

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CAROLAYNE SILVA DE SOUZA

**PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES DE FEIJÃO-CAUPI FERTIRRIGADO POR
GOTEJAMENTO CONTÍNUO E PULSADO**

RECIFE-PE
JULHO DE 2022

CAROLAYNE SILVA DE SOUZA

PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES DE FEIJÃO-CAUPI FERTIRRIGADO POR
GOTEJAMNETO CONTÍNUO E PULSADO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Gerônimo Ferreira da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Gomes Pereira

RECIFE-PE

JULHO DE 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S729p Souza, Carolayne Silva de
Produção de grãos verdes de feijão-caupi fertirrigado por gotejamento contínuo e pulsado / Carolayne Silva de Souza.
2022.
111 f. : il.

Orientador: Geronimo Ferreira da Silva.
Coorientador: Rodrigo Gomes Pereira.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2022.

1. Fertirrigação por pulsos. 2. Adubação convencional. 3. Vigna unguiculata. 4. Nutrição mineral. 5. Rendimento de grãos. I. Silva, Geronimo Ferreira da, orient. II. Pereira, Rodrigo Gomes, coorient. III. Título

**PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES DE FEIJÃO-CAUPI FERTIRRIGADO POR
GOTEJAMENTO CONTÍNUO E PULSADO**

CAROLAYNE SILVA DE SOUZA

Dissertação defendida e aprovada pela Banca Examinadora em 26/07/2022.

Orientador:

Prof. Dr. Gerônimo Ferreira da Silva – UFRPE

Examinadores:

Profa. Dra. Adriana Araújo Diniz – UEMA

Dr. Antônio Félix da Costa – IPA

A minha mãe, Maria, por todo amor, cuidado, incentivos e ensinamentos. Por apoiar todos os meus sonhos e ser a minha fortaleza em todos os momentos da vida.

Aos meus irmãos pelo companheirismo e por toda ajuda que me deram para que eu pudesse chegar até aqui.

Ao meu namorado, Ricardo Thiago, pela força, conselhos, compreensão e por ser minha melhor companhia durante essa jornada, tornando meu caminhar mais leve e cheio de alegrias.

Ao meu professor orientador e amigo, Erick Viana, a quem tenho carinho de um pai, por todo apoio, ensinamentos e oportunidades.

Dedico

***Porque dele, e por ele, e
para ele são todas as coisas; glória,
pois, a ele eternamente. Amém!***

Romanos 11:36

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ser um pai amoroso, por me dar saúde, força e coragem para enfrentar todos os desafios da vida, sempre me guiando por caminhos de muita luz e prosperidade, e me presenteando com a sua graça todos os dias;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco - Departamento de Engenharia agrícola e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade;

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da Bolsa de estudo;

Ao meu Orientador Gerônimo Ferreira da Silva, pelos ensinamentos, orientação e apoio durante todo o mestrado.

Ao professor Manassés, por todo suporte, auxílio e ensinamentos durante a realização da pesquisa;

Ao Instituto Agrônômico de Pernambuco (IPA), pela concessão das sementes de feijão-caupi e disponibilização do laboratório de análise de ração e planta - LAPRA para as análises nutricionais da planta;

Ao Dr. Antônio Félix, pela parceria e contribuições ao meu trabalho;

Ao grupo de Estudo em Irrigação e Nutrição de Plantas, por toda ajuda, apoio e auxílio durante a montagem e condução do experimento, tornando esse trabalho possível. A vocês Sirleide, Catiana, João Vitor, Vitória, Madson, Fabiano meu muito obrigada;

A todos os meus amigos que compartilharam comigo os momentos difíceis, desafiadores, e alegres durante todo o curso;

Agradeço a todas as pessoas que, direta e indiretamente, tornaram esse trabalho possível. A todos vocês meu carinho, respeito e gratidão.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....	9
ABSTRACT.....	10
CAPÍTULO I.....	11
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2. HIPÓTESES.....	13
3. OBJETIVOS.....	14
3.1 Geral.....	14
3.2 Específico.....	14
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
4.1 Aspectos econômicos da cultura.....	14
4.2 Aspectos botânicos da cultura.....	15
4.3 Principais cultivares no Brasil e no Nordeste.....	17
4.4 Manejo da cultura: correção da acidez do solo, plantio, colheita e utilizações da cultura.....	19
4.5 Produção de grãos verdes do feijão-caupi.....	20
4.6 Irrigação localizada.....	21
4.7 Irrigação por gotejamento pulsado ou intermitente.....	22
4.8 Estresse hídrico.....	24
4.9 Manejo da adubação.....	25
4.10 Fertirrigação.....	26
4.11 Produção da cultura.....	26
4.12 Nutrição mineral.....	27
4.13 Teor nutricional, acúmulo e exportação de nutrientes.....	28
REFERÊNCIAS.....	30
CAPÍTULO II.....	42
PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES DE FEIJÃO-CAUPI FERTIRRIGADO POR GOTEJAMENTO CONTÍNUO E PULSADO.....	43
1. INTRODUÇÃO.....	45
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4. CONCLUSÕES.....	66

REFERÊNCIAS.....	66
CAPÍTULO III.....	74
ACÚMULO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELO FEIJÃO-CAUPI	
FERTIRRIGADO POR GOTEJAMENTO CONTÍNUO E PULSADO.....	75
1. INTRODUÇÃO.....	77
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	78
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	87
4. CONCLUSÕES.....	104
REFERÊNCIAS.....	105
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	111

RESUMO GERAL

O feijão-caupi (*Vigna Unguiculata* L. Walp.) é uma leguminosa cultivada em todo o território nacional, com destaque para as regiões Norte e Nordeste do Brasil. No entanto, essas regiões ainda possuem baixos índices produtivos, devido a limitações hídricas e ao pouco investimento em tecnologias que contribuam para a melhoria da produção. Deste modo, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do uso da adubação convencional e de lâminas de fertirrigação aplicadas por gotejamento contínuo e pulsado sobre a produção de grãos verdes, acúmulo e exportação de nutrientes pela cultura do feijão-caupi. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 5x2+2, sendo cinco lâminas de irrigação equivalentes 40, 60, 80, 100 e 120% da evapotranspiração da cultura (ETc), combinadas com dois tipos de aplicação de fertirrigação (pulsada e contínua), mais dois tratamentos adicionais (adubação convencional irrigada por pulso e de forma contínua). Os tratamentos adicionais foram irrigados com lâmina de 100% da ETc. Foi adotado um delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. Para a avaliação da produção do feijão-caupi as variáveis analisadas foram número de vagens, Número de grãos, massa fresca e seca de vagens, massa fresca e seca de grãos, massa fresca e seca total da parte aérea. Em relação ao acúmulo e exportação dos nutrientes pelo feijão-caupi foram analisadas as variáveis nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn) e ferro (Fe). As lâminas de fertirrigação entre 80 e 100% da ETc foram as que proporcionaram melhor desempenho produtivo do feijão-caupi. As plantas irrigadas com a lâmina de 100% da ETc e adubadas convencionalmente apresentaram maiores rendimentos produtivos quando a aplicação da lâmina foi realizada de forma pulsada. A ordem decrescente de acúmulo total de nutrientes pela cultura do feijão-caupi, para ambos os tipos de aplicação da fertirrigação e para o manejo da testemunha 1 foi: N > K > Ca > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > Cu, Já para testemunha 2 foi: N > Ca > K > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > Cu. A ordem decrescente de exportação de nutrientes pelas vagens e grãos do feijão-caupi, para aplicação da fertirrigação por pulsos foi: N > P > Ca > K > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu. Já a aplicação da fertirrigação contínua apresentou a seguinte ordem: N > P > Ca > Mg > S > K > Fe > Zn > Mn > Cu. Para a testemunha 1 a ordem decrescente foi: N > P > Ca > K > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu e a ordem decrescente de exportação para testemunha 2 foi: N > Ca > K > P > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu.

Palavras-chaves: *Vigna unguiculata*; Rendimento de grãos; Fertirrigação por pulso e contínua, Adubação convencional; Nutrição mineral.

ABSTRACT

Cowpea (*Vigna Unguiculata* L. Walp.) is a legume cultivated throughout the national territory, especially in the North and Northeast regions of Brazil. However, these regions still have low production rates, due to water limitations and little investment in technologies that contribute to the improvement of production. Thus, the objective of this work was to evaluate the effect of the use of conventional fertilization and fertigation blades applied by continuous and pulsed drip on the production of green grains, accumulation and export of nutrients by the cowpea crop. The treatments were arranged in a 5x2+2 factorial scheme, with five irrigation depths equivalent to 40, 60, 80, 100 and 120% of crop evapotranspiration (ETc), combined with two types of fertigation application (pulsed and continuous), plus two additional treatments (conventional fertilization irrigated by pulse and continuously). Additional treatments were irrigated with a water depth of 100% ETc. A randomized block design with four replications was adopted. For the evaluation of cowpea production, the variables analyzed were number of pods, number of grains, fresh and dry mass of pods, fresh and dry mass of grains, fresh and dry mass of the shoot. Regarding the accumulation and export of nutrients by cowpea, the variables nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S), manganese (Mn) were analyzed. , copper (Cu), zinc (Zn) and iron (Fe). The fertigation depths between 80 and 100% of ETc were the ones that provided the best productive performance of cowpea. Plants irrigated with 100% ETc water depth and conventionally fertilized showed higher yields when the water depth was applied pulsed. The decreasing order of total nutrient accumulation by cowpea crop, for both types of fertigation application and for control 1 management was: N > K > Ca > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > Cu, for witness 2 it was: N > Ca > K > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > Cu. The decreasing order of nutrient export by cowpea pods and grains for pulse fertigation application was: N > P > Ca > K > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu. The application of continuous fertigation presented the following order: N > P > Ca > Mg > S > K > Fe > Zn > Mn > Cu. For witness 1 the descending order was: N > P > Ca > K > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu and the descending order of export for witness 2 was: N > Ca > K > P > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu.

Keywords: *Vigna unguiculata*; Grain yield; pulse and continuous fertigation, Conventional fertilization; Mineral nutrition.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL / OBJETIVOS / HIPÓTESES / REVISÃO DE LITERATURA

1. INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-caupi (*Vigna Unguiculata* L. Walp.) é conhecido popularmente como feijão de corda ou macassar, é considerado uma leguminosa que possui grande importância na alimentação básica da população devido ao seu alto valor nutritivo, sendo rico em proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas e minerais. É cultivado principalmente nas regiões Norte e Nordeste do país, entretanto, o cultivo nessas localidades ainda possui baixos índices produtivos, devido a limitações hídricas e pouco investimento em tecnologias que contribuam para a melhoria da produção (Freire Filho, 2011; Silva et al., 2017; Coffigniez et al., 2018).

