois trifólios por

parcela ao amanhecer, submetidos à câmara de Scholander. O índice SPAD foi auferido pelo equipamento SPAD – 502 Plus, com quatro amostragens por trifólio em cada parcela.

A avaliação do RWC foi segundo Martínez et al. (2004), empregando a metodologia necessária para aplicação da equação 4, com pesagem realizada em balança analítica de precisão e incubação em BOD (figura 7).

$$RWC = \left(\frac{FW - DW}{TW - DW} \right) * 100$$

Onde:

RWC - Conteúdo relativo de água na folha (%)

FW - Massa fresca do trifólio (g);

TW - Massa túrgida do trifólio, após submetido à água destilada sob 4°C por 12 horas (g) na ausência de luz, e

DW - Massa seca, após 48 horas a 80°C (g).



Figura 7: Aferição da massa de folhas do feijoeiro em balança analítica.

Ainda no sentido de compreender o comportamento da cultura diante dos diferentes turnos de rega empregados, foram realizadas avaliações de crescimento nos estádios fenológicos R5 e R8, correspondendo ao início da floração e enchimento das vagens, respectivamente. Para tanto, foram avaliados os parâmetros de altura de planta (cm), diâmetro de caule (cm), comprimento do primeiro entrenó acima da superfície (cm), número de trifólios,

flores e vagens, sendo avaliadas cinco plantas para a composição da média de cada parcela. Para aferição das variáveis métricas foram utilizadas trenas e paquímetro digital.

Além destes, foram medidos indicadores produtivos do feijoeiro após a colheita, por meio das avaliações: do número de vagens e número de hastes por planta; número de grãos por vagem; massa de 100 grãos e massa seca vegetativa (folhas, vagens e hastes remanescentes), amostrando quatro plantas para constituição da média da parcela. As variáveis métricas foram medidas por régua milimetrada e, variáveis de massa na balança analítica de precisão.

Quanto à qualidade dos grãos perante padrões comerciais, foram verificados os grãos retidos em peneiras de furos oblongos das numerações 13, 12, 11 e 10 e fundo por meio do cálculo da porcentagem de grãos retidos em cada peneira diante da massa total de 100 grãos amostrados.

Ainda foram calculadas a produtividade em kg ha^{-1} e a eficiência no uso da água, esta última sendo determinada razão entre a produtividade e a quantidade de água utilizada (equação 5).

$$EF_{\text{água}} = \frac{P}{L} \quad (5)$$

Onde:

$EF_{\text{água}}$ – eficiência no uso da água (kg mm^{-1});

P – produtividade (kg ha^{-1}), e

L – irrigação (mm).

Por fim, os dados, quando aplicável o emprego de análise estatística, foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p \leq 0,05$). Todas as análises estatísticas de variância, teste de médias, normalidade e homodasticidade, pelos testes F, Tukey, Jaque-Bera e Cochran, respectivamente, foram realizadas no software SpeedStat (CARVALHO et al. (2020).

As variáveis com detecção de anormalidade dos dados e suas respectivas transformações foram: número de vagens em R5 e R8, raiz (y); diâmetro de caule em R5, raiz (y); número de hastes, raiz (y); grãos por vagem, Rank; porcentagem de peneiras 11 e fundo, RT-2.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com os dados obtidos na estação meteorológica, as menores temperaturas do ar (Tar) ocorreram nos dias 09 e 10 de agosto (60 DAS), correspondendo à temperatura mínima (T_{mín}) de 5,25 °C, máxima (T_{máx}) de 19,95 °C e média (T_{méd}) de 14,75 °C. A partir disso as temperaturas tenderam à elevação gradual, alcançando a máxima de 35,05 °C, média de 26,25 °C e mínima de 19,0 °C, nos dias 10, 11 e 12 de setembro, respectivamente (figura 8a).

Para pleno desenvolvimento das culturas, há intervalo de temperaturas delimitado pelas temperaturas basal inferior e basal superior, correspondendo às temperaturas mínima e máxima necessárias para plena realização das atividades metabólicas (OMETTO, 1981). Quanto ao feijoeiro comum, as temperaturas basais inferior e superior são 10 °C e 35 °C, respectivamente (MIRANDA, CAMPELO JÚNIOR, 2010). Medeiros et al., (2000) aponta a necessidade de 1155 graus-dia para ilação do ciclo do feijoeiro. Em contraste, Barbano (2003) considera 1218 graus-dia.

Nos dias subsequentes à menor T_{máx}, esta perpassou por aumento em curto espaço de tempo, chegando a 30 °C no dia 12/08/2022. Este aumento coincidiu com o florescimento da cultura, em estádios fenológicos sensíveis à altas temperaturas e oscilações da mesma (WENT, 1953; DALE, 1964; KONSENS, OFIR, KIGEL, 1991; SILVA et al., 2019).

Entretanto, Hoffmann et al. (2007) e Silva et al. (2019) destacam a cultivar Pérola como tolerante a altas temperaturas nos estádios reprodutivos, explanando a importância do conhecimento das características climatológicas locais aliado ao uso de material genético coadunável.

A UR sofre influência da temperatura do ambiente, gerando reflexos no desenvolvimento das plantas, onde UR inferiores culminam no aumento do gradiente de concentração de água entre a planta e o ar, induzindo a perda de água pela cultura para o ambiente, influenciando na taxa de transpiração das plantas (DALMAGO et al., 2006).

Em relação ao comportamento da UR no período de cultivo do feijoeiro, foram observados maiores valores coincidentes à queda das temperaturas, além do aumento

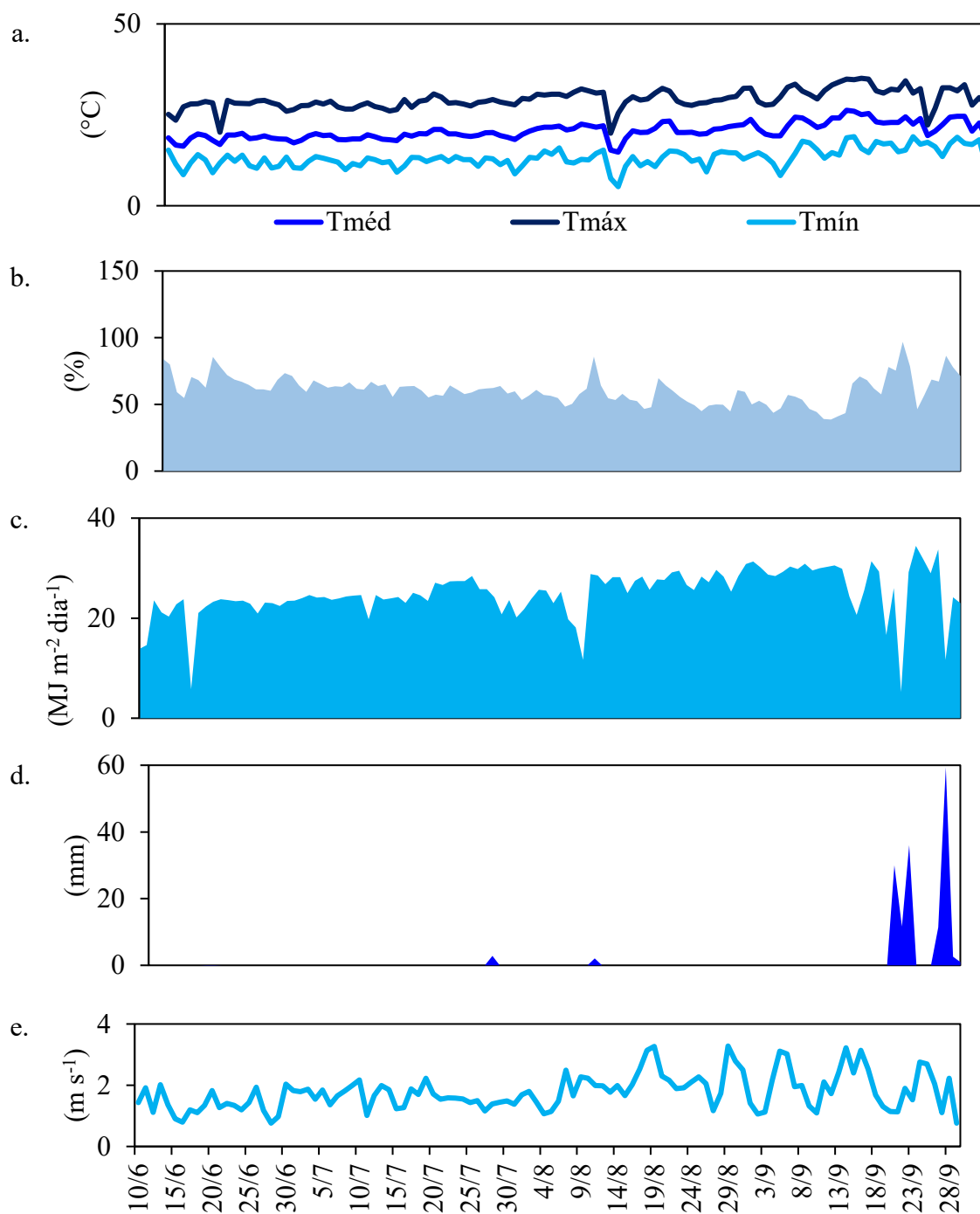


Figura 8: Comportamento das variáveis climáticas **a.** temperatura (°C), **b.** umidade relativa do ar (%), **c.** radiação solar (MJ m⁻²), **d.** precipitações pluviométricas (mm) e **e.** velocidade do vento (m s⁻¹) da velocidade do vento (m s⁻¹) no período de cultivo do feijoeiro.

substancial da UR no período de ocorrência de precipitações pluviométricas, ocorridas no mês de setembro, ao final do ciclo da cultura. O menor dado de UR foi detectado no dia 11 de setembro, correspondendo a 38,7%. Em contraste, a UR superior em todo o período foi de 96,8%, em 21/09/2022 (figura 8b).

Entre as variáveis climáticas abordadas, a radiação solar (RS) é uma das mais influentes na evapotranspiração das culturas no estado de Minas Gerais (LEMOS et al., 2010), influenciando na produção de biomassa pelas plantas (ÁVILA, BARBOSA, 2019). Assim, valores altos de RS culminam em plantas de feijoeiro com folhas menores e, conseqüentemente, menor capacidade fotossintética, em função do baixo ponto de saturação por luz desta cultura de metabolismo C3 (HEINEMANN, STONE, SILVA, 2007; SILVA et al., 2020).

Ao longo do ciclo do feijoeiro de inverno na área experimental, a RS dispôs de comportamento semelhante aos de Tar e UR. A menor RS ($5,2 \text{ MJ m}^{-2}$) ocorreu em 21 de setembro, sob ocorrência de chuvas. Já a maior RS, igual a $34,4 \text{ MJ m}^{-2}$, foi detectada logo em seguida, em no dia 23 do mesmo mês (figura 8c).

Durante o ciclo da cultura a ocorrência de precipitações pluviométricas foi pronunciada no mês de setembro, com acumulado de 157,1 mm, sendo 96,8% deste total ocorridas após 20 de setembro, na fase de maturação da cultura (figura 8d).

Valores de velocidade do vento (VV) superiores a 12 m s^{-1} paralisam o desenvolvimento das flores do feijoeiro, reduzindo em até 35% o número de vagens. Segundo Heinemann, Stone, Silva (2007), VV entre 2 m s^{-1} e 12 m s^{-1} entre os estádios R1 e R3 causam redução no número de flores na cultura, além da influência dessa variável na evapotranspiração, em que VV maiores geram aumento da perda de água pelas folhas.

Durante o desenvolvimento do feijoeiro foram auferidas VV entre $0,7 \text{ m s}^{-1}$ e $3,3 \text{ m s}^{-1}$, com maior intensidade de ventos a partir de agosto (figura 8e).

Além das influências de cada variável climática supracitadas, por meio delas ainda foi calculada a evapotranspiração de referência (ET_o), que aliada ao coeficiente de cultivo, resultou na evapotranspiração da cultura (figura 9). Nota-se, como fruto do comportamento dos dados climatológicos percorridos, a concomitância entre o período de maior demanda hídrica da cultura com o aumento da ET_o, característica do clima local, em função do final

do período de inverno e início da primavera, com $T_{méd}$ aumentando de 21,1 °C em agosto para 23,3 °C em setembro, segundo análise da série de dados de 1999 a 2021 (CLIMATE-DATE.ORG, 2019).

Ao longo do cultivo do feijoeiro a ET_c média foi de 5,03 mm, no total de 563 mm.