A cultura do feijão-caupi responde à aplicação de água de forma diferente, em termos de produtividade de grãos e de componentes de produção, a depender das cultivares utilizadas e das condições climáticas da região explorada (Ramos et al., 2014). Neste sentido, Silva et al. (2013), estudando diferentes cultivares de feijão-caupi para a produção de grãos verdes, verificaram que os diferentes níveis de água disponível no solo influenciaram significativamente no crescimento e na produtividade de grãos verdes de feijão-caupi.

Torres et al. (2020), ao estudarem o efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre a produção de feijão-caupi consorciado com o milho e com diferentes coberturas vegetais mortas, constataram que o feijão-caupi respondeu linearmente à irrigação e que sua máxima produtividade foi obtida com lâmina de irrigação de 1330 mm.

Neste sentido, tendo em vista os benefícios da irrigação para as culturas, a relevância no uso racional dos recursos hídricos e, visando-se o desenvolvimento de uma agricultura intensiva e sustentável, as inovações tecnológicas surgem como alternativa para o aumento da produtividade das culturas, melhoria da qualidade dos produtos e redução dos custos de produção. A esse respeito, a agricultura irrigada, nos últimos anos, tem implementado tecnologias que aprimoram a distribuição da água no solo e às culturas, proporcionando o uso racional dos recursos hídricos e o surgimento de novas áreas irrigadas (Barros et al., 2014; Ribeiro et al., 2017; Coelho et al., 2018).

Dentre os métodos de irrigação existentes, a irrigação por gotejamento se destaca por proporcionar um maior aproveitamento do uso da água e, quando combinada à aplicação de fertilizantes via água de irrigação, proporciona uma maior eficiência na disponibilização de água e de nutrientes às plantas. A prática da fertirrigação, quando bem manejada, aumenta a produção das culturas e permite o fracionamento de nutrientes ao longo do ciclo produtivo das mesmas, sendo os nutrientes aplicados de acordo com a demanda e exigência nutricional das plantas (Costa et al., 2015).

Uma tecnologia pouco estudada e difundida no Brasil, capaz de melhorar a eficiência do manejo da irrigação e da fertirrigação, é a irrigação por pulsos ou também chamada de intermitente. De acordo com Prats & Picó (2016), a irrigação por pulsos pode ser definida como sendo a aplicação de lâmina de irrigação de forma fracionada em uma série on-off. Estudos desenvolvidos com diferentes culturas em todo mundo, com a soja no Egito (Eid et al., 2013), com o tomate na Arábia Saudita (Elnesr et al., 2015), com a alface (Almeida et al., 2015) e coentro (Zamora et al., 2019; Menezes et al., 2020) no Brasil, testando diferentes intervalos e pulsos evidenciaram que tal técnica proporcionou efeito positivo sobre o desenvolvimento das culturas avaliadas e contribuiu para o uso racional da água e de fertilizantes.

Diante da importância econômica do feijão-caupi e, considerando os fatores limitantes de produção, como pouco investimento em recurso tecnológico e a baixa disponibilidade hídrica nas principais regiões produtoras dessa leguminosa no país, estudos capazes de definir um manejo adequado da adubação convencional e da fertirrigação para a produção de grãos verdes de feijão-caupi são de fundamental importância, tendo em vista o baixo número de pesquisas voltadas ao assunto. Outrossim, o conhecimento das respostas da cultura à fertirrigação pulsada e a diferentes lâminas de irrigação, poderá aprimorar o manejo da fertirrigação a ser praticado, visando maior rendimento, com maior retorno econômico e o uso racional dos recursos hídricos.

2. HIPÓTESES

- a.** A fertirrigação pulsada proporciona um maior rendimento de grãos verdes, um melhor equilíbrio nutricional e maiores valores de acúmulo e de exportação de nutrientes pela cultura em comparação com a fertirrigação aplicada de forma contínua;
- b.** A adubação convencional associada à irrigação aplicada de forma pulsada proporciona um maior rendimento de grãos verdes, um melhor equilíbrio nutricional e maiores acúmulo e exportação de nutrientes pela cultura em comparação com a adubação manejada de forma convencional e irrigada de forma contínua;
- c.** A utilização da fertirrigação pulsada com lâminas menores que 100% da ET_c proporciona rendimentos de grãos verdes, acúmulo e exportação de nutrientes e equilíbrio nutricional pela cultura iguais ou superiores àqueles obtidos com a adubação convencional associada à irrigação, com a lâmina de 100% da ET_c , independentemente da forma de aplicação (contínua ou pulsada).

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

Avaliar o efeito do uso da adubação convencional e de lâminas de fertirrigação aplicadas por gotejamento contínuo e pulsado sobre a produção de grãos verdes, acúmulo e exportação de nutrientes pela cultura do feijão-caupi.

3.2. Específicos

- a. Determinar o acúmulo de matéria seca das plantas em função da utilização da adubação convencional e das lâminas de fertirrigação aplicadas por gotejamento pulsado e contínuo;
- b. Quantificar, por ocasião da colheita das plantas, os acúmulos de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn e Zn pela cultura;
- c. Quantificar a exportação dos macros e dos micronutrientes acima mencionados pelos frutos das plantas (vagens + sementes);

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Aspectos econômicos da cultura do feijão-caupi

O feijão-caupi pertence à família Fabaceae e é classificado como uma leguminosa da espécie *Vigna unguiculata* (L) Walp). A cultura possui vários nomes vulgares sendo conhecido como feijão-de-corda, feijão-de-praia, feijão-de-estrada, feijão-de-rama, feijão-fradinho ou macassar. É considerado uma cultura de grande importância na dieta alimentar, destacando-se principalmente na região Norte e Nordeste do Brasil, sendo seu consumo na forma de grãos verdes ou de grãos secos (Neves et al., 2011; Freire Filho et al., 2011).

Segundo a FAOSTAT (2021), os maiores produtores mundiais de feijão são Myanmar, Índia, Brasil, Estados Unidos, México, Quênia e Burundi responsáveis por 57% do total produzido no mundo, correspondente a 15,3 milhões de toneladas. Salvador (2020) destaca que o continente asiático, representado por Índia, Myanmar e China corresponde a cerca de 42% do total da produção mundial de feijão. O Brasil é o terceiro maior produtor, com 10% em média do total mundial, representados pela produção de feijão do tipo preto, cores e caupi.

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2021), a 1ª safra de feijão, no Brasil, foi estimada em 1.242,9 mil toneladas. Já a 2ª e a 3ª safras apresentaram uma redução na produção do feijão em 0,7% (1.153,6 mil toneladas) e 0,1% (553,7 mil toneladas), respectivamente. Esse resultado para produção de feijão no país ocorreu devido a

aumentos nas estimativas de produção em Minas Gerais (0,1%), Mato Grosso (9,1%), Mato Grosso do Sul (12,5%), Alagoas (107,4%), Tocantins (32,4%) e Paraíba (47,3%). Com destaques negativos para Distrito Federal (-90,3%), Bahia (-37,6%) e Pernambuco (-73,3%). As maiores estimativas de produção, para esta safra, foram dos estados do Paraná (40,0%), Minas Gerais (14,8%) e Mato Grosso (11,0%).

Com relação à produção de feijão-caupi, no período de 2016 a 2018, a produção dessa leguminosa, foi de aproximadamente 7 milhões de toneladas, sendo a África Ocidental detentora da maior área produtora deste tipo de feijão, se destacando a Nigéria, país considerado maior produtor de feijão-caupi, respondendo a 39% do volume médio mundial da produção, seguido pelo Níger com 30% (Salvador, 2020).

No Brasil, a estimativa de produção nacional é de 189,4 mil toneladas de feijão-caupi na primeira safra (2020/2021), proporcionando um incremento de 58% em comparação ao volume obtido na safra de 2019/2020. Os estados que se destacaram na produção do feijão-caupi, nessa safra, foi o Piauí e a Bahia, que tradicionalmente destinam expressivas porções de área para o cultivo da cultura. (CONAB, 2021).

Apesar da região Nordeste apresentar grande produção desse grão, isso não tem se refletido no retorno econômico, tendo em vista que os Estados produtores dessa região apresentam baixos investimentos tecnológicos para auxiliar na produção. Incrementos tecnológicos permitiria uma maior exploração do potencial da cultura culminando em um maior retorno financeiro. Outro aspecto que influencia na produtividade de feijão-caupi, na Região Nordeste, diz respeito ao fator edafoclimático, pois, boa parte da produção dessa leguminosa se encontra no semiárido brasileiro (Freire Filho et al., 2011).

4.2. Aspectos botânicos e fenológicos da cultura

O feijão-caupi é uma dicotiledônea, pertencente à ordem Fabales, família Fabaceae, gênero *Vigna* e espécie *Vigna Unguiculata*. A planta possui porte herbáceo, reprodução do tipo autógama e seu ciclo podem variar em média de 60 a 90 dias após a semeadura, dependendo da variedade cultivada, podendo ser classificadas em ciclos superprecoce (60 dias após a semeadura), precoces (61 a 70 dias) e médio precoce (71 a 80 dias) (Cardoso, 2000; Freire Filho et al., 2005; Freire Filho et al., 2011).

É uma cultura que tem a capacidade de se adaptar a solos de baixa fertilidade e locais com pouca disponibilidade hídrica. Possui metabolismo do tipo C3 e a capacidade fotossintética máxima de suas folhas é obtida a partir do 20º dia após a formação (Teófilo, 2008).

Chagas Júnior et al. (2009) acrescentam que o sistema radicular do feijão-caupi é axial, com raízes superficiais envolta de uma raiz principal pivotante que pode atingir dois metros de profundidade, conferindo à espécie a capacidade de suportar períodos sem irrigação. Outro aspecto a ser considerado das raízes é a presença de nódulos que auxiliam na absorção de nitrogênio, que é realizada através de microrganismos conhecidos como rizóbios, em um processo denominado de fixação biológica de nitrogênio (FBN).

O caule do feijão-caupi possui haste principal da qual se originam os ramos, podendo apresentar diversos tipos de porte, classificados como ereto, semiereto, semiprostado e prostado, com número de nós e ramificações variáveis (Freire Filho et al., 2005). As folhas são trifolioladas, com estípulas na base do pecíolo, com os dois folíolos laterais oblíquos em relação ao central. As flores são perfeitas, zigomorfas e distribuídas aos pares no racemo, apresentam cálice do tipo pentâmero com coloração que pode variar de verde a roxa (Bezerra, 1997; Freire Filho et al., 2011).

Já as vagens apresentam variações quanto à forma, tamanho, número de sementes e cor, nas quais as sementes se apresentam distribuídas linearmente ao longo da vagem, que, por sua vez, medem de 15 a 20 cm de comprimento, com peso em torno de 5 a 30 g, com tegumento liso ou rugoso, enquanto o maior número de vagens por planta pode influenciar o aumento da produtividade de grãos (Araújo, 1984; Santos et al., 2009).

Os estádios fenológicos do feijão-caupi podem sofrer variações de acordo com a cultivar escolhida e as condições climáticas do local. No entanto, são estabelecidas duas fases distintas: vegetativa e reprodutiva. Segundo Campos et al. (2000), a fase vegetativa é composta por 10 estádios (V0 a V9) e a reprodutiva, por cinco (R1 a R5).

A fase V0 corresponde à sementeira e o estágio V1 é caracterizado pela emergência dos cotilédones na superfície do solo. Na fase V2 as plantas apresentam folhas unifolioladas e completamente abertas, em V3 há a ocorrência da primeira folha trifoliolada, com os folíolos separados e completamente abertos, e em V4 e V5 surgem a segunda e terceira folhas trifolioladas, respectivamente. Já em V6 tem o aparecimento dos ramos secundários nas axilas das primeiras folhas unifolioladas, podendo ser observados também nas axilas das primeiras folhas trifolioladas. Em V7, V8 e V9 surgem a primeira, a segunda e a terceira folhas dos ramos secundários, completamente abertas, tendo assim o fim da fase vegetativa (Vale et al., 2017a).

A fase reprodutiva se inicia em R1, quando surge o botão floral no ramo principal. Em R2 ocorre a antese da primeira flor, em que, ao atingir essa fase, ocorre a abertura dos botões florais por vários dias consecutivos. Ao atingir o estágio R3, tem-se o amadurecimento da primeira vagem e início da mudança da coloração das vagens, devido ao processo de secagem.

O R4 é caracterizado como sendo o estágio em que as plantas atingem 50% de maturação, já R5 corresponde a 90% de maturidade das vagens, com isso, as plantas encerram seu ciclo (Vale et al., 2017a).

4.3. Principais cultivares no Brasil e no Nordeste

De acordo com Vale et al. (2017b), no Brasil existem cerca de 73 cultivares de feijão-caupi, tendo nos últimos 15 anos sido lançadas variedades com potencial médio produtivo em condições de sequeiro em torno de 1.000 kg ha⁻¹ na região Norte, 1.180 kg ha⁻¹ na região Nordeste e de 1.350 kg ha⁻¹ na região Centro Oeste. Já para o cultivo irrigado, na região Nordeste, os autores afirmam que a média obtida para o potencial produtivo dessas variedades foi de 1.530 kg ha⁻¹.

Guerra et al. (2020) constataram que o desempenho produtivo do feijão-caupi depende da escolha correta da cultivar para um determinado ambiente e sistema de produção, bem como devem-se considerar características da cultivar que atendam às exigências do produtor e do mercado consumidor. Para realizar a avaliação das cultivares, devem-se considerar suas características agronômicas nas condições edafoclimáticas das regiões em que serão cultivadas e seu potencial produtivo, uma vez que as cultivares apresentam diferentes comportamentos de desenvolvimento em relação a diferentes tipos de clima e solo (Santos et al., 2009; Neves et al., 2011).

Dentre as cultivares de feijão-caupi cultivadas no Brasil, destaca-se a BRS Guariba, que possui ciclo de maturação precoce (60-65 dias) e porte semiereto com coloração do grão do tipo comercial branco-liso. Essa cultivar é conhecida por contribuir com o avanço da produção de feijão-caupi na região Centro-Oeste do Brasil, pois, devido às suas características agronômicas tornou possível o cultivo de feijão-caupi totalmente mecanizado (Rocha & Menezes Junior, 2017).

Outra cultivar que se destaca é a BRS Novaera, essa cultivar tem porte semiereto, alta resistência a acamamento e uma boa desfolha natural, o que a torna com grande potencial para colheita mecanizada, seus grãos bem formados se enquadram no padrão de preferência de grande parte dos consumidores nacionais e do mercado internacional (Freire Filho et al., 2008).

A cultivar BRS Tumucumaque também apresenta destaque no cultivo do feijão-caupi com bom desempenho na produção de grão seco e verde. Como características agronômicas apresenta porte semiereto, resistência ao acamamento e ciclo precoce (60-65 dias). Os grãos

são brancos com alto teor de ferro e zinco, e as vagens quando secas são roxas (Oliveira et al., 2014).

Oliveira et al. (2014), ao avaliarem o desempenho produtivo da cultivar BRS Tumucumaque, nos anos de 2010, 2011 e 2012, em cinco ambientes do Estado do Amazonas, em condições de terra firme e de várzea, tendo como testemunha a BRS Guariba, constataram que a BRS Tumucumaque obteve produtividade média de $1.158,0 \text{ kg ha}^{-1}$, superando a testemunha BRS Guariba em 15,5%. Em ambiente de terra firme a cultivar BRS Tumucumaque obteve uma produtividade de $1.154,2 \text{ kg ha}^{-1}$, sendo 17,4% a mais que a testemunha. Já em ecossistema de várzea, a cultivar atingiu a produtividade média de $1.173,2 \text{ kg ha}^{-1}$, superando em 8,9% a produtividade da testemunha BRS Guariba.

Em outros estudos realizados pela Embrapa, a cultivar BRS Tumucumaque apresentou produtividade em condições de sequeiro de 1.100 kg ha^{-1} na Região Norte, 1.095 kg ha^{-1} na Região Nordeste, 1.100 kg ha^{-1} na Região Centro-Oeste e 1.848 kg ha^{-1} na Região Sudeste (Rocha & Menezes Junior, 2017). Já em ensaios realizados por Almeida et al. (2017), em três épocas de semeadura no cerrado de Uberaba-MG, em condições de sequeiro, esta cultivar chegou a atingir produtividade de 3.071 kg ha^{-1} quando semeada em meados de fevereiro.

A BRS Intaim, cultivar que possui ciclo de maturação precoce (60-65 dias) e porte ereto, também se destaca por ter grãos fradinhos típicos e bem formados, sendo considerada a cultivar que possui grão mais adequado para exportação. Em ensaios realizados pela Embrapa, a cultivar BRS Itaim apresentou potencial produtivo em condições de sequeiro de 1.500 kg ha^{-1} na Região Norte, 1.166 kg ha^{-1} na Região Nordeste, 2.655 kg ha^{-1} na Região Centro-oeste e 1.500 kg ha^{-1} na Região Sudeste (Vilarinho et al., 2010; Rocha & Menezes Junior, 2017).

A cultivar IPA-206 é uma cultivar que se destaca no Estado de Pernambuco, no qual possui porte semiereto, ciclo precoce (65-70 dias), potencial produtivo em condições de sequeiro de 680 kg ha^{-1} , e em regime irrigado de $1.487,2 \text{ kg ha}^{-1}$ (Santos et al., 2007).

4.4. Manejo da cultura: correção da acidez do solo, plantio, colheita e utilização da cultura

A correção de acidez do solo deve ser realizada com base na análise química do solo e seguindo procedimentos metodológicos específicos preconizados em manuais de recomendação de adubação para a cultura. Atualmente a recomendação de calagem é feita com ênfase na porcentagem de saturação de alumínio no solo. Para a cultura do feijão-caupi recomenda-se calagem quando essa porcentagem de saturação de alumínio for maior ou igual a 20%. Para realizar a calagem, geralmente são utilizados calcários do tipo calcítico ou

dolomítico e devem ser aplicados no mínimo dois meses antes da semeadura, para que se obtenham os efeitos esperados (Neves et al., 2017).

Para a realização do plantio é necessário o conhecimento prévio da cultivar a ser plantada, de modo que o plantio seja planejado de tal forma que a colheita seja realizada fora do período chuvoso, evitando-se perdas de vagens e de grãos por ataques de pragas e doenças. Dessa forma, considerando o ciclo da cultivar escolhida, o plantio deve ser realizado no meio ou final do período chuvoso, podendo este ser realizado de forma manual, com tração animal ou mecanizado (Neves et al., 2011).

Os espaçamentos utilizados no plantio variam conforme o porte da planta. Em casos de cultivares de porte prostrado ou semiprostrado é recomendado espaçamento de 80 a 100 cm entre linhas e 25 cm entre plantas, deixando duas plantas em cada cova após o desbaste. Para cultivar que apresenta porte ereto e semiereto deve-se usar espaçamentos de 50 a 60 cm entre linhas e 25 cm entre plantas, deixando duas plantas por cova após o desbaste (Neves et al., 2011).

Para plantio em vasos, recomenda-se que os vasos sejam dispostos ao acaso com espaçamento entre plantas de 50 cm. A semeadura deve ser realizada com três sementes a dois cm de profundidade, sendo realizado o desbaste no quinto dia após a emergência das plantas, deixando-se apenas uma planta por vaso (Coelho et al., 2014).

A colheita é considerada uma das etapas mais importantes no processo produtivo do feijão-caupi, pois, a qualidade final do produto, seja grão verde ou grão seco, depende de uma colheita na época correta e realizada de forma adequada (Campos et al., 2000).

A colheita do feijão-caupi para grãos verdes deve ser realizada quando estes atingirem o teor de sólidos para o qual estão geneticamente programados, no início da maturidade fisiológica. Os grãos verdes devem conter 60 a 70% de umidade, sendo o ponto de colheita identificado pelo intumescimento e pela leve mudança de cor das vagens. Em relação à coloração das vagens, como critério de identificação do ponto de colheita, deve-se atentar para as cultivares que possuem vagens de coloração roxa, pois é quase imperceptível quando ela está madura e seca, dificultando o reconhecimento do ponto ideal de colheita, induzindo a colheita de vagens em períodos de maturação diferenciada (Lima et al., 2003; Andrade et al., 2010).

No Brasil, os agricultores familiares são considerados os principais produtores de feijão-caupi com finalidade para grãos verdes. Esses agricultores, em sua maioria, cultivam o feijão-caupi em regime de sequeiro e colhem as vagens manualmente, posteriormente, as vagens imaturas são comercializadas em feiras e mercadinhos em formas de molho ou a granel (Freire Filho et al., 2011).

O feijão-caupi é considerado uma cultura de subsistência familiar, em que a maior parte da produção é realizada por pequenos e médios produtores, que direcionam a produção inicialmente ao consumo da família e o excedente para venda (Andrade et al., 2013).

No Nordeste brasileiro, essa cultura é considerada uma comida típica, sendo uma importante fonte de renda e geração de emprego, não se restringindo à zona rural, mas também difundida na zona urbana e em especial no Sertão nordestino (Nascimento et al., 2012; CONAB, 2014). Para a produção de feijão-caupi destinada à alimentação humana, o consumo ocorre por meio de grãos secos ou grãos verdes, in natura, na forma de conserva ou desidratados (Andrade Júnior et al., 2002).

Dutra & Teófilo (2007) afirmam que além dessas alternativas de consumo, o feijão-caupi é utilizado como feno, forragem verde, ensilagem, farinha para a alimentação animal, adubação verde e proteção do solo. Pereira et al. (2013) afirmam que apesar do alto potencial socioeconômico da cultura e seus diferentes usos na alimentação humana, é necessário o emprego de tecnologias para ampliar a produção da cultura.