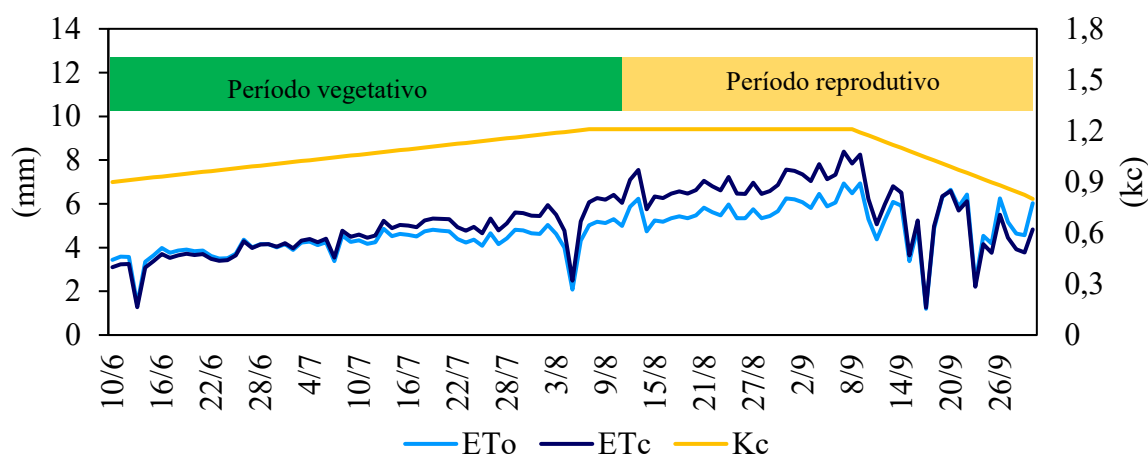


Figura 9: Comportamento da E_{To} (mm), K_c (mm) e E_{Tc} (mm) ao longo do ciclo do feijoeiro de inverno com demarcação dos períodos vegetativo e reprodutivo da cultura.

Em estudo sobre a distribuição da umidade e da água disponível do solo no sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial, Souza, Coelho, Paz (2007) detalharam a concentração da umidade na faixa vertical entre 0,37 m e 0,65 m em Latossolo Amarelo com 42,5% de argila. Ainda foi verificada concentração de 50% da água disponível 0,12 m acima do gotejador e em profundidades superiores a 0,80 m, havendo mínima variação no início e após o evento de irrigação.

De acordo com dados de tensiometria, evidencia-se a responsividade superior das camadas de 20-40 cm e 40-60 cm em relação à de 0-20 cm na utilização do gotejamento subsuperficial, mantendo-se próximas à CC. Além disso, a ausência de leituras superiores à CC evidencia a eficiência da aplicação de água ao longo do ciclo do feijoeiro.

No T2 a camada de 0-20 cm obteve baixa resposta aos eventos de irrigação, com aumento da umidade apenas quando a evapotranspiração atingiu pico e, conseqüentemente, o volume aplicado foi superior em eventos sucessivos de irrigação. Ressalta-se ainda o maior volume inicial de umidade acumulada pelo T5 no início do cultivo, possivelmente em razão

da heterogeneidade de compactação do solo e presença de palhada entre os blocos onde os tensiômetros foram instalados. No T2 as umidades inferiores nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm foram 31,89% (20 de agosto), 34,14% (28 de agosto) e 34,98% (28 de agosto). Em contraste, a maior umidade detectada pela tensiometria em todas as camadas foi 37,37% entre os dias 19 e 24 de setembro, já sob ocorrência de chuvas (figura 10).

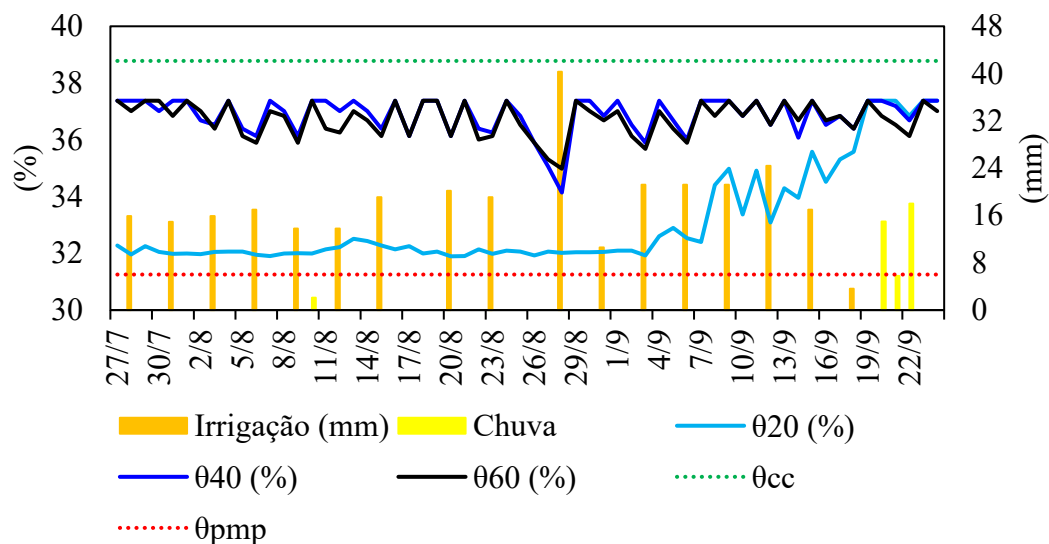


Figura 10: Comportamento da umidade do solo (%) nas profundidades de 20 cm, 40 cm e 60 cm no T2 em contraste às entradas de água no sistema, via irrigações e precipitações pluviométricas (mm).

A queda de umidade entre os dias 23 e 29 de agosto foi causada por restrição hídrica na universidade, afetando todos os tratamentos entre os dias 16 e 28 de agosto. Além disso, as características do sistema instalado permitem o acionamento de apenas uma válvula a cada evento de irrigação e, conseqüentemente, o volume acumulado pelos últimos tratamentos a terem a lâmina aplicada aumentaram.

Em contrapartida, no T5 a resposta da camada 0-20 cm foi superior ao T2 tornando-se inferior no período de maior demanda (figura 11), indicando que o menor volume aplicado via irrigação é eficiente em períodos de menor demanda, sendo defasado com aumento da mesma, sendo necessário aumento do volume aplicado para alcance da camada de 0-20 cm, como relatado por Barros et al. (2009) e Karimi, Appels (2021). Ainda no T5, as menores

umidades nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm foram 31,87% (05 de setembro), 34,51% (29 de agosto) e 34,98% (29 de agosto), respectivamente. A umidade superior alcançada em todas as camadas foi de 37,37%.

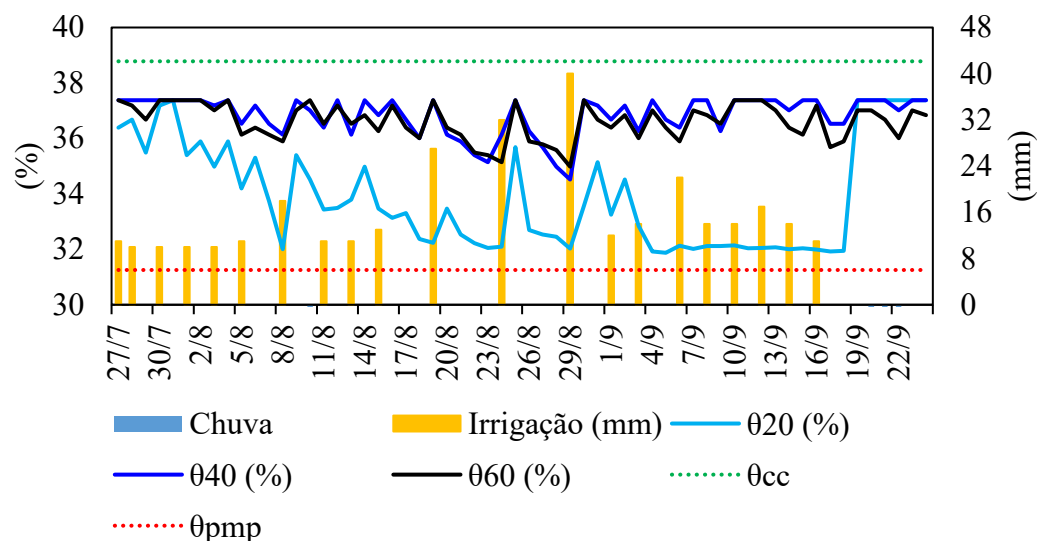


Figura 11: Comportamento da umidade do solo (%) nas profundidades de 20 cm, 40 cm e 60 cm no T5 em contraste às entradas de água no sistema, via irrigações e precipitações pluviométricas (mm).

Os sensores de umidade volumétrica, instalados para comparação com a tensiometria, forneceram dados dos tratamentos T2 e T5, apresentados nas figuras 12, 13 e 14.

No T3 a proximidade da umidade entre as três camadas foi maior, com superior responsividade da camada de 20 cm. Já no T4 a coleta de dados das camadas de 40 cm e 60 cm foi prejudicada, não dispondo de informações confiáveis. Porém, ressalta-se a baixa resposta a 20 cm. Em contraste, no T5 os dados provenientes dos sensores Delta T contradizem a tensiometria, apresentando a camada de 20 cm com umidade superior, acima da CC, indicando inconsistência dos dados.

Assim, evidencia-se a necessidade de instalação de maior número de sensores em campo para alegar as informações percorridas, diante da espacialidade entre os dados

fornechos pelos tensiômetros e sensores Delta T, em decorrência da inviabilidade de instalação de repetições destes equipamentos.

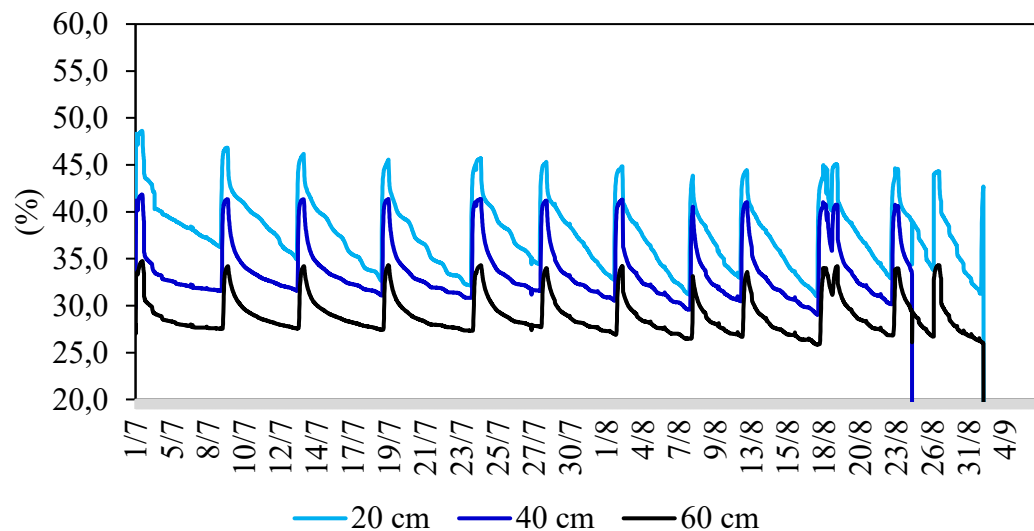


Figura 12: Comportamento da umidade do solo (%) nas camadas de 20 cm, 40 cm e 60 cm no T3.

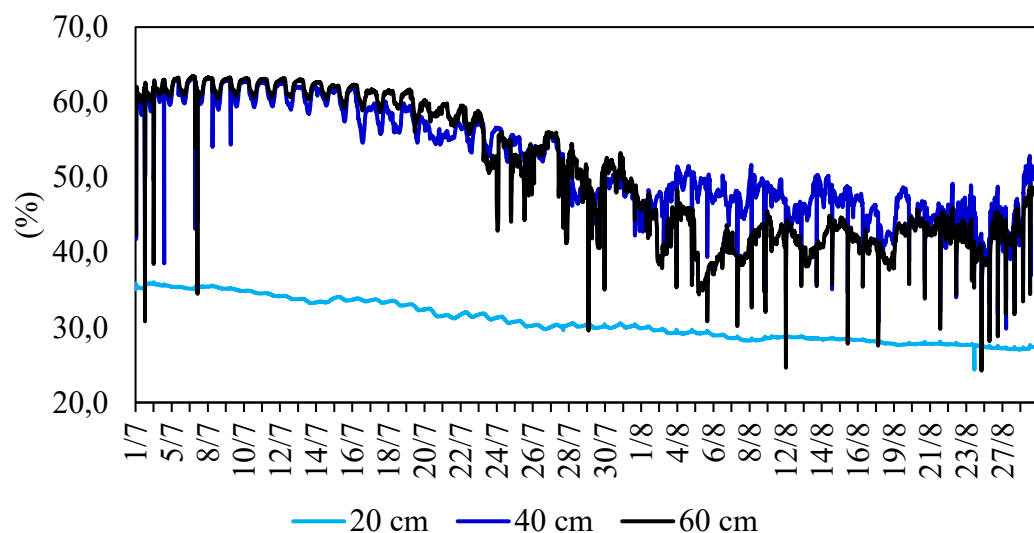


Figura 13: Comportamento da umidade do solo (%) nas camadas de 20 cm, 40 cm e 60 cm no T4.

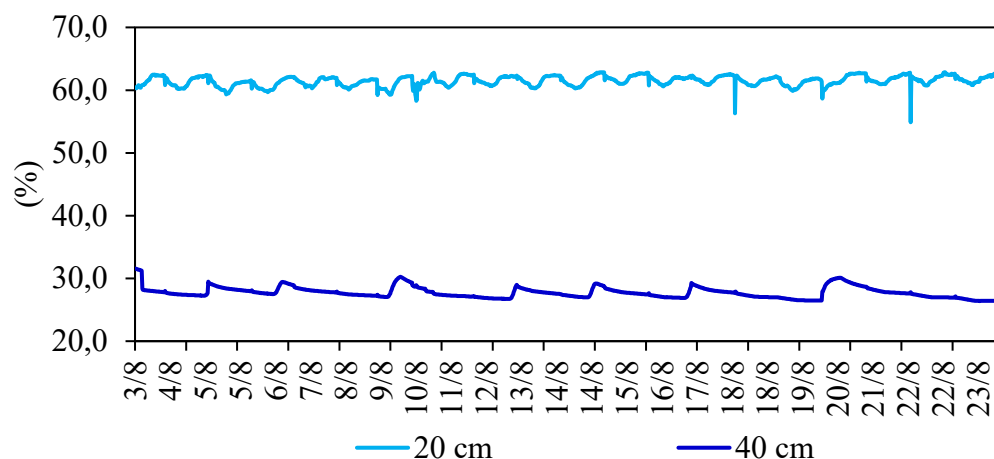


Figura 14: Comportamento da umidade do solo (%) nas camadas de 20 cm e 40 cm no T5.

Comparando o armazenamento de água de cada tratamento obtido por balanço hídrico, o T1 demonstrou comportamento uniforme ao longo do tempo, ocorrendo quedas da água disponível (AD) apenas em momentos de ausência de água para irrigação (Figura 15a). À medida que o intervalo entre irrigações foi estendido – situação representada por T2 e T3 – a AD tendeu à maiores quedas.

Desconsiderando períodos de indisponibilidade hídrica, as menores porcentagens de AD do solo foram 44,2% e 26,8% nos tratamentos T2 e T3, respectivamente (figuras 15b e 15c), ambas no período de aumento da demanda da cultura concomitante ao aumento da ETo (figura 9). Estas condições promovem maior abertura estomática das plantas, amplificando a perda de água pelas folhas (PAIVA et al., 2005). Além disso, teores de água disponível no solo próximas a 10% reduzem significativamente a produção do feijoeiro (KIMANI et al., 2022).

Ao longo do ciclo da cultura, o volume total irrigado em cada tratamento foi de: 672,5 mm; 647,7 mm; 623,7 mm; 636,4 mm e 667,8 mm em T1, T2, T3, T4 e T5, respectivamente. As variações de volume final irrigado entre os tratamentos foram causadas pelo arredondamento das horas irrigadas, gerando pequenas diferenças promotoras no acumulado decorrente.

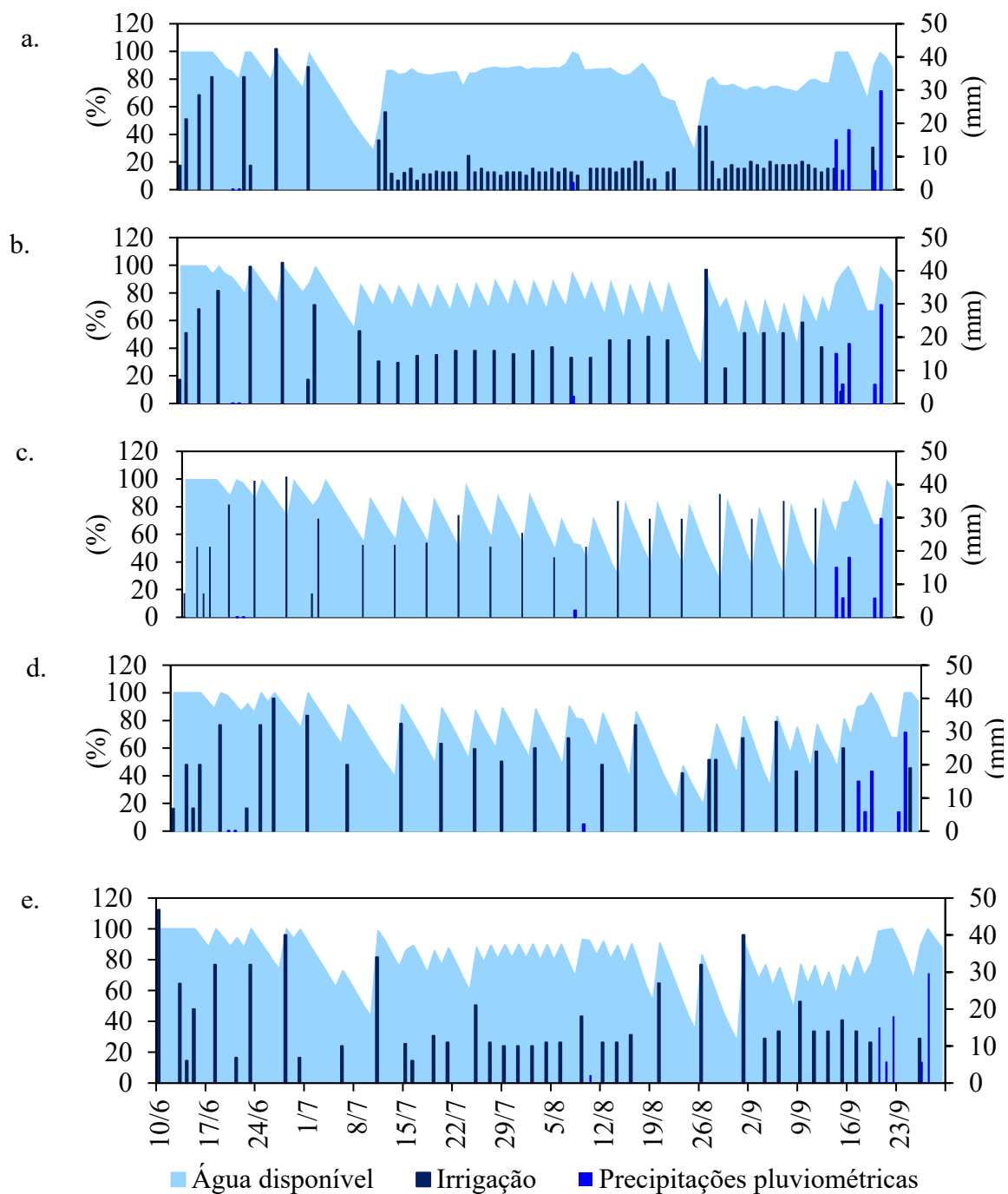


Figura 15: Água disponível (%) em relação ao manejo da irrigação (mm) e ocorrência de precipitações pluviométricas (mm) nos tratamentos **a.** T1, **b.** T2, **c.** T3, **d.** T4 e **e.** T5.

Entre os tratamentos com turno de rega variável, o T5 demonstrou comportamento semelhante ao T1, em função do menor volume necessário para acionamento da irrigação (figura 15e). Ao contrário, o T4 apresentou desempenho análogo ao T3, distanciando-se do mesmo à medida que a demanda da cultura aumentava (figura 15d), chegando a valores próximos de 40% de água disponível.

Baseado na relação entre a pressão hidrostática do fluido xilemático das plantas – determinada pela câmara de pressão de Scholander – e o potencial hídrico foliar, a aferição do potencial de água na folha é utilizado como indicativo do estado hídrico das plantas, sendo referencial à eventos hidrostáticos, matriciais, osmóticos e gravitacionais (SPINELLI, SHACKEL, GILBERT, 2017). Tensões limítrofes à zero conotam conforto hídrico e, quanto mais distantes deste, têm-se aumento do estresse hídrico das culturas (KRAMER; BOYER, 1995), chegando a comprometer o fluxo de água e as trocas gasosas no xilema (GUO et al., 2023).

Em trabalhos da literatura o potencial de água na folha das culturas é alterado quando as plantas passam por irrigação deficitária, afetando a produtividade (ALGHORY, YAZAR, 2019; SOUSA et al., 2019), situação recorrente no cultivo do feijoeiro, sendo turnos de rega longos potencializadores de prejuízos (MORAES et al., 2019; MOTTA, 2022).

Avaliando o efeito de turnos de rega fixos e variáveis no feijoeiro por meio de irrigação subsuperficial, foram realizadas cinco avaliações de potencial de água na folha e não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos de acordo com o teste F ao nível de 5% de significância, resultado encontrado também por Ferreira (2017), quando as plantas de feijoeiro submetidas a diferentes períodos de escassez hídrica, não dispuseram de diferenças significativas para a variável potencial hídrico foliar.

Aos 35 DAS foi encontrado o cenário mais crítico ao feijoeiro durante o ciclo, com os menores valores de potencial hídrico foliar, em decorrência do período de escassez hídrica que o sistema de irrigação enfrentou (figura 16). Nos demais DAS avaliados o potencial hídrico foliar demonstrou estabilidade, com mínima redução aos 65 DAS possivelmente desencadeada pelo início da fase reprodutiva (BASTOS et al., 2008).

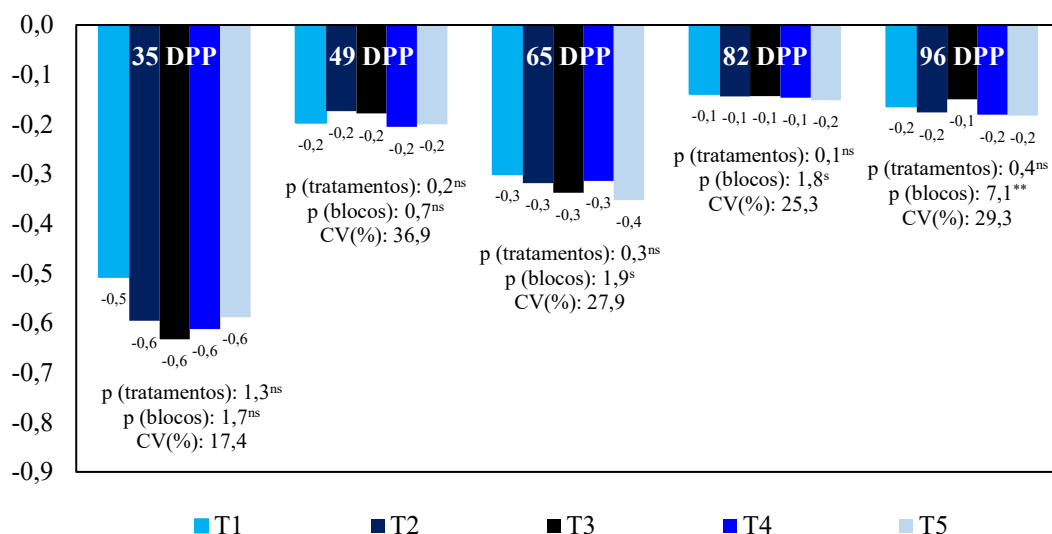


Figura 16: Análise de variância para potencial de água na folha (megapascal) na cultura do feijoeiro sob diferentes turnos de rega ao longo de dias após a semeadura (DAS).

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

^{**}significativo ao nível de 5% pelo Teste F.

O potencial hídrico médio de cada cultura é mutável diante das características individuais do ambiente, especialmente da planta e do solo (LARCHER & PRADO, 2000). Boyer (1978) indica o intervalo letal de potencial hídrico foliar para o feijoeiro comum e feijão-caupi entre -1,5 MPa e -2,5 MPa, valores que, quando comparados aos resultados obtidos, demonstram a indiferença do potencial hídrico foliar do feijoeiro comum em gotejamento subsuperficial, especialmente a cultivar Pérola, a quedas da água disponível do solo geradas pela adoção de turnos de rega fixos de até cinco dias e turnos de rega variáveis, sendo o menor potencial hídrico, no ciclo, igual a -0,8 MPa – no T1 aos 35 DAS.

O RWC expressa a relação entre o volume celular e a interação entre organelas e macromoléculas. Conteúdos de RWC inferiores a 80% ocasionam potencial hídrico inferior a -1,5 MPa, gerando redução da fotossíntese, aumento da respiração, acúmulo de prolina e ácido abscísico (OLIVEIRA, GONZÁLEZ-VILAR, 2001).

Pirzad et al. (2011) desconsiderou o efeito da manutenção de umidades do solo inferiores em até 45% da CC sobre o RWC em plantas de camomila vulgar (*Matricaria chamomilla* L.).

Soureshjani et al. (2019) e Dastneshan et al. (2019) constataram redução do RWC do feijoeiro subjugado a estresse hídrico moderado e severo. Lucena et al. (2023), avaliando a tolerância de genótipos de feijoeiro ao déficit hídrico, verificou impassibilidade no RWC das plantas em situação de reposição de 50% da evapotranspiração.

Não foram encontradas diferenças significativas no RWC do feijoeiro submetido a diferentes turnos de rega, ao nível de 5% de significância pelo teste F (Tabela 3), indicando conforto hídrico da cultura perante os tratamentos impostos.

Concomitantemente aos períodos de menor potencial de água na folha foram detectados os menores RWC, correspondendo aos 35 DAS e 65 DAS (figura 17). Apesar do intervalo do RWC do feijoeiro, em todas as avaliações estar situado abaixo de 80%, os potenciais hídricos foliares não foram menores que -1,5 MPa como disposto por Oliveira, González-vila (2001), expondo a capacidade de manutenção do potencial hídrico foliar da cultura mesmo sob baixo RWC.