4.5. Produção de grãos verdes de feijão-caupi

O feijão-caupi é uma cultura versátil devido à sua grande variabilidade genética, podendo ser utilizado para várias finalidades e em diversos sistemas de produção, e a sua comercialização é feita na forma de grãos secos e grãos imaturos (feijão-verde) (Andrade et al., 2010).

A produção de grãos verdes do feijão-caupi corresponde ao estágio de desenvolvimento da planta em que suas vagens se encontram próximas ao período de maturação, estágio em que a planta cessa o acúmulo de fotossintatos e inicia o processo de desidratação natural. Na fase de grão imaturo, a umidade se apresenta em torno de 60 a 70% e os teores de fibras alimentares de 7,4 g 100g⁻¹ (Salgado et al., 2005; Sousa et al., 2015).

Freire Filho et al. (2007) relatam que para identificar o ponto de colheita do feijão-caupi na fase de grão verde, deve ser observado o intumescimento das vagens e a leve mudança de cor. Quando identificadas essas características, o feijão é colhido, podendo ser consumido ou comercializado na forma de vagem ou grãos debulhados.

Já para fins de produção, devem ser considerados aspectos como o tipo de cultivar e sistema produtivo que será adotado. Para o produtor de base familiar, recomendam-se cultivares de crescimento indeterminado, porte semiprostrado, vagens grandes e amplo ciclo reprodutivo. Já para a agricultura empresarial, é indicada cultivar que apresente crescimento determinado,

porte ereto e semiereto, ciclo super precoce a precoce, maturação uniforme, de fácil debulha e com longo período de preservação pós-colheita (Sousa et al., 2015).

Para Rocha et al. (2017), em sistemas de cultivo do feijão-caupi de grão verde, devem ser consideradas características como vagens atrativas, uniformes e bem granadas, ter boa capacidade de conservação pós-colheita, preservando o brilho e a cor verde, serem de fácil debulha manual e mecânica. Para a comercialização em forma de grãos verdes, é necessário que os mesmos apresentem bom aspecto pós debulha, ser claro e baixa perecibilidade.

Do ponto de vista econômico, a produção de feijão-verde contribui na geração de emprego e renda, sendo parte da sua produção desempenhada pela agricultura familiar, tendo em vista que a comercialização dos grãos e das vagens verdes requer muito trabalho manual. No entanto, é um produto com preços atrativos e com potencial para avançar no processamento industrial, como enlatamento, resfriamento e congelamento (Andrade et al., 2010; Freire Filho et al., 2011).

Para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste a comercialização de feijão-verde é importante, sendo o cultivo de caupi-verde, predominantemente, exercido pelo pequeno agricultor, em sequeiro, com baixos investimentos tecnológicos. Entretanto, o aumento da produção de feijão-caupi, em condições de irrigação, tem crescido, sendo principalmente utilizado por agricultores empresariais com um maior nível de tecnologia (Silva et al., 2013; Sousa et al., 2015).

4.6. Irrigação localizada

Devido ao crescimento populacional no mundo a demanda na produção de alimentos tem aumentado significativamente. Por outro lado, a disponibilidade de água para a agricultura tem se tornado mais limitada em função dos embates ambientais e ecológicos. Diante disso, o uso eficiente da água de irrigação tem se tornado ponto chave para a sustentabilidade e rentabilidade das culturas (Padrón et al., 2015).

Deste modo, a irrigação localizada, por permitir um melhor aproveitamento da água, tem apresentado um crescente índice de adoção por parte dos produtores, sendo definida como o método de irrigação que consiste na aplicação de água no solo próximo as raízes das plantas (Testezlaf & Matsura, 2015).

Neste sistema, a área molhada do solo é reduzida, acarretando em uma menor perda de água por evaporação. Como vantagens, o método de irrigação localizada se destaca pela redução da necessidade de mão de obra, facilidade de aplicação de fertilizantes, adaptação a

diferentes solos e topografias, menor evaporação da água aplicada e, conseqüentemente, maior aproveitamento hídrico, redução de pragas e doenças agrícolas e da salinidade do solo (Awasthy et al., 2014; Frizzzone, 2015; Silva et al., 2017).

No método de irrigação localizada, destacam-se a microaspersão e o gotejamento, no qual a microaspersão consiste na irrigação realizada conforme a aspersão convencional, no entanto apresenta menor área de molhamento e vazão. Já o gotejamento consiste na irrigação em que se aplica água de forma lenta e diretamente na zona radicular das plantas, através de tubos gotejadores e em uma vazão baixa em relação aos sistemas de aspersão (Liu & Huang, 2009).

4.7. Irrigação por gotejamento pulsado ou intermitente

O sistema de irrigação localizada por gotejamento é caracterizado por aplicar a água diretamente entre o solo e a raiz da planta, contribuindo para o desenvolvimento das plantas, redução no aparecimento de doenças nas partes aéreas das culturas e por favorecer a redução no consumo de insumos químico, resultando no aumento da produtividade da cultura (Andrade et al., 2017). O uso de um sistema de irrigação tem como objetivo aplicar água de forma que boa parte fique disponível para o aproveitamento pelas plantas. Deste modo, a distribuição da água no solo deve proporcionar o desenvolvimento adequado das raízes (Biscaro, 2016).

De acordo com Barros et al. (2020), o sistema de irrigação por gotejamento pode apresentar alta eficiência de aplicação de água, o qual é frequentemente citado como sendo superior a 90%, desde que se consiga o controle de fontes de perda como lixiviação, escoamento superficial, evaporação e deriva pelo vento. Smith et al. (2010) afirmam que a capacidade de obtenção de maiores níveis de eficiência do sistema está mais relacionada à função do próprio sistema do que às suas características intrínsecas.

A irrigação por gotejamento tem como características pequenas vazões e alta frequência, em que esses aspectos configuram ao sistema vantagens que influenciam nos principais indicadores de eficiência, destacando-se a uniformidade de distribuição de água na parcela irrigada. Vieira (2020) explica que o dimensionamento hidráulico incorreto do sistema ou problemas na instalação do equipamento no campo, podem ocasionar problemas na uniformidade de distribuição da água. Neste sentido, tal problema é considerado grave, tendo em vista que a limpeza e substituição dos gotejadores entupidos possui um custo elevado.

Deste modo, a realização de práticas que minimizem as perdas ou problemas com entupimento de emissores, proporcionando uma correta aplicação de água, se faz necessário.

Neste caso, recomenda-se uma técnica de aplicação parcelada da lâmina de irrigação, também conhecida como irrigação por pulsos (Pereira et al., 2010).

A irrigação por pulsos é definida como sendo uma série de ciclos, definidos no momento da operação, no qual cada ciclo consiste de uma fase de irrigação e uma de repouso (Karmeli & Peri, 1974; García-Prats & Guillem-Picó, 2016). Dito isto, é importante diferenciar irrigação por pulsos de turno de rega. A primeira refere-se à série de ciclos de irrigação, no qual cada ciclo possui duas fases, uma fase de operação por curto período de tempo, seguido por uma fase de repouso e mais um curto período de irrigação subsequente, em que esse mecanismo segue até que toda água de irrigação seja aplicada. Enquanto que o turno de rega refere-se ao intervalo de tempo, em dias, entre duas irrigações sucessivas (Almeida, 2012; Okasha et al., 2015).

Bakeer et al. (2009) explicam que a técnica de irrigação por pulsos pode ser aplicada a qualquer sistema de irrigação, no entanto, é mais aplicado em sistemas de irrigação por gotejamento, e vem sendo utilizada e difundida em todo mundo, devido aos seus efeitos positivos sobre o aumento da produtividade, melhoria na qualidade dos produtos e redução do uso de água.

Abdelraouf et al. (2012) relataram em seu trabalho os benefícios do gotejamento por pulsos sobre o entupimento dos gotejadores. A pesquisa foi conduzida com a cultura da batata e os gotejadores utilizados tinham vazão de 2,1 L/h. Os autores constataram que a redução do entupimento foi proporcional ao número de pulsos, sendo essa redução atribuída ao fato da técnica de pulsos criar uma turbulência no fluxo de água, evitando o acúmulo de partículas suspensas no canal do fluxo e nas saídas dos emissores.

Já em trabalhos realizados por Bakeer et al. (2009), Almeida (2012), Eid et al. (2013) e Almeida et al. (2015) testando diferentes números de pulsos nas culturas da batata, alface, soja e da abrobrinha italiana, respectivamente, foi observado aumento no rendimento das culturas juntamente com um bom resultado a respeito da eficiência do uso da água, em que foi relatado que houve uma economia de 25% da água sem diminuir a produtividade.

Estudos realizados por Soares et al. (2017) sobre o efeito de altas frequências de irrigação (1, 3, 7, 13 e 21 pulsos) e diferentes coberturas mortas, realizados nas características físicas dos frutos da goiabeira, indicaram que o maior número de pulsos de irrigação proporcionou melhorias na espessura da casca e no diâmetro da polpa dos frutos de cultura.

4.8. Estresse hídrico

O estresse hídrico é caracterizado por Fernandes et al. (2015) como sendo resultado da

deficiência hídrica ou excesso de água disponível para as plantas devido à ocorrência de drenagem deficiente ou aplicação excessiva de água de irrigação.

O feijão-caupi, por apresentar potencial de cultivo em regiões com limitações hídricas, é cultivado, predominantemente, em regiões áridas que estão propícias às condições de déficit hídrico (Freire Filho et al., 2011; Souza et al., 2016). No entanto, segundo Aida et al. (2002) e Muchero et al. (2009) em decorrência do estresse hídrico, o feijão-caupi apresenta desde queda de flores a abortamento das vagens, ocasionando perdas na produção.

Como consequência do déficit hídrico para as plantas, tem-se a desidratação celular, acarretando a redução no potencial de pressão (turgor), redução de atividades celulares, queda foliar, inibição da atividade fotossintética, desestabilização de membranas e proteínas e morte celular (Taiz & Zeiger, 2013; Taiz et al., 2017).

Nas sementes, os principais efeitos causados pelo déficit hídrico são redução da porcentagem de germinação, aumento do tempo médio para germinação, redução da raiz primária e do hipocótilo (Rabani et al., 2013; Larré et al., 2014; Demontiêzo et al., 2016; Freire et al., 2018).

Em estudos realizados por Brito et al. (2015) sobre a produtividade de grão de feijoeiro, foi observada redução no número de vagens por planta, diminuição do comprimento das vagens e no número de grãos por vagens, sob condições de deficiência hídrica, tendo como consequência decréscimos na produtividade dos grãos.

Já em ensaios realizados por Bastos et al. (2011), foi constatado que o déficit hídrico reduziu em 20% o índice médio de área foliar, 175% o número médio de vagens por planta e em 60% a produção de grãos secos em genótipos de feijão-caupi.

A redução da produtividade de grãos em decorrência do déficit hídrico é explicada por Taiz & Zeiger (2009), no qual os autores afirmam que nessa condição a planta sofre redução da condutância e da transpiração foliar acarretando no aumento da temperatura foliar e na redução na produção de fotoassimilados, refletindo-se na redução da produtividade de grãos.