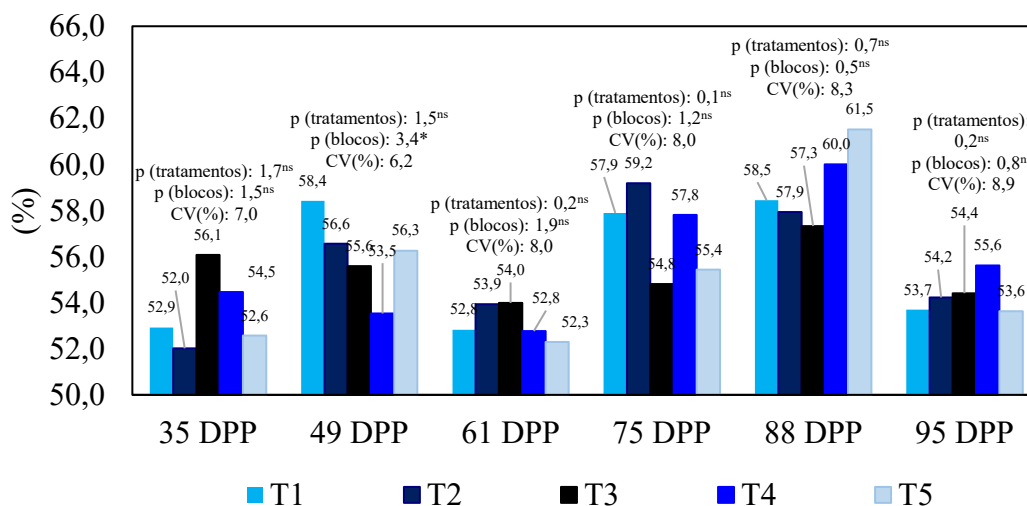


Figura 17: Análise de variância para RWC (%) na cultura do feijoeiro sob diferentes turnos de rega ao longo de dias após-plantio (DAS).

^{ns} não significativo ao nível 5% de probabilidade pelo Teste F.

*significativo ao nível de 5% pelo Teste F.

Para o índice SPAD, a leitura máxima foi de 54,1 nos tratamentos T5 e T4 aos 35 e 52 DAS, respectivamente. No T3, aos 62 DAS foi encontrada a mínima leitura: 29,1, valores

condizentes aos encontrados por Guidorizzi (2019), inclusive para a cultivar Pérola cultivada no Cerrado por Silva et al. (2023).

Este índice possui correlação com o teor de nitrogênio do feijoeiro, sendo utilizado na determinação de aplicações do nutriente na cultura (SILVEIRA, BRAZ, DIDONET, 2003), sendo utilizado também na predição do conteúdo de nitrogênio em outras culturas (MEHRABI, SEPASKHAH, 2022; VIDIGAL, 2020).

Não houve diferenças significativas entre os tratamentos para a variável índice SPAD, pelo teste F ao nível de 5% de significância. Por meio da análise das médias dos tratamentos (Figura 18), nota-se redução do índice SPAD aos 62 DAS em todos os turnos de rega do feijoeiro, com seguinte aumento aos 82 DAS. Silveira, Braz, Didonet (2003) relataram aumento desta variável ao longo dos DAS da cultivar Pérola. Silva et al. (2022) detectaram diminuição do índice SPAD do feijoeiro no estágio fenológico R6 em relação ao V3.

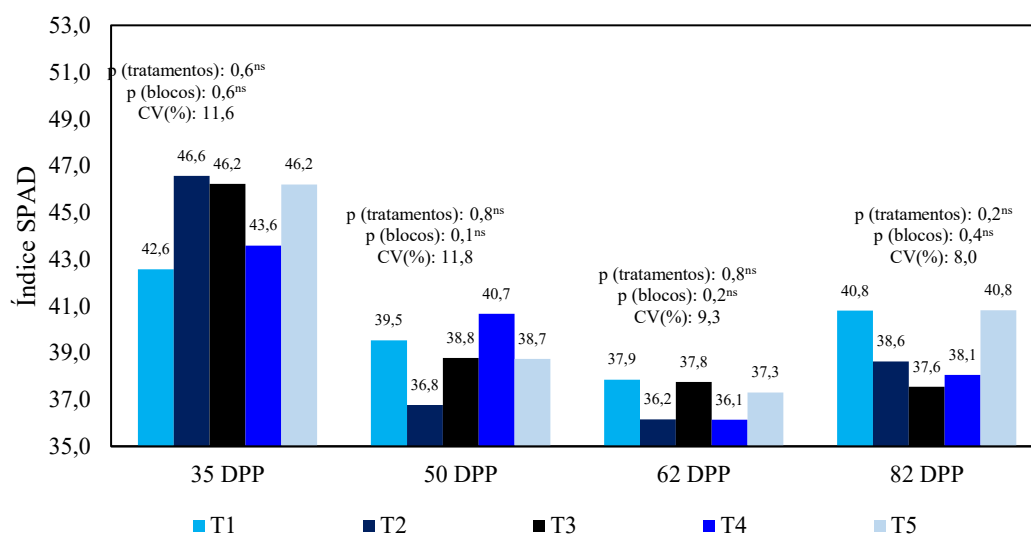


Figura 18: Análise de variância para índice SPAD na cultura do feijoeiro sob diferentes turnos de rega ao longo de dias após-plantio (DAS).

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

Rodrigues et al. (2021) aponta aumento do índice SPAD da braquiária quando a água disponível do solo é reduzida, supondo incremento do aparelho fotossintético pela cultura perante estresse hídrico.

As respostas das culturas ao déficit ou excesso de água no solo dependem duração e intensidade em que ocorrem, da espécie e do estágio fenológico vigente (SEDLARAR et al., 2019). Perante estresse hídrico, o feijoeiro comum responde com acelerado fechamento estomático, reduzindo a fotossíntese e, quando sob déficit hídrico moderado, o crescimento das plantas é comprometido e a área foliar é minorada, comprometendo a produtividade da cultura (NEMESKÉRI et al., 2018; NEMESKÉRI, HELYES, 2019; SANCHEZ-REINOSO et al., 2018).

Conforme Ammar et al. (2015), o retardamento do crescimento da planta condiz à redução da condução de água pelo xilema para as células alongadas abrangentes, comedindo a fase de extensão celular. Silva, Martins (2022) evidenciaram comportamento linear da diminuição do comprimento do caule do feijoeiro perante aumento da severidade do estresse hídrico.

Atrelados ao crescimento do caule, o diâmetro e comprimento do entrenó da haste das plantas refletem as condições hídricas as quais estão expostas, diante das limitações da expansão celular. Conceição et al. (2018) apontou incremento das variáveis altura e diâmetro de caule do feijoeiro comum à medida que a reposição hídrica do solo aumentou. Segundo Valeriano et al. (2019) o turno de rega de quatro dias resultou na redução de altura do feijoeiro em relação aos turnos de um, dois e três dias, sendo detectadas diferenças estatísticas apenas aos 75 DAS.

Sob turnos de rega variáveis de 11,1 mm e 22,2 mm e fixos de até cinco dias não foram encontradas diferenças nas variáveis altura da planta e diâmetro de caule nos estádios R5 e R8 do cultivo do feijoeiro de inverno em gotejamento subsuperficial (figuras 19 e 20), resultado correlativo a Parizi et al. (2007). Houve diferenças significativas na variável entrenó no estágio R5, com equiparidade entre os tratamentos em R8, quando não houve diferenças na referida variável.

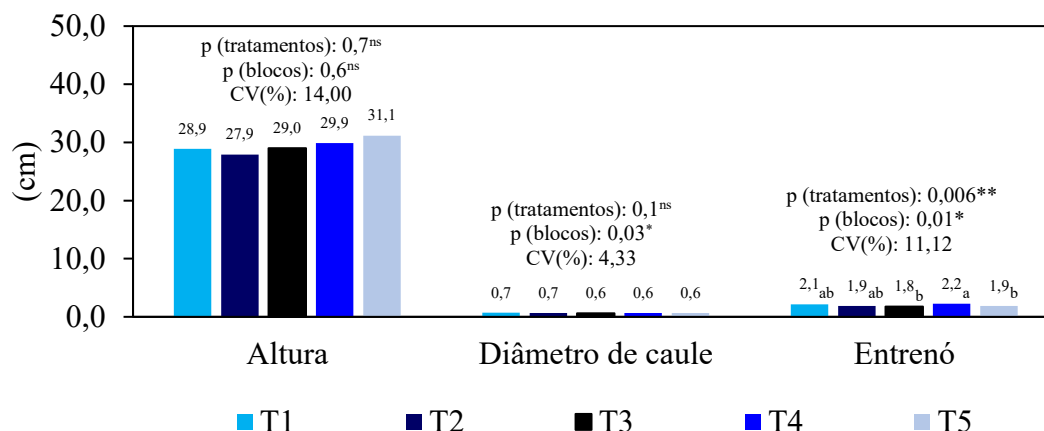


Figura 19: Análise de variância para variáveis vegetativas de feijoeiro comum no estágio fenológico R5, quando sob diferentes turnos de rega, segundo o teste F ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F; *significativo ao nível de 5% pelo Teste F; **significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

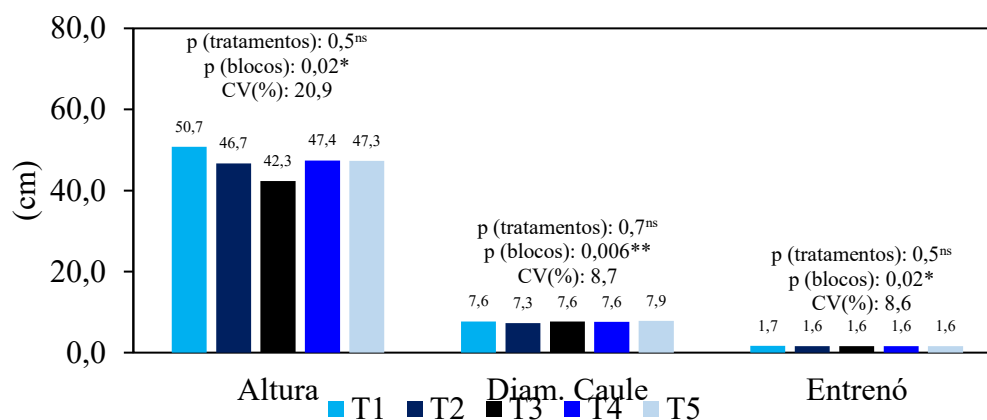


Figura 20: Análise de variância para variáveis vegetativas de feijoeiro comum no estágio fenológico R8, quando sob diferentes turnos de rega, segundo o teste F ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F; *significativo ao nível de 1% pelo Teste F; **significativo ao nível de 5% pelo teste F.

Entrenó mais curto indica plantas eretas, altas, maior diâmetro de caule, mais entrenós no caule e menor número de vagens (MOURA et al., 2013). A redução do entrenó sucede da diminuição do comprimento do parênquima medular e da menor área dos elementos de vaso do xilema. Deste modo, há mais células por área e inibição do crescimento celular (PIMENTA, 2017). Apresentando comprimento de entrenó superior aos demais tratamentos, o T4 conota maior conforto hídrico na avaliação realizada em R5 (Tabela 5). Entretanto, em R8 essa discrepância foi diluída, apontando a ineficiência desta variável na distinção entre os tratamentos.

A similaridade dos dados de altura e diâmetro da haste no estágio R5 podem advir da mínima influência dos tratamentos neste período. Analisando as médias dos tratamentos, em R8 o T1 se sobressai na altura de plantas.

Ao longo dos estádios vegetativos a assimilação e translocação de carbono na planta possui, primariamente, a função de desenvolver área fotossintética. Não obstante, nos estádios reprodutivos há formação das flores e, em seguida, as vagens se tornam os maiores drenos do feijoeiro, utilizando reservas das folhas, que tendem a senescer. A destinação de carbono para as vagens em formação suprime o desenvolvimento de flores, resultando na abscisão floral (GEIGER, SILVA, SALUKE, 1989).

Wolfe et al. (1988) explanaram pronunciamento da abscisão foliar diante de déficit hídrico no enchimento de grãos, sendo ainda aumentada de acordo com o número de grãos por unidade foliar. Beeg, Turner (1976) detalham o mecanismo de senescência das folhas baixas das plantas como resposta à escassez hídrica, visando diminuição da superfície transpirativa.

Apesar de não serem encontradas diferenças significativas pelo teste F entre os tratamentos para as variáveis número de folhas, número de flores e número de vagens por planta nos estádios R5 e R8 (figuras 21 e 22), no estágio R8 os tratamentos T1 e T5 apresentaram maior número de folhas, corroborando com os resultados de Carlesso et al. (2007), onde lâminas menores e mais frequentes culminaram maiores médias de índice de área foliar no feijoeiro. Segundo Alemu et al. (2023), cultivares de feijão submetida a turnos de rega diário apresentaram maior abertura estomática, destacando-se em produtividade.

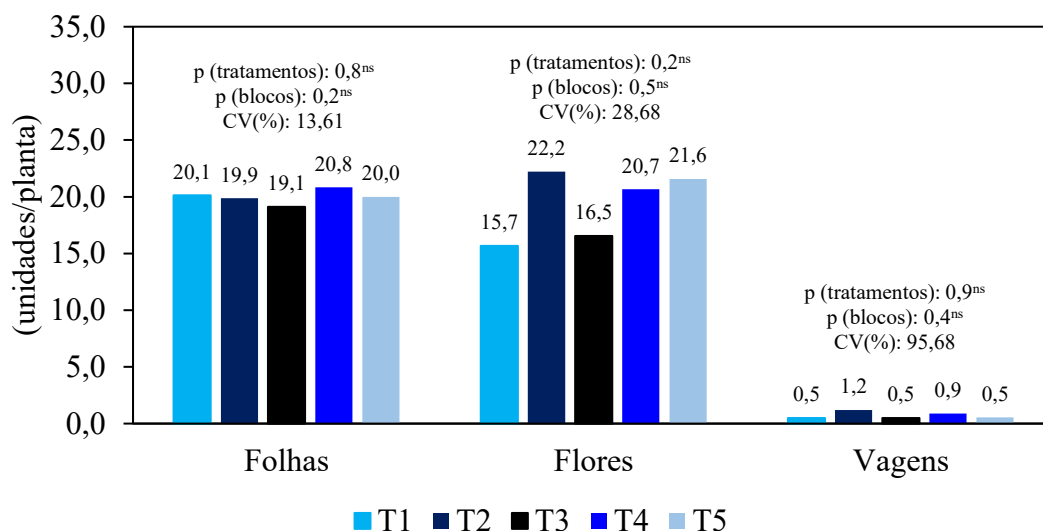


Figura 21: Número de folhas, flores e vagens por planta de feijoeiro comum no estágio fenológico R5, quando sob diferentes turnos de rega, submetido ao teste F ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

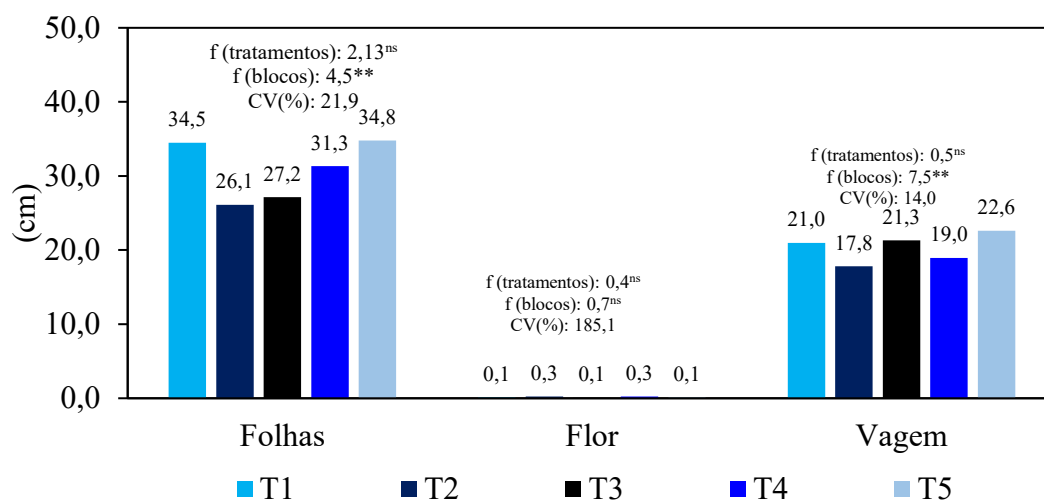


Figura 22: Número de folhas, flores e vagens por planta de feijoeiro comum no estágio fenológico R8, quando sob diferentes turnos de rega, segundo o teste F ao nível de 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F; ^{**}significativo ao nível de 5% pelo Teste F.

Corroborando com estes resultados, Valeriano et al. (2019) apontou inexistência de diferenças significativas para número de folhas do feijoeiro submetido a turnos de rega de um, dois, três e quatro dias.

Os tratamentos T2 e T4 demonstraram unidades de folhas inferiores, decorrendo em menor número de vagens por planta. Já o T3, apesar do número reduzido de folhas e flores, obteve número de vagens semelhante aos demais tratamentos.

Hostalácio, Válio (1984) e Miorini, Saad, Menegale (2011) destacaram o número de vagens como variável fortemente afetada pela escassez hídrica, especialmente quando ocorrida nas fases de vegetativa e de florescimento, fenômeno explicado por Leite, Rodrigues, Virgens Filho (2000) como alternativa tomada pela planta para amenizar a baixa disponibilidade de água.

Para as variáveis número de vagens e hastes por planta e número de grãos por vagem, não foram encontradas diferenças e entre os tratamentos ao nível de 5% de significância pelo teste F (figura 23). A média geral do número de grãos por vagem da área experimental foi de 5,1, sendo este componente destacado por Ramos Junior, Lemos, Silva (2005) e Zilio et al. (2011) como fortemente influente na produtividade da cultura, aliado a massa de 100 grãos.

Aleman, Mignacca (2015) encontraram diferenças significativas para número de grãos por vagem na cultivar Pérola sob manejo de irrigação, com incremento diante de lâmina de 75% da ETc. Torres et al. (2013) aponta correlação positiva entre a variável e incrementos da lâmina de irrigação.

Segundo Nascimento; Pedrosa; Tavares Sobrinho (2004) o estresse hídrico pode desencadear restrição da atividade fotossintética e desenvolvimento do feijoeiro, atenuando o número de grãos por vagem. Deste modo, diante dos resultados apresentados na figura 23 não houve restrição hídrica à cultura irrigada sob os tratamentos capazes de interferir nesta variável.

A restrição hídrica afeta penosamente a quantidade de vagens produzidas pelas plantas, comprometendo a produtividade (CHAVOSHI et al., 2016). Souza et al. (2020) apontou relação positiva entre número de vagens por planta e grãos por vagem com a produtividade do feijoeiro, sendo estas variáveis pronunciadas no tratamento com turno de rega de oito dias em contraste a tratamentos com intervalo de um e quatro dias entre os eventos de irrigação.

Esta situação foi explicada pelos autores como incremento do desenvolvimento do sistema radicular como resposta das plantas à menor disponibilidade de água no solo, embasados no trabalho de Fara et al. (2019).

Os tratamentos T1 e T5 apresentaram maior média de número de vagens por planta comparado aos demais, indicando conforto hídrico nestes ambientes, evidenciado pela maior estabilidade da água disponível no solo (figuras 15a e 15b). Apesar da não existência de diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 5% de significância pelo teste F, nota-se defasagem do T4 de aproximadamente 1,9 vagem planta⁻¹ em relação ao tratamento de maior média desta variável. Os valores médios de vagem planta⁻¹ e grãos vagem⁻¹ da cultivar utilizada (Pérola) cultivada na safra de verão são de 14,0 e 5,5 respectivamente (RAMOS JUNIOR, LEMOS, SILVA, 2005).

Ferreira (2017) não encontrou diferenças significativas no número de hastes das cultivares IAC Imperador e IAC Milênio submetidas a intervalos de irrigação de quatro, oito, doze e dezesseis dias. Segundo Oliveira (2018) a coarctação hídrica interfere no número de hastes das plantas de acordo com a intensidade em que ocorre. Logo, diante dos tratamentos impostos e dos resultados obtidos, não houve restrição hídrica à cultura suficiente ao comprometimento da emissão de hastes pelo feijoeiro (Figura 23).

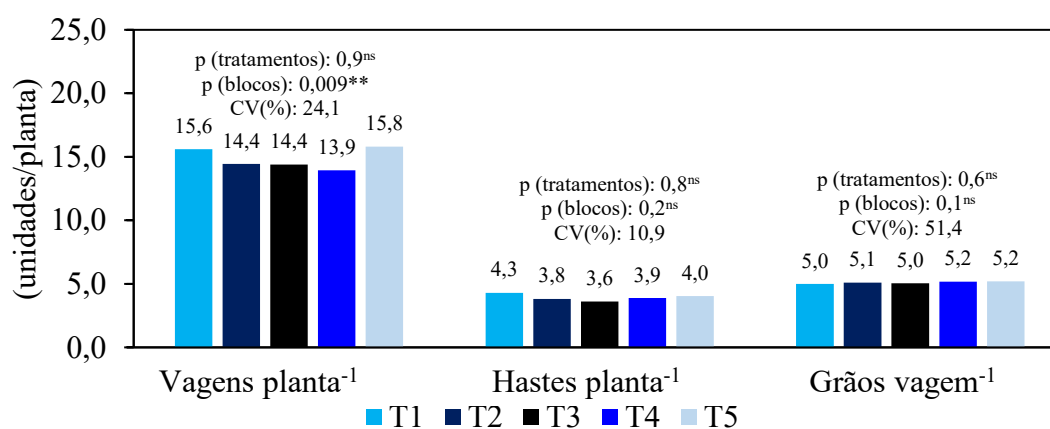


Figura 23: Número de vagens por planta, número de hastes por planta e número de grãos por vagem do feijoeiro comum sob diferentes turnos de rega, segundo o teste F ao nível de 5% de significância.

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F; **significativo ao nível de 1% pelo teste F; *significativo ao nível de 5% pelo Teste F.

Ao longo do ciclo de desenvolvimento as plantas realizam eventos metabólicos complexos relacionados à produção de fotoassimilados com o objetivo de alcançar o período reprodutivo e, por meio de estruturas propagativas, perpetuarem sua espécie. Os órgãos vegetais capazes de fixar e assimilar o carbono são denominados fonte, sendo o material resultante metabolizado neste local ou exportado.

Em contraste, órgãos metabolizadores ou armazenadores de açúcares necessitam de sua importação, cognominados dreno. Diante da cadeia de eventos fisiológicos ocorridos ao longo do ciclo das plantas, há alterações nas relações entre fonte e dreno. A planta pode ser caracterizada como um conjunto de fontes e drenos, onde os drenos emulam pelos açúcares advindos das fontes (BHATLA et al., 2018).

Em face a estresses algumas culturas mantém a taxa de acúmulo de matéria mesmo em alternância entre órgãos na relação fonte-dreno, sendo capaz ainda de mobilizar reservas para tal finalidade (BLUM, 2005; SILVA, 2018). Assim sendo, em condições de déficit hídrico os órgãos primários das plantas tendem a remobilizar seus componentes aos componentes jovens, garantindo a perpetuação da espécie (PALARETTI et al., 2015). Portanto, neste caso, os drenos são os tecidos minimamente prejudicados (HAGEMAN, VAN VOLKENBURGH, 2021).

Avaliando genótipos de feijoeiro, Hageman, Urban, Van Volkenburgh (2019) ressaltaram a equivalência de mobilização de fotoassimilados entre folhas e grãos no feijoeiro sob estresse hídrico, ou seja, plantas com redução do crescimento foliar tenderam a diminuir também componentes de produção. Analogamente, em estudos sobre aplicação de diferentes lâminas de irrigação no feijão-caupi irrigado por gotejamento, Souza et al. (2022) constataram influência negativa da diminuição da água no solo sobre o acúmulo de massa seca e demais componentes produtivos da cultura, não havendo, porém, alterações na relação de partição de fotoassimilados nas plantas.

Sob os tratamentos aplicados não foram encontradas diferenças no componente massa de 100 grãos entre os tratamentos, ao nível de 5% de significância pelo teste F, além da proximidade das médias dos tratamentos (figura 24). Neste viés, o mesmo resultado estatístico se aplica à variável massa seca vegetativa, não havendo discrepância entre os tratamentos detectada pelo teste F.

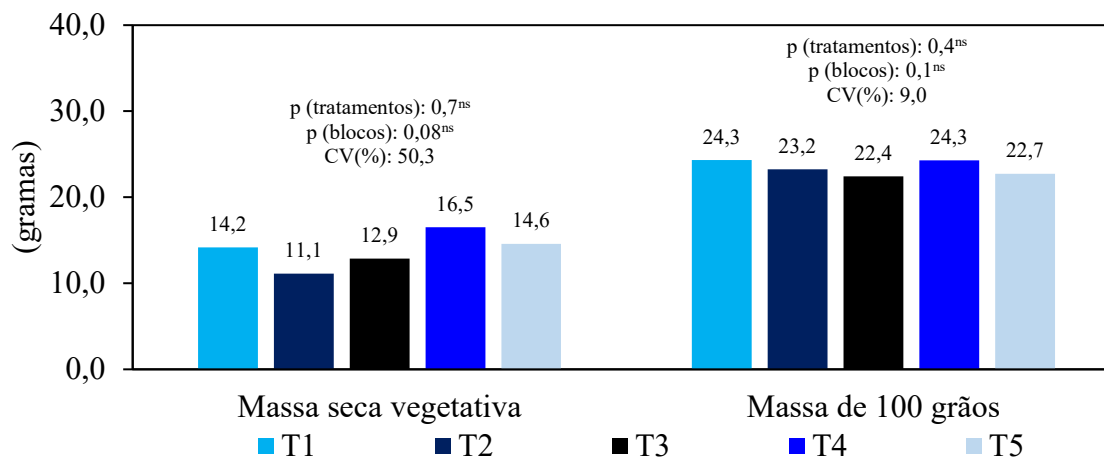


Figura 24: Massa seca vegetativa e massa de 100 grãos de feijoeiro sob diferentes turnos de rega, de acordo com o teste F ao nível de 5% de significância.

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F.

Entretanto, por meio das médias, nota-se comportamento correlato à literatura, com inferioridade dos turnos de rega fixo de três e cinco dias (T2 e T3), sendo ambos detentores de massa seca vegetativa inferior, e, apesar desta suposta remobilização, não alcançaram a massa de 100 grãos dos tratamentos com maiores médias. Em contraste, o T5, embora demonstrou massa vegetativa similar ao T1, dispôs de massa de 100 grãos reduzida. Portanto, os tratamentos T1 e T4 obtiveram as melhores respostas para massa de 100 grãos e massa seca vegetativa.

A incidência de deficiência hídrica sobre a cultura do feijão pode reduzir em até 31% a produtividade de grãos (COELHO et al., 2023). Nesta perspectiva, Abd El-Wahed et al, (2017) relataram queda da produtividade da cultura do feijão diante da redução da irrigação por gotejamento. Avaliando a resposta de cultivares de feijoeiro à redução da lâmina de irrigação, quando cultivadas no campo e em vasos, Campos et al. (2021) salientaram resposta superior no cultivo em campo aberto, ou seja, neste ambiente a cultura exibiu maior eficiência no uso da água.