4.9. Manejo da adubação

Melo et al. (2017) afirmam que o emprego de fertilizantes na produção agrícola é uma etapa complexa no processo produtivo devido à interação entre a cultura em exploração e o ambiente, além de ser um dos componentes onerosos dos custos variáveis da produção.

Oliveira et al. (2001) afirmam que para um bom desenvolvimento e rendimento do feijão-caupi é necessário o fornecimento de uma adubação equilibrada, principalmente em nitrogênio

(N), fósforo (P) e potássio (K). Martins et al. (2017) constatarem que a correção da fertilidade do solo pode ser realizada de diversas formas, porém a forma mais usual é pela aplicação de fontes solúveis de N, P e K, no momento do plantio ou em cobertura.

Xavier et al. (2017) explicam que a planta do feijão-caupi possui alta eficiência de fixação de N atmosférico através do processo de nodulação, podendo o cultivo dessa leguminosa dispensar a adubação nitrogenada, proporcionando economia na aquisição de fertilizantes nitrogenados.

Nesse contexto, visando um manejo adequado da correção da fertilidade do solo, é necessário considerar dois aspectos: a mobilidade dos íons no solo e os mecanismos de contato entre as raízes e os íons no solo, que, considerando-se os três nutrientes mais absorvidos pelas plantas, N e K se destacam pela elevada solubilidade e mobilidade no solo. Já o P é considerado de baixa mobilidade e solubilidade no solo, entrando em contato com as raízes da planta através da interceptação radicular (Martins et al., 2017).

Ainda de acordo com os autores supracitados, recomenda-se fazer a adubação com fontes de P no plantio, depositando o fertilizante de lado e abaixo das sementes, e com fontes de N e K a adubação deve ser realizada de forma parcelada, sendo parte no plantio e parte em cobertura. No caso do feijão-caupi a maior parte dos seus genótipos são de ciclo curto, logo, a adubação de cobertura deve ser feita até 30 dias após o plantio (Martins et al., 2017).

4.10. Fertirrigação

A fertirrigação consiste na combinação de água e de nutrientes, dois fatores essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (Sabat et al., 2019). A prática da fertirrigação pode ser utilizada como complemento da adubação de plantio ou como via exclusiva de fornecimento de fertilizantes para nutrição das plantas.

Dentre as vantagens da fertirrigação estão a possibilidade de aplicar fertilizantes de forma uniforme e na região de maior concentração de raízes, além de possibilidade da adequação da quantidade e da concentração de nutrientes a ser aplicada de acordo com a demanda de cada fase fenológica da cultura (Biscaro & Oliveira, 2014).

Borges & Silva (2011) afirmam que na fertirrigação se pode utilizar qualquer fertilizante, desde que os mesmos apresentem características químicas adequadas. Deste modo, algumas características dos fertilizantes são elencadas, tais como alta concentração, elevada pureza, baixa acidez e solubilidade, propriedade esta que varia com a temperatura e pureza da água.

Para atender às exigências nutricionais das plantas é necessária a aplicação de diversas fontes de nutrientes. No entanto, na fertirrigação, quando há mistura de dois ou mais nutrientes é necessário que haja um conhecimento prévio da compatibilidade dos fertilizantes, para que não haja formação de compostos insolúveis. Caso seja confirmada a incompatibilidade dos íons, deve-se realizar a aplicação alternada de fertilizantes isoladamente (Borges & Silva, 2011).

Borges & Coelho (2009) acrescentam que o uso da fertirrigação se adequa melhor a sistemas de irrigação localizados, com destaque para a irrigação por gotejamento, pois a maior parte do sistema radicular da planta se localiza nas regiões de maior umidade do solo.

Diante do exposto, Mantovani et al. (2012) afirmam que para uma correta aplicação da fertirrigação alguns fatores devem ser considerados, tais como a escolha dos fertilizantes, o tipo de solo, as exigências nutricionais da cultura, a qualidade e a quantidade da água de irrigação, assim como a uniformidade de aplicação dos fertilizantes.

4.11. Produção da cultura

Em trabalho realizado por Guimarães et al. (2020) com objetivo de avaliar o desempenho produtivo do feijão-caupi sob diferentes níveis de irrigação e adubação, em ambiente protegido, os autores evidenciaram que os grãos apresentaram maior produtividade com 72% de irrigação para a capacidade de vaso e a adubação NPK resultou em incremento no número de vagens por planta de 105,5%, bem como, a produtividade de grãos de 135,7%.

Já Bezerra et al. (2018), estudando o desenvolvimento do feijão-caupi submetido a diferentes doses de fósforo, observaram um aumento de 168,4% no número de vagens por planta, comparando o tratamento com a máxima aplicação de P_2O_5 (240 kg ha⁻¹), com o tratamento controle (sem aplicação de P_2O_5). Os autores afirmaram que o número de vagens por planta foi o principal componente de produção do feijão-caupi e evidenciaram a importância desta característica e o efeito crescente dela quando submetida à adubação.

Com relação à produção do feijão-caupi irrigado, alguns trabalhos têm sido desenvolvidos nas regiões Norte e Nordeste do Brasil para definir lâminas de irrigação para feijão-verde (Ramos et al., 2012; Locatelli et al., 2014). Ramos et al. (2012), em seus estudos, obtiveram produtividade máxima de grão verdes de 2.937,3 kg ha⁻¹ com a variedade BRS Guariba e 2.492,9 kg ha⁻¹ com a variedade BRS Paraguaçu, utilizando lâminas de irrigação de 354 mm e 423 mm para a cultura do feijão-caupi.

Nogueira et al. (2019), estudando diferentes lâminas de irrigação para o cultivo de feijão-caupi, avaliaram a resposta em relação à produtividade de grãos verdes da variedade BRS

Tumucumaque, submetida às lâminas de água de 123,1 mm, 177,5 mm, 231,9 mm, 286,2 mm e 340,6 mm. Como resultado, os autores constataram que para a menor lâmina de irrigação, a cultura apresentou queda na sua produtividade e que a máxima produtividade da cultura (3.373 kg ha⁻¹) foi obtida com a aplicação da lâmina de 298 mm.

4.12. Nutrição Mineral

A nutrição mineral é importante para o desenvolvimento e produção das culturas agrícolas. A relação planta/nutriente está associada às quantidades dos nutrientes presentes em seu tecido vegetal, refletindo seu estado nutricional, o qual está condicionado pelos fatores genéticos e ambientais (Sampaio & Brasil, 2009).

Deste modo, a desordem nutricional em plantas pode ocasionar prejuízos na produtividade das culturas. Dentre os 17 nutrientes essenciais, nitrogênio, fósforo e o potássio desempenham um papel vital no crescimento e desenvolvimento de muitas culturas, pois participam diretamente de vários processos fisiológicos do ciclo de vida da planta (Nirgude, et al., 2018).

Nesse sentido, com o intuito de atingir a máxima capacidade produtiva das culturas, o conhecimento sobre as exigências nutricionais, durante seu ciclo vital, é importante para que se possam disponibilizar os nutrientes para as plantas de forma adequada (Grangeiro et al., 2011).

Os nutrientes utilizados pelas plantas são retirados da natureza, sejam eles orgânicos, como Carbono (C), Oxigênio (O) e Hidrogênio (H) ou minerais, que por sua vez são divididos em dois grupos: os macronutrientes, representados pelo nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S) e os micronutrientes compostos por boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn) e Níquel (Ni) (Domingos et al., 2015).

O desequilíbrio ou a insuficiência entre estes minerais podem ocasionar a absorção em excesso de nutrientes ou deficiência nutricional. Logo, é necessário o monitoramento desses nutrientes na planta e no solo, por meio de análises químicas (Domingos et al., 2015).

Leal & Prado (2008) explicam que as culturas podem apresentar alterações em seu metabolismo quando o solo não atende as exigências nutricionais das plantas, ocasionando falta de nutrientes, e, assim, desencadear uma desordem nutricional a nível de tecido, podendo ser caracterizado pelos sintomas visuais.

O feijoeiro é considerado uma planta exigente em nutrientes devido a seu ciclo curto, sistema radicular pequeno e pouco profundo, sendo o nitrogênio e potássio os nutrientes mais absorvidos seguidos do magnésio, enxofre, cálcio e fósforo (Bulisani, 1987).

De acordo com Rosolem & Marubayashi (1994) a absorção de nitrogênio acontece praticamente em todo ciclo da cultura do feijoeiro, sendo o período de maior exigência entre os 35 e 50 dias após a emergência da planta. Já o potássio apresenta dois períodos de maior demanda, entre 25 e 35 dias e 45 e 55 dias após a emergência e o fósforo apresenta maior demanda no período de 30 dias até os 55 dias da emergência, sendo acentuada no final do florescimento e no início da formação das vagens.

4.13. Teor nutricional, acúmulo e exportação de nutrientes

Informações sobre as quantidades de nutrientes acumuladas pelas culturas são de fundamental importância, pois auxiliam no programa de adubação das mesmas, proporcionando melhorias na qualidade da produção. A falta dessas informações pode acarretar problemas nutricionais, sejam eles pela falta ou pelo excesso de fertilizantes aplicados (Souza et al., 2012).

Segundo Kurtz (2015), a curva de acúmulo de nutrientes é uma ferramenta que auxilia no manejo da adubação e permite determinar as épocas que os nutrientes são mais exigidos pela cultura, de modo que previne deficiências que possam ocorrer ao longo do ciclo produtivo. Além disso, a quantificação dos nutrientes distribuídos na planta é importante para estimar a exportação e o retorno de nutrientes ao solo.

A exigência e o acúmulo nutricional podem ser determinados por meio de órgãos representativos das plantas, sendo a avaliação do estado nutricional da planta realizada pela diagnose foliar, que é um método de avaliação nutricional em que se analisam as folhas em períodos definidos do ciclo da planta. As folhas são consideradas como o órgão que melhor reflete o estado nutricional das plantas, respondem às variações no suprimento dos nutrientes já existentes no solo ou pela adição de fertilizantes (Raij, 1991; Malavolta, 2006; Fontes, 2011).

Epstein & Bloom (2006) acrescentam que desde a germinação até a senescência há alteração na exigência nutricional das plantas, sendo assim, também ocorre a modificação no processo de acúmulo e de absorção dos nutrientes para cada fase fenológica da cultura.

Já com a relação à extração e a exportação de nutrientes para a cultura do feijão-caupi, de acordo com Sampaio & Brasil (2009), os nutrientes extraídos e exportados com a colheita dos grãos fornecem estimativas das necessidades nutricionais da planta que podem ser utilizadas como ferramentas para recomendações de adubação. Diversos autores Randall et al. (2006),

Fonseca (2008), Neves et al. (2009) afirmam que os nutrientes extraídos e exportados pelo feijão-caupi apresentam a seguinte ordem crescente $N > K > Ca > P > Mg > S$.