Não foram encontradas diferenças entre os tratamentos para a variável produtividade de grãos, pelo teste F, ao nível de 5% de significância.

Entretanto, de acordo com os dados obtidos, as maiores produtividades transcorreram dos tratamentos com menor oscilação da água disponível do solo, T1 e T5, sendo ainda o T1 detentor da maior média, correspondendo aos resultados de Chieppe Júnior et al. (2008), onde a reposição de volume de água superno no solo no período reprodutivo proporcionou maior produtividade e eficiência do uso da água.

Brito et al. (2016) detectaram relação entre produtividade de grãos e eficiência do uso da água em função da restrição hídrica. Deste modo, entende-se a inferioridade do T3, para ambas as variáveis (figuras 25a e 25b) como resposta à reposição deficitária da água disponível no solo diante da demanda evapotranspirativa (figura 15c).

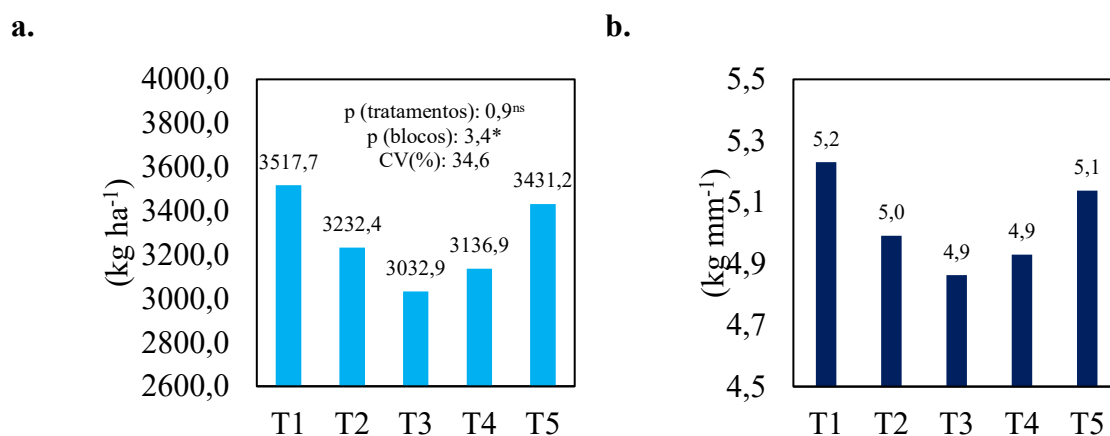


Figura 25: **a.** análise de variância e médias de produtividade (kg ha⁻¹); **b.** eficiência do uso da água (kg mm⁻¹) do feijoeiro submetido a diferentes turnos de rega.

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F; *significativo ao nível de 5% pelo Teste F.

Montes (2013) ressaltou maior eficiência do uso da água pelo feijoeiro quando aplicados turnos de rega mais frequentes. Valeriano et al. (2019) constataram maiores produtividades em turnos de rega fixos de dois e três dias.

A produtividade média dos tratamentos foi de 3270,2 kg ha⁻¹. Conceição et al. (2017) evidenciou incremento linear da produtividade com o aumento da lâmina irrigada. Avaliando a cultivar Pérola em plantio irrigado sob diferentes densidades e doses de nitrogênio, Soratto et al. (2017) obtiveram produtividade de 3219 kg ha⁻¹. Kotz-Gurgacz et al. (2018) lograram

produtividades de 3.342 kg ha⁻¹ e 2699 kg ha⁻¹ em plantios irrigados de primeira e terceira safra, respectivamente.

As produtividades máxima e mínima entre as parcelas avaliadas foi de 6159,3 kg ha⁻¹ e 1,328, 5 kg ha⁻¹, respectivamente. Na condução de estudos sobre cultivares de feijão irrigadas por sistema de micro aspersores, Santana et al. (2014) relataram produtividade máxima de 4597,8 kg ha⁻¹ para a cultivar Pérola.

Diante das cotações de mercado, considerando o valor pago ao produtor na semana de colheita da área experimental (26 a 30 de setembro) de R\$296,00 a saca de 60 kg (CONAB, 2022) a diferença de ganhos entre os tratamentos com maior e menor média de produtividade (T1 e T3, respectivamente) pode chegar a R\$2.397,60.

Tabela 2: Análise econômica entre a produtividade média do feijoeiro de inverno sob diferentes turnos de rega no gotejamento subsuperficial.

	T1	T2	T3	T4	T5
Produtividade (sc ha⁻¹)	58,6	53,8	50,5	52,3	57,1
Total (R\$)	17.345,6	15.924,8	14.948,00	15.480,8	16.901,6

De acordo com a preferência de consumidores, as peneiras 13 e 14 são mais valorizadas no mercado (CARBONELL et al., 2010). Mungo et al. (2021) constatou 16,8% e 46,8% de grãos retidos nas peneiras 11 e 12, respectivamente, para a cultivar Pérola.

As maiores porcentagens de grãos retidos nas peneiras fundo, 10, 11, 12 e 13 foram encontradas nos tratamentos T4, T3, T5, T1 e T1/T2, respectivamente. Analisando individualmente cada tratamento: T1, T2, T3 e T5 adquiriram maior expressividade da peneira 11, ao contrário do T4, com maior porcentagem de grãos retidos na peneira 13 (figura 26).

Na classificação por tamanho dos grãos, não foram encontradas diferenças entre os turnos de rega ao nível de 5% de significância pelo teste F (tabela 3).

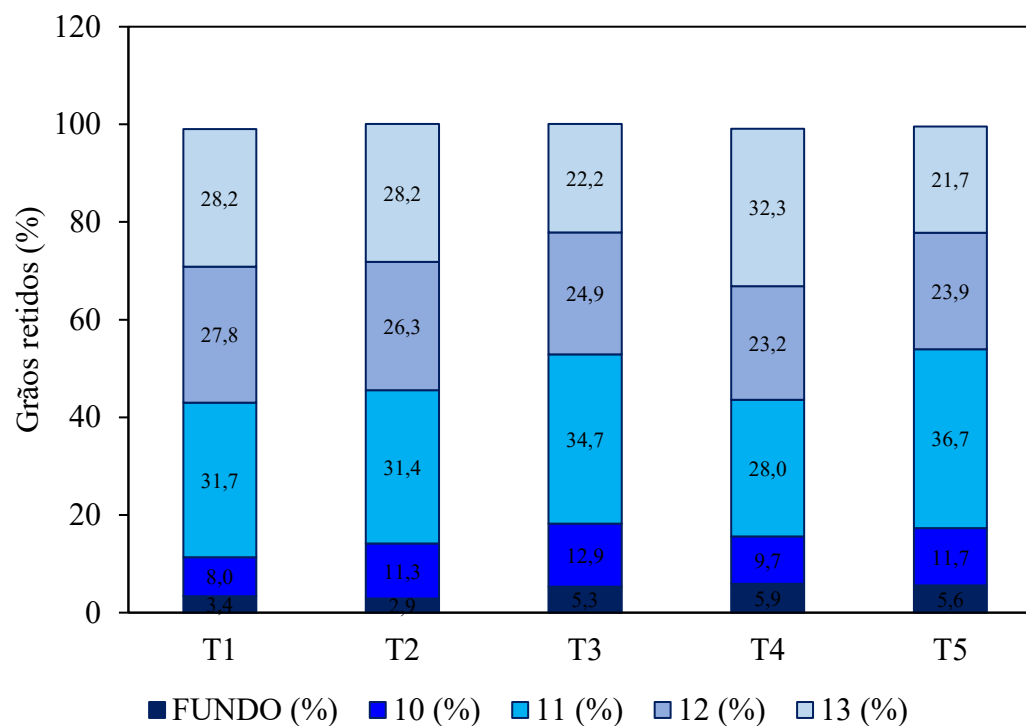


Figura 29: Porcentagem de grãos de feijão retidos nas peneiras fundo, 10, 11, 12 e 13 sob diferentes turnos de rega.

Tabela 3: Análise de variância para porcentagem de grãos retidos nas peneiras fundo, 10, 11, 12 e 13 na cultura do feijoeiro sob diferentes turnos de rega.

FV	p-valor				
	Fundo	10	11	12	13
Tratamentos	0,1 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,3 ^{ns}
Blocos	1,0 ^{ns}	0,1 ^{ns}	1,0 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,03*
CV (%)	49,25	44,3	53,2	33,7	45,4

^{ns} não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste F

7 CONCLUSÕES

Perante os resultados obtidos, conclui-se a inexistência de diferenças significativas entre a adoção de turnos de rega fixos e variáveis sobre caracteres de agrônômicos e de água na planta na cultura do feijoeiro irrigado por gotejamento subsuperficial, na safra de inverno.

Turnos de rega menores apresentaram manutenção da água disponível do solo superior. Turnos de rega variáveis, especialmente com volume superior como parâmetro do manejo, influem em menor eficiência na manutenção de umidade do solo, resultando em índices vegetativos inferiores.

Quanto aos componentes de produção, os números médios de vagens por planta, grãos por vagem, e massa de 100 grãos foram: 14,8; 5,1 e 23,4 gramas, respectivamente. A produtividade máxima entre as parcelas avaliadas foi de 6.159,3 kg ha⁻¹, mínima de 1.328,5 kg ha⁻¹ e média de 3270,2 ha⁻¹.

REFERÊNCIAS

ABEBE, A. et al. Optimizing irrigation frequency and amount on bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield and water productivity in NW Amhara, Ethiopia: A case study on the Koga and Ribb irrigation scheme. **Cogent Food & Agriculture**, v. 6, n. 1, p. 1773690, 2020.

ABD EL-WAHED, M.H. et al. Effect of drip irrigation and mulching on common bean growth, water use efficiency and soil salinity. **Scientia Horticulturae**, v. 225, p. 235-242, 2017.

ALBUQUERQUE, M. P. F. de et al. Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 48, p. 9-16, 2013.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; GUIMARÃES, D. P. Gestão da água na agricultura: Coeficientes de cultivo (Kc) e de tanque classe A (Kp). **Revista Irrigação e Tecnologia Moderna – ITEM**, ABID, n.63, p.12-19, 2004.

ALEMAN, C. C.; MIGNACCA, F. A. Avaliações morfofisiológicas do feijão Pérola irrigado. In: **Colloquium Agrariae**. ISSN: 1809-8215. 2015. p. 19-24.

ALEMU, M. M. et al. Effect of water stress on physiological and yield responses of common bean varieties in Lath House Condition, Hawassa University, southern Ethiopia. **International Journal of Agronomy**, v. 2023, 2023.

ALFONSO, S. U.; BRÜGGEMANN, W. Photosynthetic responses of one C3 species and three C4 species of the genus *Panicum* (sl) with different metabolic subtypes to water stress. **Research in photosynthesis**, v. 112, n. 3, p. 175-191, 2012.

ALGHORY, A; YAZAR, A. Evaluation of the crop water stress index and leaf water potential for the management of deficit irrigation in sprinkler-irrigated wheat. **Irrigation Science**, v. 37, p. 61-77, 2019.

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.

AL-OMRAN, A. M. et al. Impact of irrigation water quality, irrigation systems, irrigation rates and soil amendments on tomato production in sandy calcareous soil. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 34, n. 1, p. 59-73, 2010.

ALTIERI, M. A. **AGROECOLOGIA: Bases científicas para una agricultura sustentable**. Nordan Comunidad, 1999.

ALVAREZ, V. V. H. et al. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**. UFV, Viçosa, 1999.

AMMAR, M.H. et al. Physiological and productive responses of lima bean (*Vicia faba* L.) to water stress in managed and open field environments. **Magazine of Agronomy and Phytotechnics**, v. 201, no. 4, p. 280-287, 2015.

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

ANGELAKIS, A. N. et al. Irrigação de terras agrícolas mundiais: Evolução ao longo dos milênios. **Água**, v. 12, n. 5, p. 1285, 2020.

ANTOLIN, L. A. S.; HEINEMANN, A. B.; MARIN, F. R. Impact assessment of common bean availability in Brazil under climate change scenarios. **Agricultural Systems**, v. 191, p. 103174, 2021.

ARBAT, G. et al. Modeling approaches for determining drip line depth and irrigation frequency of subsurface drip irrigated rice in different soil textures. **Water**, v. 12, no. 6, p. 1724, 2020.

ARRUDA, I. M. et al. Physiological, biochemical and morphoagronomic characterization of drought-tolerant and sensitive bean genotypes under water stress. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.24, n. 6, p. 1059-1067, 2018.

ÁVILA, M. S. N.; BARBOSA, J. M. Análise de crescimento de pimenta-biquinho em diferentes níveis de radiação solar. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 31985-31997, 2019.

AYDINSAKIR, K. et al. Water productivity of soybeans under regulated surface and subsurface drip irrigation conditions. **Irrigation Science**, v. 39, n. 6, p. 773-787, 2021.

AZEVEDO, J. A.; DA SILVA, E. M. **Tensiômetro: dispositivo prático para controle da irrigação**. Embrapa Cerrados, 1999.

BARBANO, M. T. **Riscos Climáticos e Épocas de Semeadura para o Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. Cv. Carioca) na Safra das Águas no Estado de São Paulo**. Dissertação de mestrado. Campinas-SP. Instituto Agrônomo/IAC. 2003.

BARROS, A. C. et al. Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 700-707, 2009.

BARRY, R. G. O ciclo hidrológico mundial. In: **Água, Terra e Homem**. Routledge, 2021. p. 11-29.

BASTOS, E. A. et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Gurguéia, Piauí. **Irriga**, v. 13, n. 2, p. 182-190, 2008.

BHATLA, S. C. et al. Photoassimilate translocation. **Plant physiology, development and metabolism**, p. 227-251, 2018.

BEEG, I. E.; TURNER, N. C. Crop water deficits. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 28, p. 161-217, 1976.

BELLUCCI, E. et al. Genomics of origin, domestication and evolution of *Phaseolus vulgaris*. **Genomics of plant genetic resources**, p. 483-507, 2014.

BLUM, A. Drought resistance, water use efficiency and yield potential – are they compatible, dissonant or mutually exclusive?. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 56, no. 11, p. 1159-1168, 2005.

BRITO, J. E. D. et al. Produtividade e eficiência de uso da água em cultivo de feijão sob diferentes coberturas do solo submetido à restrição hídrica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 10, n. 2, p. 565-575, 2016.

BOYER, J. S. Water deficits and photosyntheses. **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press. V.4, p. 154-191, 1978.

BUCKLEY, T. N. How do stomata respond to water status?. **New Phytologist**, v. 224, n. 1, p. 21-36, 2019.

CALDWELL, D. S.; SPURGEON, W. E.; MANGES, H. L. Irrigation frequency for subsurface drip irrigated maize. **ASAE Operations**, v. 37, n. 4, p. 1099-1103, 1994.

CAMARA, G. et al. Avaliação do desenvolvimento do cafeeiro conilon robusta tropical mediante uso de polímeros hidroretentores e diferentes turnos de rega. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 13, 2011.

CAMPBELL, B. M. et al. Intensificação sustentável: Qual é o seu papel na agricultura inteligente para o clima? **Parecer Atual em Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, p. 39-43, 2014.

CAMPOS, K. et al. Physiological and productive responses of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivated under restricted irrigation. **Agronomy**, v. 11, no. 3, p. 562, 2021.

CARBONELL, S. A. M. et al. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural**, v. 40, p. 2067-2073, 2010.

CARLESSO, R. et al. Efeito da lâmina de irrigação na senescência foliar do feijoeiro. **Irriga**, v. 12, n. 4, p. 557-568, 2007.

CARVALHO, A.M.X. et al. Stat: a free, intuitive, and minimalist spreadsheet program for statistical analyses of experiments. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. 2020.

CAVERO, J.; MEDINA, E. T.; MONTOYA, F. Sprinkler irrigation frequency affects maize yield depending on irrigation time. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 5, p. 1862-1873, 2018.

ÇETIN, O.; KARA, A. Assesment of water productivity using different drip irrigation systems for cotton. **Agricultural Water Management**, v. 223, p. 105693, 2019.

CHAVOSHI, S. et al. Interruption of irrigation and responses of red bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). **International Journal of Tropical Agriculture**, v. 34, no. 7, p. 2203-2211, 2016.

CHENG, Y. et al. Dinâmica sazonal da biomassa radicular fina, densidade do comprimento radicular, comprimento específico da raiz e disponibilidade de recursos do solo em uma plantação *Larix gmelinii*. **Fronteiras da Biologia na China**, v. 1, n. 3, p. 310-317, 2006.

CHIEPPE JÚNIOR, J. B. et al. **Efeito de métodos de determinação de parâmetros para o controle da irrigação na eficiência do uso da água do feijoeiro, sob três diferentes lâminas de água no solo.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA. 2008.

CLIMATE-DATE.ORG. **Clima em Monte Carmelo.** 2019. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/monte-carmelo-24982/>. Acesso em: 18 de abril de 2023.

COELHO, A. P. et al. Irrigation management of common bean cultivars with contrasting growth habits. **Agricultural Scientia**, v. 80, p. e20220038, 2023.

CONAB. Série histórica das safras: Feijão. **CONAB Companhia de Abastecimento**, 2023. Disponível em <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/905-feijao>. Acesso em 26 de junho de 2023.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. 2022. Disponível em: <sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb/>. Acesso em: 30 de junho de 2023..

CONCEIÇÃO, G. C. et al. Desenvolvimento vegetativo do feijoeiro irrigado com diferentes lâminas. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 12, n. 2, 2018.

CONCEIÇÃO, C. G. et al. Influência de lâminas de irrigação sobre a produção do feijão comum conduzido na 2ª safra. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 11, n. 6, 2017.

COUTINHO, M. J. F. et al. Características morfogênicas, estruturais e produtivas de capim-buffel sob diferentes turnos de rega. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, p. 216-224, 2015.

CUNHA, F. F. et al. Avaliação do sistema radicular do capim-Tanzânia submetido a diferentes níveis de irrigação e turnos de rega. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 15, n. 3, p. 200-211, 2007.

DASTNESHAN, S. et al. Effect of different levels of water stress on some physiological characteristics and chlorophyll fluorescence of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. **Journal of Genetic Improvement**, v. 11, no. 31, p. 92-104, 2019.

DALE, J. E. Some effects of alternating temperature on the growth of French bean plants. **Annals of Botany**, v. 28, n. 1, p. 127-135, 1964.

DALMAGO, G. A. et al. Evapotranspiração máxima da cultura de pimentão em estufa plástica em função da radiação solar, da temperatura, da umidade relativa e do déficit de saturação do ar. **Ciência Rural**, v. 36, p. 785-792, 2006.

- DARWIN, C.; DARWIN, F. **O poder do movimento nas plantas**. D. Appleton, 1896.
- DEBOUCK, D.G. Primary diversification of *Phaseolus* in the Americas: three centers? **Plant Genetic Resources Newsletter**, v.67, p.2-8, 1986.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. **Irrigation and drainage paper**, v. 33, p. 257, 1979.
- DRUGOWICH, M. I., D'AURIA, M. G. D. P. M. Uso racional da água na agricultura. 2017.
- DU, Y. et al. Effect of water stress on sugar metabolism in leaves and roots of soybean seedlings. **Fisiologia Vegetal e Bioquímica**, v. 146, p. 1-12, 2020.
- DURIGON, A. et al. O estresse hídrico altera permanentemente a arquitetura dos brotos em plantas de feijão comum. **Agronomia**, v. 9, n. 3, p. 160, 2019.
- FARA, S. J. et al. Stomata opening and productive response of fresh tomatoes under different irrigation intervals. **Scientia Horticulturae**, v. 255, p. 86-95, 2019.
- FERREIRA, S. C. R. et al. Resposta de duas variedades de feijão comum à adubação nitrogenada no cerrado mineiro. **Revista Inova Ciência & Tecnologia/Innovative Science & Technology Journal**, p. e0211131-e0211131, 2021.
- FERNANDES, C. N. V. et al. Desempenho produtivo e econômico da cultura da melancia submetida a diferentes turnos de rega. **Irriga**, v. 19, n. 1, p. 149-159, 2014.
- FRANCISCO, P. R. M. et al. Aptidão climática da cultura do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, 2016.
- GANESAN, K.; XU, B. Dry common bean rich in polyphenols (*Phaseolus vulgaris* L.) and its health benefits. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 18, no. 11, p. 2331, 2017.
- GEIGER, A. R.; SILVA, W.; SALUKE, R. M. Carbon partition between leaves, fruits and seeds during the development of *Phaseolus vulgaris* L. **Plant Physiology**, v. 91, no. 1, p. 291-297, 1989.
- GLIŃSKI, J.; LIPIEC, J.. **Soil physical conditions and plant roots**. CRC press, 2018.
- GUERRA, A. F. et al. Necessidade hídrica no cultivo de feijão, trigo, milho e arroz sob irrigação no bioma Cerrado. 2003.
- GUIDORIZZI, F. V. C. **Exigência de nitrogênio e manejo da adubação nitrogenada em cultivares de feijão-comum de ciclo precoce**. 2019.

GUO, Y. et al. Plant hydraulics provide guidance for irrigation management in mature polar plantations. **Agricultural Water Management**, v. 275, p. 108029, 2023.

HAGEMAN, A.; VAN VOLKENBURGH, E. A manutenção da resistência do lavatório está subjacente à tolerância à seca no feijoeiro. **Plantas**, v. 10, n. 3, p. 489, 2021.

HAGEMAN, A.; URBAN, M. O.; VAN VOLKENBURGH, E. Drought sensitivity of leaflet growth, biomass accumulation and resource partitioning predict common bean yield. **bioRxiv**, p. 736199, 2019.

HANSEN, J. W. et al. Climate services can support the context-specific adaptation needs of African farmers at scale. **Fronteiras em Sistemas Alimentares Sustentáveis**, v. 3, p. 21, 2019.

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F.; SILVA, S. C. Feijão. In: **Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, cap. 11. 2007. p. 183 – 201.

HOFFMANN JÚNIOR, L. et al. Resposta de cultivares de feijão à alta temperatura do ar no período reprodutivo. **Ciência Rural**, v. 37, p. 1543-1548, 2007.

HOSTALÁCIO, S.; VÁLIO, I. F. M. Desenvolvimento de plantas de feijão cv. Goiano Precoce, em diferentes regimes de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 2, p. 211-218, 1984.

IBGE. Produção Agrícola – Lavoura Temporária. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2021. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/irai-de-minas/pesquisa/14/10193?tipo=ranking&indicador=10291>>. Acesso em: 26 de junho de 2023.

KAPLAN, L. Archeology and domestication in American Phaseolus (beans). **Economic Botany**, v. 19, n. 4, p. 358-368, 1965.

KARIMI, R.; APPELS, W. M. Soil moisture dynamics in a new indoor facility for subsurface drip irrigation of field crops. **Irrigation Science**, v. 39, n. 6, p. 715-724, 2021.

KEYVAN, S. et al. The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. **J. Anim. Plant Sci**, v. 8, no. 3, p. 1051-1060, 2010.

KHATUN, M. et al. Drought stress in grain legumes: Effects, tolerance mechanisms and management. **Agronomy**, v. 11, n. 12, p. 2374, 2021.

KIMANI, P. N. et al. Interactive effect of irrigation and temperature regimes on bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth and development. **Magazine of Agrometeorology**, v. 24, no. 2, p. 196-199, 2022.

KIRSCHBAUM, M. U. F.; MCMILLAN, A. Warming and elevated CO₂ have opposite influences on sweating. What is more important?. **Current forest reports**, v. 4, n. 2, p. 51-71, 2018.

KONSENS, I; OFIR, M.; KIGEL, J. The effect of temperature on the production and abscission of flowers and pods in snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Annals of Botany**, v. 67, n. 5, p. 391-399, 1991.

KOTZ-GURGACZ, T. E.; SORATTO, R. P.; GUIDORIZZI, F. V. C. Foliar and topdressing application of nitrogen to the common bean crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 53, n. 12, p. 1329-1337, 2018

KRAMER, P.J., BOYER, J.S. Water Relations of Plants and Soils. **Academic Press**, SanDiego California, 1995.

LAMBERS, H.; OLIVEIRA, R. S. Plant water relations. In: **Plant physiological ecology**. Springer, Cham, 2019. p. 187-263.

LAMM, F. R.; CAMP, C. R. Subsurface drip irrigation. **Developments in agricultural engineering**, v. 13, p. 473-551, 2007.

LAMM, F. R. et al. A 2020 Vision of Subsurface Drip Irrigation in the US. **Transactions of the ASABE**, v. 64, n. 4, p. 1319-1343, 2021.

LARCHER, W.; PRADO, C. H. B. A. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa Artes e textos, 2000.

LEITE, M.L.; RODRIGUES, J.D.; VIRGENS FILHO, J.S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi, cv. EMAPA-821. III - Produção. **Revista de Agricultura**. Piracicaba, v.75, n.1, p.9-20, 2000.

LEMOS FILHO, L. C. A. et al. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1294-1303, 2010.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo Vol. 61**. Edusp, 2005.

LIBARDI, V. C. M. **Efeitos de diferentes níveis de irrigação e do déficit hídrico na produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1996.

LOPES, A. S. et al. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, v. 24, p. 89-100, 2004.

LUCENA, R. A. M. et al. **Prospecção de fenótipos de feijão-caupi resilientes à seca no Cariri Ocidental Paraibano**. Professor Dr. Rener Luciano de Souza Ferraz. 2023. 34. Monografia (Graduação) – Engenharia de Biosistemas, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, Sumé-SP, 2023.

LUO, H. H.; ZHANG, Y. L.; ZHANG, W. F. Effects of water stress and irrigation on photosynthesis, root activity and yield of cotton under drip irrigation under mulch. **Photosynthetic**, v. 54, n. 1, p. 65-73, 2016.

MAIA, C. E. et al. Dimensões de bulbo molhado na irrigação por gotejamento superficial. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 149-158, 2010.

MARTÍNEZ, J. et al. Osmotic adjustment is necessary for resistance to water stress in the Mediterranean shrub *Atriplex halimus* L? **Plant physiology journal**, v. 161, n. 9, p. 1041-1051, 2004.

MATTAR, M. A. et al. Effects of different levels of surface and subsurface drip irrigation on growth characteristics, tuber yield and irrigation water use efficiency of potato crop. **Irrigation Science**, v. 39, n. 4, p. 517-533, 2021.

MEDEIROS, G. A.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; BONI, N. R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 35, n. 9, Set. 2000.

MEHRABI, F.; SEPASKHAH, A. R. Leaf nitrogen, based on SPAD chlorophyll reading, can determine agronomic parameters of winter wheat. **International Journal of Plant Production**, p. 1-15, 2022.