Estudando a extração e a exportação de nutrientes pela cultura do feijão-caupi Sampaio & Brasil (2009) observaram que os nutrientes extraídos e exportados em maiores quantidades absolutas foram o nitrogênio e o potássio. Já o fósforo foi o nutriente mais exportado por ocasião da colheita, apresentando um percentual de 44%, seguido do nitrogênio com 39% e o potássio com 25%. O cálcio, apesar de apresentar taxas de extração elevadas pela cultura do feijão-caupi, apenas 10% do nutriente foram exportados, sendo seus menores teores nos grãos, devido à baixa mobilidade do mesmo na planta.

Neste contexto, a determinação da marcha de absorção de nutrientes na planta é importante, pois fornece informações nutricionais que permitem identificar em que período os nutrientes são exigidos em maiores quantidades pela planta e a distribuição desses nutrientes nas diferentes estruturas da cultura, proporcionando o manejo adequado da fertilização (Silva et al., 2017).

REFERÊNCIAS

- Aidar, H.; Silva, S. C.; Kluthcouski, J.; Thung, M. Sistema de produção do feijoeiro comum em várzeas tropicais: época de plantio. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 305p. (Circular Técnica, 55)
- Abdelraouf, R. E.; Abou-Hussein, S. D.; Refaie K. M.; El-Metwally, I. M. Effect of pulse irrigation on clogging emitters, application efficiency and water productivity of potato crop under organic agriculture conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, v.3, p.807-816, 2012.
- Almeida, F. S.; Mingotte, F. L. C.; Lemos, L. B.; Santana, M. J. Desempenho agrônômico de cultivares de feijão-caupi em função das épocas de semeadura no cerrado de Uberaba –MG. *Revista Caatinga*, v.30, p.361-369, 2017.
- Almeida, W. F. Gotejamento por pulsos e cobertura do solo na formação do bulbo molhado e produtividade da alface americana. Lavras: UFLA, 2012. 80p. Tese Doutorado
- Almeida, W. F.; Lima, L. A.; Guimarães, A. L.; Andrade, R. R. Eficiência do uso da água e produtividade da abobrinha italiana sob o efeito do gotejamento por pulsos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 44, 2015, São Paulo. Anais... São Paulo: CONBEA, 2015.

Andrade Júnior, A. S.; Santos, A. A.; Athayde Sobrinho, C.; Bastos, E. A.; Melo, F. B.; Viana, F. M. P.; Freire Filho, F. R.; Carneiro, J. S.; Rocha, M. M.; Cardoso, M. J.; Silva, P. H. S. Ribeiro, V. Q. Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Teresina: Embrapa Meio Norte, 2002. 108p. (Circular Técnico, 2).

Andrade, F. N.; Rocha, M. M.; Gomes, R. L. F.; Freire Filho, F. R.; Roma, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. *Revista Ciência Agronômica*, v.41, p.253-258, 2010.

Andrade, J. R.; Maria Júnior, S. O.; Silva, P. F.; Barbosa, J. W. S.; Nascimento, R.; Sousa, J. S. Crescimento inicial de genótipos de feijão caupi submetidos à diferentes níveis de água salina. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.9, p.38- 43, 2013.

Andrade, M. C. R.; Santos, J. M. A.; Silva, P. M. R.; Campos, N. M. Produção de tomate rasteiro por irrigação localizada, *Revista Saberes UniAGES*, v.1, p.18-22, 2017.

Araújo, J. P. P.; Rios, G. P.; Watt, E. E.; Neves, B. P.; Fageria, N. K.; Oliveira, I. P.; Guimarães, C. M.; Silveira Filho, A. Cultura do caupi, *Vigna unguiculata* (L.) Walp: descrição e recomendações técnicas de cultivo. Goiânia: EMBRAPA CNPAF, 1984. 82p. (Circular Técnica, 18).

Awasthy, P.; Patel, B.; Sahu, P.; Patanwar, M.; K. U, P. Potentials of micro irrigation in India: an overview. *International Journal of Agriculture and Food Science*, v.4, p.116-118, 2014.

Bulisani, E. A. Feijão: fatores de produção e qualidade. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 326p.

Bakeer, G. A. A.; El-Ebabi, F. G.; El-Saidi, M. T.; Abdelghany A. R. E. Effect of pulse drip irrigation on yield and water use efficiency of potato crop under organic agriculture in sandy soils. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, v.2, p.736-765, 2009.

Barros, C. A. P.; Minella, J. P. G.; Tassi, R.; Dalbianco, L.; Ottonelli, A. S. Estimativa da infiltração de água no solo na escala de bacia hidrográfica, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, p.557-564, 2014.

Barros, N. S.; Neves, E.; Brum, E. V. P.; Cetrulo, T. B. Causas e soluções para desobstrução de emissores no método de irrigação localizada. *Revista Enciclopédia Biosfera*, v.27, p.201-2013, 2020.

Bastos, A. E.; Nascimento, S. P.; Silva, E. M. S.; Freire Filho, F. R.; Gomide, R. L. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, p.100-107, 2011.

Bezerra, A. A. C. Variabilidade e diversidade genética em caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) precoce, de crescimento determinado e porte ereto e semi-ereto. Recife: UFRPE, 1997. 105p. Dissertação de Mestrado

Bezerra, A. A. C.; Costa Filho, R. S.; Oliveira, S. R. M.; Freire Filho, F. R. Morphophysiological biometry and grain production in cowpea under different phosphorus levels. *Comunicata Scientiae*, v.9, p.275-281, 2018.

Biscaro, G. A. Irrigação localizada: Aspectos gerais. In: Biscaro, G. A. Sistema de irrigação localizada. Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados, 2016. Cap.1, p.11-35.

Biscaro, G. A.; Oliveira, A. C. de. Fertirrigação. In: Biscaro, G. A. (Org.). Sistema de irrigação localizada, Dourados: UFGD, 2014, Cap.3, p.69-108.

Borges, A. L.; Coelho, E. F. Aspectos básicos da fertirrigação. In: Borges, A. L.; Coelho, E. F. Fertirrigação em fruteiras tropicais. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e fruticultura Tropical, 2009. Cap.1, p.9-19.

Borges, A. L.; Silva, D. A.; Fertilizantes para fertirrigação. In: Sousa, V. F.; Marouelli, W. A.; Coelho, E. F.; Pinto, J. M.; Coelho Filho, M. A Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Cap.7, p.253-264.

Brito, R. R.; Grassi Filho, H.; Saad, J. C. C.; Oliveira, S. R. M. Produtividade do feijoeiro sob diferentes potenciais matriciais e fatores de depleção da água no solo. *Nativa*, v.3, p.109-114, 2015.

Campos, F. L.; Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Lopes, A. C. A. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp): uma proposta de escala de desenvolvimento. *Revista Científica Rural*, v.5, p.110-116, 2000.

Cardoso, M. J. A cultura de feijão Caupi no Meio-Norte do Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. 263p. (Circular técnica, 28).

Chagas Junior, A. F.; Oliveira, L. A.; Oliveira, A. N.; Willerding, A. L. Efetividade de rizóbios e caracterização fenotípica dos isolados que nodulam feijão-caupi em solos da Amazônia Central. *Acta Amazônica*, v.39, p.489– 494, 2009.

Coelho, A. P.; Faria, R.; Dalri, A. B.; Fabiano, P. L.; Zanini, J. R. Clorofilômetro portátil como forma de manejo da irrigação e adubação nitrogenada em aveia-branca. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.12, p.2542 -2553, 2018.

Coelho, D. S.; Marques, M. A. D.; Silva, J. A. B.; Garrido, M. S.; Carvalho, P. G. S. Respostas fisiológicas em variedades de feijão-caupi submetidas a diferentes níveis de sombreamento. *Revista Brasileira de Biociências*, v.12, p.14-19, 2014.

Coffigniez, F., Briffaz, A., Mestres, C., Ricci, J., Alter, P., Durand, N.; Bohuon, P. Kinetic study of enzymatic α -galactoside hydrolysis in cowpea seeds. *Food Research International*, v.113, p.443-451, 2018.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Perspectiva para a agropecuária. Conab, Brasília, 2014. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_18_03_00_perspectivas_2014-15.pdf>. Acesso em: Out. 2020.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Acompanhamento da safra Brasileira. Conab, 2021. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: Dez. 2020.

Costa, A. R.; Rezende, R.; Freitas, P. S. L.; Gonçalves, A. C. A.; Frizzone, J. A. A cultura da abobrinha italiana (*Cucurbita pepo* L.) em ambiente protegido utilizando fertirrigação nitrogenada e potássica. *Irriga*, v.20, p.105-127, 2015.

Demontiêzo, F. L. L.; Aragão, M. F.; Valnir Júnior, M.; Moreira, F. J. C.; Paiva, P. V. V.; Lima, S. C. R. V. Emergência e crescimento inicial de tomate ‘Santa Clara’ em função da salinidade e condições de preparo das sementes. *Irriga*, v.1, p.81-92, 2016.

Domingos, C. S.; Lima, L. H. S.; Braccini, A. L. Nutrição mineral e ferramentas para manejo da adubação na cultura da soja. *Scientia Agraria Paranaensis*, v.14, p.132-140, 2015.

Dutra, A. S.; Teófilo, E. M. Envelhecimento acelerado para avaliar o vigor de sementes de feijão-caupi. *Revista Brasileira de Sementes*, v.29, p.193-197, 2007.

Eid, A. R.; Bakry, B. A.; Taha, M. H. Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions. *Agricultural Sciences*, v.1, p.249-261, 2013.

Elnesr, M. N.; Alazba, A. A.; Zein El-Abedein, A. L.; El-Adl, M. M. Evaluating the effect of three water management techniques on tomato crop. *PLoS One*, v.10, p.1-17, 2015.

Epstein, E.; Bloom, A. J. *Nutrição mineral de plantas. Princípios e perspectivas*. 2ª ed. Londrina: Planta, 2006. 403p.

FAOSTAT. Crops, 2021 Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: Dez. 2020.

Fernandes, E. T.; Cairo, P. A. R.; Novaes, A. B. Respostas fisiológicas de clones de eucalipto cultivados em casa de vegetação sob deficiência hídrica. *Revista Ciência Rural*, v.4, p.29-34, 2015.

Fontes, P. C. R. *Nutrição mineral de plantas: avaliação e diagnose*. Viçosa: MG, 2011. 296p.

Fonseca, M. R. *Nutrição mineral e produção do feijão-caupi em função do fósforo e da saturação por bases, em Latossolo amarelo*. Belém: UFRAM, 2008. 70p. Dissertação Mestrado.

Freire Filho, F. R. Vilarinho, A. A.; Cravo, M. S. Cavalcante, E. S. Panorama da cultura do feijão-caupi no Brasil. In: Workshop sobre a cultura do feijão-caupi, 1, 2007. Boa Vista. Anais...Boa Vista: Embrapa Roraima, 2007.