MENEGASSI, L. C. **Arroz tipo especial fertirrigado por gotejamento subsuperficial com efluente tratado de laticínio**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2022.

MIORINI, T. J. J.; SAAD, J. C. C.; MENEGALE, M. L. Supressão de água em diferentes fases fenológicas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Irriga**, v. 16, n. 4, p. 360-360, 2011.

MIRANDA, M. N.; CAMPELO JÚNIOR. Soma térmica para o subperíodo semeadura-maturação de feijão cv. carioca em colorado do Oeste, Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 180-185, 2010

MONTE, J. A. et al. Influência do turno de rega no crescimento e produção do tomateiro no verão em Seropédica. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 222-227, 2009.

MONTES, D. R. P. **Efeitos do turno de rega, da densidade de plantio e da aplicação de fungicida no controle do mofo-branco na cultura do feijão**. 2013. Tese de Doutorado. Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2013.

MONTEJO-MARTÍNEZ, D. et al. Fine root density and vertical distribution of *Leucaena leucocephala* and grasses in silvopastoral systems under two harvest intervals. **Sistemas Agroflorestais**, v. 94, n. 3, p. 843-855, 2020.

MORAES, L. C. et al. **Potencial hídrico no xilema como ferramenta de manejo de irrigação do feijoeiro comum**. 2019. Dissertação de Mestrado. Agronomia. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Minas Gerais, 2019.

MOTTA N. L. **Ecofisiologia e produtividade de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) sob diferentes turnos de rega**. 2022. Dissertação de Mestrado. Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campo dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2022.

MOURA, M. M. et al. Potencial de caracteres na avaliação da arquitetura de plantas de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 417-425, 2013.

MUNGO, A. C. et al. Componentes do rendimento de genótipos de feijão do grupo comercial carioca. **Revista Inova Ciência & Tecnologia/Innovative Science & Technology Journal**, p. e0211087-e0211087, 2021.

NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, v. 22, p. 174-177, 2004.

NASCIMENTO, J. M. S. et al. Irrigação por gotejamento subsuperficial e pulsos na produção de tomate de mesa. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 65903-65919, 2020.

NEMESKÉRI, E. et al. Effect of water supply on physiological characteristics related to water use and snap bean yield in dry seasons. **Irrigation Science**, v. 36, p. 143-158, 2018.

NEMESKÉRI, E.; HELYES, L. Physiological responses of selected plant species to water stress. **Agronomy**, v. 9, no. 8, p. 447, 2019.

NOLZ, R. A review on the quantification of soil water balance components as a basis for agricultural water management, with a focus on weighing lysimeters and soil water sensors. **Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment**, v. 67, n. 3, p. 133-144, 2016.

NOVÁK, V.; HLAVÁČIKOVÁ, H. **Applied soil hydrology**. Springer, 2019.

NUNEZ-BARRIOS, A. **Effect of soil water deficit on dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) growth and development at different growth stages.** 1991. Doctoral Thesis. Michigan State University.

OKI, T.; KANAE, S. Global hydrological cycles and world water resources. **Science**. v. 313, 1068–1072. 2006.

OLIVEIRA, D. A. et al. Produtividade da água em Cana-De-Açúcar irrigada e não irrigada utilizando imagens do Satélite Landsat 8. **anais do XIX Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**, Santos/SP, 2019. OLIVEIRA, L.; GONZÁLEZ-VILAR, M. Determination of relative water content. **Manual of Plant Ecophysiology Techniques**, p. 207-212, 2001.

OLIVEIRA, R. M. de. Efeito da restrição hídrica na produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Locus UFV. 2018.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres. 1981.

PAIVA, A. S. et al. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v. 25, p. 161-169, 2005.

PALARETTI, L. F. et al. **Crescimento do feijoeiro cultivado com e sem estresse hídrico.** III Inovagri International Meeting. Fortaleza, Ceará. 2015.

PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E. C. **Agricultura irrigada no Brasil: ciência e tecnologia.** Piracicaba: ESALQ. 2022.

PARIS, P. et al. A irrigação por gotejamento subsuperficial de precisão aumenta o rendimento enquanto sustenta a eficiência do uso da água nas plantações de bioenergia de álamo do Mediterrâneo. **Ecologia e Manejo Florestal**, v. 409, p. 749-756, 2018.

PARIZI, A. R. C. et al. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob as culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e milho (*Zea mays* L.) na região de Santiago, RS.** Dissertação de Mestrado. Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Rio Grande do Sul. 2007.

PEREIRA, L. S.; PAREDES, P.; JOVANOVIC, N. Soil water balance models to determine crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the K dual approach. **Agricultural water management**, v. 241, p. 106357, 2020.

PIMENTA, T. M. **Aspectos anatômicos e fisiológicos de plantas de tomate associados a inibição da biossíntese de giberelinas e à elevada concentração de dióxido de carbono.** Dissertação de Magister Scientiae. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais. 2017.

PITTERMANN, J. The evolution of water transport in plants: an integrated approach. **Geobiology**, v. 8, n. 2, p. 112-139, 2010.

PORTES, T. A. Como surgiu o feijão de terceira safra ou feijão de inverno no Brasil? Um pouco de história. **Revista Agrária Acadêmica**. v. 5, n. 3. 2022.

RAMOS JUNIOR, E. U.; LEMOS, L. B.; SILVA, T. R. B. da. Componentes da produção, produtividade de grãos e características tecnológicas de cultivares de feijão. **Bragantia**, v. 64, p. 75-82, 2005.

REICHARDT, K. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Manole 2022.

RODRIGUES, J. S. et al. Tensiometria e balanço hídrico climatológico no manejo de irrigação do feijão-caupi “BRS Pujante”. **Revista Semiárido De Visu**, v. 7, n. 3, p. 294-305, 2019.

RODRIGUES, N. F. et al. **Índice SPAD para monitoramento da atividade fotossintética da braquiária submetida ao estresse hídrico**. 2021.

RODRIGUEZ-ORTEGA, W. M. et al. Use of an intelligent irrigation system to study the effects of irrigation management on the agronomic and physiological responses of tomato plants grown under different temperature regimes. **Agricultural Water Management**, v. 183, p. 158-168, 2017.

SANCHEZ-REINOSO, A. D.; LIGARRETO-MORENO, G. A.; RESTREPO-DIAZ, H. Physiological and biochemical responses of common bush bean to drought. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 46, n. 2, p. 393-401, 2018.

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

SANTANA, M. J. de et al. Estimated production and evapotranspiration of irrigated common bean cultivars. **Agricultural Engineering**, vol. 34, p. 1089-1103, 2014.

SANTOS, D. B. dos; COELHO, E. F.; AZEVEDO, C. A. V de. Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 327-333, 2005.

SANTOS, R. M. **Resposta produtiva do feijão carioca (*Phaseolus vulgaris* L. TAA DAMA) sob déficit hídrico em diferentes fases fenológicas**. Dissertação de Mestrado. Agronomia. Universidade Estadual Paulista “José Mesquita Filho”. Botucatu, São Paulo. 2021.

SEDLAR, A. et al. Response to water stress in agricultural plants: common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) case study. **Drought Detection and Solutions**. London, United Kingdom: IntechOpen, 2019.

SIDHU, H. S. et al. Sub-surface drip fertigation with conservation agriculture in a rice-wheat system: A breakthrough for addressing water and nitrogen use efficiency. **Agricultural water management**, v. 216, p. 273-283, 2019.

SILVA, A. et al. Water stress alters the physical and chemical quality of bean, triticale and wheat grains. **Agricultural water management**, v. 231, p. 106023, 2020.

SILVA, A. A. C. **Crescimento inicial e estimativa da evapotranspiração da cultura da pitaya (*Hylocereus* sp.)**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

SILVA, A. P. et al. Índice relativo de clorofila para a otimização da adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro em diferentes sistemas de produção. **Revista Cultivando o Saber**, v. 16, p. 39-55, 2023.

SILVA, A. V. et al. Edaphoclimatic aptitude and agricultural production environments of the bean culture. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 10, p. 102-112, 2020.

SILVA, D. A. et al. Influência da alta temperatura na biologia reprodutiva do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) **Scientia Agrícola**, v. 77, 2019.

SILVA, M. R. **New techniques to improve the quantity and quality of common bean yield**. Doctoral Thesis. 2018. Tese de doutorado.

SILVA, S.; NEVES, E. Importância do manejo da irrigação. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, v. 17, n. 34, 2020.

SILVEIRA, P. M. et al. Lâminas de água e turnos de rega na cultura do feijoeiro de inverno. 1984.

SILVEIRA, P. M. da; BRAZ, A. J. B. P.; DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1083-1087, 2003.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação do feijoeiro. **Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão**, 2001.

SORATTO, R. P.; CATUCHI, T. A.; SOUZA, E. F. C.; GARCIA, J. L. N. Plant density and nitrogen fertilization on common bean nutrition and yield. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 670-678, 2017.

SOURESHJANI, H. K. et al. Responses of two common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 213, p. 270-279, 2019.

SOUSA, F. G. G. et al. Desenvolvimento e produção do tomate cereja irrigado com diferentes concentrações e disponibilidade de água residual. **Irriga**, v. 24, n. 3, p. 582-593, 2019.

SOUZA, E. A.; COELHO, E. F.; PAZ, V. P. S. Distribuição da umidade num perfil de solo irrigado por gotejamento superficial e subsuperficial. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1161-1166, 2007.

SOUZA, P. J. O. P. et al. Partição de assimilados no feijão-caupi irrigado por gotejamento em Castanhal-PA. **Irriga**, v. 27, n. 1, p. 64-78, 2022.

SOUZA, S. A. et al. Impact of irrigation frequency and planting density on morphophysiological and productive characteristics of common bean. **Water**, v. 12, no. 9, p. 2468, 2020.

SPINELLI, G. M.; SHACKEL, K. A.; GILBERT, M. E. A model exploring whether the coupled effects of plant water supply and demand affect the interpretation of water potentials and irrigation management. **Agricultural Water Management**, Amsterdam v. 192, p. 271-280, 2017

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Irrigação do feijoeiro. **Embrapa Arroz e Feijão-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 1986.

TAIZ, L. et al. **Fundamentos de Fisiologia Vegetal-6**. Artmed Editora, 2021.

TORRES, J. L. R. et al. Produtividade de feijão sob lâminas de irrigação e coberturas de solo. **Bioscience Journal**, v.29, n.4, p.833-841, 2013.

TOUIL, S. et al. A review of smart irrigation management strategies and their effect on water savings and crop yields. **Irrigation and Drainage**, 2022.

VALERIANO, T. T. B. et al. Turnos de rega e adubações foliares com produtos comerciais fontes de micronutrientes na cultura do feijoeiro. **Revista Inova Ciência & Tecnologia/Innovative Science & Technology Journal**, p. 5-11, 2019.

VICENTE, M. R. et al. Distribuição espacial do sistema radicular do café fertigado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, p. 72-80, 2017.

VIDIGAL, S. M. **Diagnóstico de nitrogênio por medidor de clorofila portátil SPAD-502 para uso na cultura da couve-flor**. EPAMIG. Circular Técnica, n.325, nov. 2020.

VIEIRA, C. **O feijoeiro comum: cultura, doenças e melhoramento**. Viçosa, MG: UFFV, 220 p, 1967. VIEIRA, E. L. et al. **Manual de fisiologia vegetal**. Edufma, 2010.

WANG, F.; KANG, Y.; LIU, S. Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in the North China Plain. **Agricultural water management**, v. 79, no. 3, p. 248-264, 2006.

WANG, H. et al. Yield and water productivity of crops, vegetables and fruits under subsurface drip irrigation: A global meta-analysis. **Agricultural Water Management**, v. 269, p. 107645, 2022.

WANNIARACHCHI, S.; SARUKKALIGE, R.. A review on evapotranspiration estimation in agricultural water management: Past, present, and future. **Hydrology**, v. 9, n. 7, p. 123, 2022.

WOLFE, D. W. et al. Interactive effects of water and nitrogen on maize senescence. II. Photosynthetic decline and longevity of individual leaves. **Magazine of Agronomy**, v. 80, n. 6, p. 865-870, 1988.

YANG, M. et al. Deficit Subsurface Drip Irrigation Improves Water Use Efficiency and Stabilizes Yield by Enhancing Subsoil Water Extraction in Winter Wheat. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 508, 2020.

YOKOYAMA, L. P. et al. **Nível de aceitabilidade da cultivar de feijão" Pérola": avaliação preliminar**. Embrapa Arroz e Feijão, 1999.

ZAHOOR, S. A. et al. Improve water use efficiency in agricultural agronomic production. **Agronomic Crops: Volume 2: Management Practices**, p. 13-29, 2019.

ZHANG, X.; PEI, D.; CHEN, S. Root growth and soil water use of winter wheat in the North China Plain. **Hydrological Processes**, v. 18, n. 12, p. 2275-2287, 2004.

ZHOU, T. et al. Root growth and soil water use of winter wheat in the North China Plain. **Journal of Hydrology**, v. 584, p. 124754, 2020.

ZIA, R. et al. Sobrevivência das plantas sob estresse hídrico: Implicações, respostas aDAStativas e estratégia integrada de manejo da rizosfera para mitigação do estresse. **Pesquisa microbiológica**, v. 242, p. 126626, 2021.

ZILIO, M. et al. Contribuição dos componentes de rendimento na produtividade de genótipos crioulos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 429-438, 2011.