Freire Filho, F. R.; Cravo, M. S.; Vilarinho, A. A.; Cavalcante, E. S.; Fernandes, J. B.; Sagrilo, E.; Ribeiro, V. Q.; Rocha, M. M.; Souza, F. F.; Lopes, A. M.; Gonçalves, R. P.; Carvalho, H. W.; Raposo, A. A.; Sampaio, L. S. BRS Novaera: cultivar de feijão-caupi de porte semi-ereto. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 4p. (Circular técnico, 215)

Freire Filho, F. R.; Lima, J. A. A.; Ribeiro, V. Q. Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 519p.

Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Rocha, M. M.; Silva, K. J. D.; Nogueira, M. S. R. N.; Rodrigues, E. V. Produção, melhoramento genético e potencialidades do feijão-caupi no Brasil. In: Reunião de Biofortificação no Brasil, 4, 2011. Teresina. Anais... Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011.

Freire, M. H. C.; Sousa, G. G.; Souza, M. V. P.; Ceita, E. D. R.; Fiusa, J. N.; Leite, K. N. Emergence and biomass accumulation in seedlings of rice cultivars irrigated with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.471-475, 2018.

Frizzzone, J. A. Irrigação localizada. 2015. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Folegatti/leb1571/Irigacao%20localizada.pdf> .>.

García-Prats, A.; Guillem-Picó, S. Adaptation of pressurized irrigation networks to new strategies of irrigation management: Energy implications of low discharge and pulsed irrigation. *Agricultural Water Management*, v.1, p.52-60, 2016.

Grangeiro, L. C.; Freitas, C. L.; Negreiros, M. Z.; Marrocos, S. T. P.; Lucena, R. R. M.; Oliveira, R. A. Crescimento e acúmulo de nutrientes em coentro e rúcula. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.6, p.11-16, 2011.

Guerra, A. M. N. M.; Evangelista, R. S.; Santos, E. B.; Silva, M. G. M.; Nogueira, P. N. Produtividade de grãos e de biomassa da parte aérea de cultivares de feijão-caupi. *Revista Agrária Acadêmica*, v.3, p.40-48, 2020.

Guimarães, D. G.; Oliveira, L. M.; Guedes, M. O. G.; Ferreira, G. F. P.; Prado, T. R.; Amaral, C. L. F. Desempenho da cultivar de feijão-caupi BRS novaera sob níveis de irrigação e adubação em ambiente protegido. *Revista Cultura Agronômica*, v.29, p. 61-75, 2020.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/23774-em-janeiro-ibge-preve-alta-de-1-9-na-safra-de-graos-de-2019>>. Acesso em: Dez. 2020.

Karmeli, D.; Peri, G. Basic principles of pulse irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, v.100, p.309-319, 1974.

Kurtz, C. Acúmulo de nutrientes e métodos de diagnose nutricional de nitrogênio para a cultura da cebola. Curitiba: UFPR, 2015. 96p. Tese Doutorado.

Larré, C. F.; Marini, P.; Moraes, C. L.; Amarante, L.; Moraes, D. M. Influência do 24-epibrassinolídeo na tolerância ao estresse salino em plântulas de arroz. *Semina: Ciências Agrárias*, v.35, p.67-76, 2014.

Leal, R. M.; Prado, R. M. Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.3, p.301-306, 2008.

Lima, E. D. P. A.; Jerônimo, E. S.; Lima, C. A. A.; Gondim, P. J. S.; Aldrigue, M. L.; Cavalcante, L. F. Características físicas e químicas de grãos verdes de feijão-caupi para processamento tipo conserva. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.1 p.129-134, 2003.

Liu, H.; Huang, G. Laboratory experiment on drip emitter clogging with fresh water and treated sewage effluent. *Agricultural Water Management*, v.96, p.745-756, 2009.

Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

Locatelli, V. E. R.; Medeiros, R. D.; Smiderle, O. J.; Albuquerque, J. A. A.; Araújo, W. F.; Souza, K. T. S. Componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi no cerrado de Roraima. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.574-580, 2014.

Mantovani, E. C.; Montes, D. R. P.; Vieira, M. M. R.; Soares, A. A. Estimativa de produtividade da cultura do feijão irrigado em Cristalina-GO, para diferentes lâminas de irrigação como função da uniformidade de aplicação. *Engenharia Agrícola*, v.32, p.110-120, 2012.

Martins, C. M.; Martins, S. C. S.; BORGES, W. L. Correção da acidez, adubação e fixação biológica. In: Vale, J. C.; Bertini, C.; Borém, A. Feijão-caupi do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2017. Cap.5, p.89-112.

Melo, F. B.; Cardoso, M. J.; Andrade Júnior, A. S.; Ribeiro, V. Q. Zinc fertilization in cowpea cultivars. *Revista Ciência Agronômica*, v.18, p.739-744, 2017.

Menezes, S. M.; Silva, G. F.; Zamora, V. R. O.; Silva, M. M.; Silva, A. C. R. A.; Silva, E. F. F. Nutritional status of coriander under fertigation depths and pulse and continuous drip irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.24, p.364-371, 2020.

Muchero, W.; Ehlers, J. D.; Close, T. J.; Roberts, P. A.; Mapping, Q. T. L. For drought stress induced premature senescence and maturity in cowpea. *Theoretical and Applied Genetics*, v.118, p.849–863, 2009.

Nascimento, R.; Nascimento, D. A. M.; Silva, D. A. S.; Alves, A. G. Índice SPAD e partição de biomassa em plantas de feijão-caupi submetidas ao estresse salino. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.27, p.128-132, 2012.

Neves, A. C. Andrade Júnior, A. S.; Santos, A. A.; Athayde Sobrinho, C.; Nogueira, C. C. P.; Bastos, E. A.; Melo, F. B.; Viana, F. M. P.; Freire Filho, F. R.; Xavier, G. R.; Oliveira, I. J.; Zill, J. E.; Carneiro, J. S.; Júnior, J. A. N. M.; Fontes, J. R. A.; Silva, K. J. D.; Martins, L. M. V.; Rocha, M. M.; Cardoso, M. J.; Rumjanek, N. G.; Vieira, P. F. M. J.; Silva, P. H. S.; Alcantara, R. M. C. *Cultivo de feijão-caupi*. 2ª ed. Embrapa, 2017. 9p.

Neves, A. C.; Cardoso, M. J.; Silva, P. H. S.; Athayde Sobrinho, C. *Cultivo de feijão-caupi em sistema agrícola familiar*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 15p. (Circular técnica, 51).

Neves, A. L. L. R.; Lacerda, C. F.; Guimarães, F. V. A.; Hernandez, F. F. F.; Silva, F. B.; Prisco, J. T.; Gheyi, H. R. Acumulação de biomassa e extração de nutrientes por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. *Ciência Rural*, v.39, p.758-765, 2009.

Nirgude, V.; Misra, K. K.; Singh, P. N.; Singh, A. K.; Singh, N. NPK fertigation of stone fruit crops: A review, v.6, p.3134–3142, 2018.

Nogueira, C. C. P.; Bastos, E. A.; Cardoso, M. J.; Andrade Júnior, A. S. Ribeiro, V. Q. Viabilidade econômica do feijão-caupi verde irrigado na microrregião de Teresina, Piauí. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2019. 10p. (Circular Técnica, 250).

Okasha, A. M.; Elmetwally, W. F.; Attaffy, T. M. Effect of different types of irrigation system on soybean production under clayey soil conditions. *Journal of Soil Science and Agricultural Engineering*, v.6, p.1389-1405, 2015.

Oliveira, A. P.; Araújo, J. S.; Alves, E. U.; Noronha, M. A. S.; Cassimiro, C. M.; Mendonça, F. G. Rendimento de feijão-caupi cultivado com esterco bovino e adubo mineral. *Horticultura Brasileira*, v.19, p.81- 84, 2001.

Oliveira, I. J.; Fontes, J. R. A.; Silva, D. K. J.; Rocha, M. M. BRS Tumucumaque – Cultivar de Feijão-Caupi com Valor Nutritivo para o Amazonas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2014. 4p. (Circular técnica, 106).

Padrón, R. A. R.; Ramírez, L. R.; Cerquera, R. R.; Nogueira, H. M. C. M.; Mujica, J. L. U. Desenvolvimento vegetativo de pimentão cultivado com lâminas e frequências de irrigação. *Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v.9, p.49-55, 2015.

Pereira, L. S.; Valero, J. A. J.; Buendía, M. R. P.; Martín-Benito, J. M. T. *El riego y sus tecnologías*. 1ª ed. Lisboa: UCLM, 2010. 296p.

Pereira, R. F.; Cavalcante, S. N.; Lima, A. S.; Maia Filho, F. C. F.; Santos, J. G. R. Crescimento e rendimento de feijão vigna submetido à adubação orgânica. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.8, p.91-96, 2013.

Prats, G. A.; Picó, G. S. Adaptation of pressurized irrigation networks to new strategies of irrigation management: Energy implications of low discharge and pulsed irrigation. *Agricultural Water Management*, v.169, p.52-60, 2016.

Randall, P. J.; Abaidoo, R. C.; Hocking, P. J.; Sanginga, N. Mineral nutriente uptake and removal by cowpea, soyben and maize cultivars in West Africa, and implications for carbono cycle effects on soil acidification. *Experimental Agricultural*, v.42, p.475-494, 2006.

Rabani, A. R. C.; Silva-Mann, R.; Ferreira, R. A.; Carvalho, S. V. A.; Nunes, F. B. S.; Brito, A. S. Efeito do estresse salino sobre atributos da germinação de sementes de girassol. *Scientia Plena*, v.9, p.12-23, 2013.

Raij, B. V. *Fertilidade do solo e adubação*. 1ª ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1991. 343p.

Ramos, H. M. M.; Bastos, E. A.; Andrade Júnior, A. S.; Marquelli, W. A. Estratégias ótimas de irrigação do feijão-caupi para produção de grãos verdes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, p.576- 583, 2012.

Ramos, M. M.; Bastos, E. A.; Cardoso, M. J.; Ribeiro, V. Q.; Nascimento, F. N. Produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. *Engenharia Agrícola*, v.34, p.638-694, 2014.

Ribeiro, R. B.; Figueiras, R.; Ramos, M. C. A.; Almeida, L.; Generoso, T. M. Variabilidade espaço-temporal da condição da vegetação na agricultura irrigada por meio de imagens sentinel. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*. v.11, p.1884 -1893, 2017.

Rocha, D. S.; Menezes, J. Cultivares. In: Vale, J. C.; Bertini, C.; Borém, A. Feijão-caupi do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2017. Cap.6, p.114-142.

Rosolem, C. A.; Marubayashi, O. M. Seja o doutor do seu feijoeiro. Encarte de informações agronômicas, 1994. Disponível em: <[https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3143/\\$File/Seja%20Feijoeiro.pdf](https://www.npct.com.br/npctweb/npct.nsf/article/BRS-3143/$File/Seja%20Feijoeiro.pdf)>. Acesso em: Nov, 2020.

Sabat, T.; Kaniszewski, S.; Dyśko, J. Flood fertigation of leaf lettuce grown in various substrates. *Journal of Elementology*, v.24, p.19–29, 2019.

Salgado, S. M.; Mello Filho, A. B.; Andrade, S. A. C.; Maciel, G. R.; Livera, A. V. S.; Guerra, N. B. Modificação da concentração de amido resistente em feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) por tratamento hidrotérmico e congelamento. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.25, p.259-264, 2005.

Salvador, C. A. Boletim semanal. Departamento de Economia Rural, 2020. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-08/boletim_semanal_14_deral_07_agosto_2020f_0.pdf>. Acesso em: Dez. 2020.

Sampaio, L. S.; Brasil, E. C. Exigência nutricional do feijão-caupi. In: Congresso Nacional de feijão-caupi, 2, 2009. Anais... Belém: Embrapa Amazônia Orienta, 2009.

Santos, J. F.; Grangeiro, J. I. T.; Brito, C. H.; Santos, M. C. C. A. Produção e componentes produtivo de variedades de feijão-caupi na microrregião Cariri Paraibano. *Engenharia Ambiental*, v.6, p.214-222, 2009.

Santos, J. F.; Lemos, J. N. R.; Nóbrega, J. Q.; Grangeiro, J. I. T.; Brito, L. M. P.; Oliveira, M. E. C. Produtividade de feijão caupi utilizando biofertilizante e uréia. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v.1, p.25-29, 2007.

Silva, C. F.; Moura, F. M.; Vilela, A. R. R.; Araújo, M. B.; Marques, J. D. S. Produção de feijão-caupi em função do emprego de inoculante e adubos orgânicos e mineral. *Diversitas Journal*, v.4, p.1130-1145, 2019.

Silva, E. F.; Barros Júnior, A. P.; Silveira, L. M.; Santana, F. M. S. Avaliação de cultivares de feijão-caupi irrigado para produção de grãos verdes em Serra Talhada – PE. *Revista Caatinga*, v.26, p.21-26, 2013.

Silva, W. C.; Moura, J. G.; Oliveira, A. B.; Ferreira, L. E.; Silva, T. M. Growth and gas exchange in cowpea plants under different managements and saline conditions. *Revista Ciência Agronômica*, v.48, p.756-764, 2017.

Smith, R. J.; Baillie, J. N.; McCarthy, A. C.; Baillie, C. P. Review of Precision Irrigation Technologies and their Application. National Centre of Engineering in Agriculture. University of Southern Queensland, Toowoomba, 2010.

Soares, S. C.; Alburquerque, A. H. P.; Sousa, G. G.; Albuquerque, A. G. B. M.; Viana, T. V. A.; Costa, S. C. Características físicas de frutos de goiabeiras sob altas frequências de irrigação e diferentes coberturas mortas. In: Inovagri International Meeting, 4, e Congresso Nacional de Irrigação, 3, e Simpósio Brasileiro de Salinidade, 3, 2017, Brasil. Anais...Fortaleza: SBS, 2017.

Sousa, J. L. M.; Rocha, M. M.; Silva, K. J. D.; Neves, A. C.; Sousa, R. R. Potencial de genótipos de feijão-caupi para o mercado de vagens e grãos verdes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.50, p.392-398, 2015.

Souza, T. M. A.; Souza, T. A.; Solto, L. S.; Sá, F. V. S.; Paiva, E. P.; Brito, M. E. B.; Mesquita, E. F. Crescimento e trocas gasosas do feijão caupi cv. BRS pujante sob níveis de água disponível no solo e cobertura morta. *Irriga*, v.21, p.796-805, 2016.

Souza, T. R.; Bôas, R. L. V.; Quaggio, J. A.; Salomão, L. C.; Foratto, L. C. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, p. 846-854, 2012.

Teófilo, E. M.; Dutra, S. A.; Pitimbeira, J. B.; Dias, F. T. C.; Barbosa, F. S. E. Potencial fisiológico de sementes de feijão-caupi produzidas em duas regiões do Estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v.39, p.443-448, 2008.

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia vegetal*. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2017. 731p.

Testezlaf, R.; Matsura, E. E. *Engenharia de Irrigação: tubulações e acessórios*. 1ª ed. São Paulo: UNICAMP, 2015. 153p.

Torres, W. L. V.; Viana, T. V. A.; Sousa, G.; Pereira Filho, J. V.; Gomes, K. R.; Azevedo, B. M. Lâminas de irrigação e coberturas vegetais mortas no consórcio entre feijão-caupi e milho. *Research, Society and Development*, v.9, p.1-16, 2020.

Vale, J. C.; Bertini, C. H. C.; Teófilo, E. M.; Pinheiro, M. S.; Melo, L. F. Botânica e fenologia. In: Vale, J. C.; Bertini, C.; Borém, A. Feijão-caupi do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2017a. Cap.2, p.37-51.

Vale, J. C.; Bertini, C.; Borém, A. Feijão-caupi do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2017b. 267p.

Vieira, G. H. S.; Nascimento, D. P.; Lo Monaco. P. A. V.; Hadadde, I. R.; Rosado, T. L.; Chambela Neto, A. Eficiência de irrigação em cafeeiros conilon na região centro serrana do Espírito Santo. *Revista Ifes Ciência*, v.6, p.22-34, 2020.

Vilarinho, A. A.; Rocha, M. M.; Freire Filho, F. R.; Coelho, G. BRS ITAIM – Cultivar de feijão-caupi com grãos tipo fradinho. Boa vista: Embrapa Roraima, 2010. 4p. (Circular Técnica, 58).

Xavier, G. R.; Zilli, J. E.; Martins, L. M. V.; Rumjanek, N. G.; Alcantara, R. M. C. M. Fixação biológica de nitrogênio. Embrapa Informação Tecnológica, 2017. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaoId=9_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaoId=9_109&p_r_p_996514994_topicoId=10618>. Acesso em: Nov. 2020.

Zamora, V. R. O.; Silva, M. M., Silva, G. F.; Santos Júnior, J. A., Menezes, D.; Menezes, S. M. Pulse drip irrigation and fertigation water depths in the water relations of coriander. *Horticultura Brasileira*, v.37, p.22-28, 2019.

CAPÍTULO II

PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES DE FEIJÃO-CAUPI FERTIRRIGADO POR GOTEJAMENTO CONTÍNUO E PULSADO

PRODUÇÃO DE GRÃOS VERDES DE FEIJÃO-CAUPI FERTIRRIGADO POR GOTEJAMENTO CONTÍNUO E PULSADO

RESUMO - O feijão-caupi (*vigna unguiculata* L. Walp.) é uma leguminosa fonte de nutrientes, rica em proteínas e se destaca por sua importância socioeconômica em regiões semiáridas. A produtividade do feijão-caupi pode ser afetada por diferentes fatores, dentre eles destaca-se o manejo adequado da irrigação. Neste sentido, o método de irrigação localizada por gotejamento, associado à fertirrigação, destaca-se por proporcionar a aplicação de água e nutrientes para as plantas de forma eficiente e proporcionar ganhos de produtividade para a cultura. Dentre as tecnologias existentes para dar suporte ao manejo de irrigação e promover melhorias na produção das culturas, a irrigação por pulsos é uma técnica que tem apresentado efeitos significativos para produtividade de diversos cultivos. Deste modo, objetivou-se com este trabalho avaliar a produção de grãos verdes de feijão-caupi, cultivado em ambiente protegido, sob adubação convencional e lâminas de fertirrigação aplicadas por gotejamento contínuo e pulsado. Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial $5 \times 2 + 2$, sendo cinco lâminas de irrigação equivalentes 40, 60, 80, 100 e 120% da evapotranspiração da cultura (ETc), combinadas com dois tipos de aplicação de fertirrigação (pulsada e contínua), mais dois tratamentos adicionais (adubação convencional irrigada por pulso e de forma contínua). Os tratamentos adicionais foram irrigados com lâmina de 100% da ETc. Foi adotado um delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições. As variáveis analisadas foram número de vagens, número de grãos, massa fresca e seca das vagens e dos grãos e massa fresca e seca total da parte aérea. As lâminas de fertirrigação entre 80 e 100% da ETc foram as que proporcionaram melhor desempenho produtivo do feijão caupi. A fertirrigação pulsada promoveu maiores rendimentos para todas as variáveis de produção analisadas. As plantas irrigadas com a lâmina de 100% da ETc e adubadas convencionalmente apresentaram maiores rendimentos produtivos quando a aplicação da lâmina foi realizada de forma pulsada. De um modo geral, independentemente do tipo de aplicação (pulsado ou contínuo), as lâminas de máxima eficiência física estimadas para a fertirrigação proporcionaram melhores resultados para as variáveis produtivas em relação ao manejo da adubação de forma convencional, irrigado com a lâmina de 100% da ETc.

Palavras-chaves: *Vigna unguiculata*; Rendimento de grãos; Fertirrigação por pulso e contínua, Adubação convencional.

PRODUCTION OF GREEN GRAINS OF COWPEA BEANS FERTIRRIGATED BY CONTINUOUS AND PULSED DRIP

ABSTRACT- Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) is a legume source of nutrients, rich in proteins and stands out for its socioeconomic importance in semiarid regions. The productivity of cowpea can be affected by different factors, among them the proper management of irrigation stands out. In this sense, the drip irrigation method, associated with fertigation, stands out for providing the efficient application of water and nutrients to the plants and providing productivity gains for the culture. Among the existing technologies to support irrigation management and promote improvements in crop production, pulse irrigation is a technique that has had significant effects on the productivity of several crops. Thus, the objective of this work was to evaluate the production of green beans of cowpea, cultivated in a protected environment, under conventional fertilization and fertigation blades applied by continuous and pulsed drip. The treatments were arranged in a 5x2+2 factorial scheme, with five irrigation depths equivalent to 40, 60, 80, 100 and 120% of crop evapotranspiration (ET_c), combined with two types of fertigation application (pulsed and continuous), plus two additional treatments (conventional fertilization irrigated by pulse and continuously). Additional treatments were irrigated with a water depth of 100% ET_c. A randomized block design was adopted, with four replications. The variables analyzed were number of pods, number of grains, fresh and dry mass of pods and grains and total fresh and dry mass of shoots. The fertigation depths between 80 and 100% of ET_c were the ones that provided the best productive performance of cowpea. Pulsed fertigation promoted higher yields for all production variables analyzed. Plants irrigated with 100% ET_c water depth and conventionally fertilized showed higher yields when the water depth was applied pulsed. In general, regardless of the type of application (pulsed or continuous), the maximum physical efficiency levels estimated for the fertigation provided better results for the productive variables in relation to the fertilization management in a conventional way irrigated with a depth of 100% of the ET_c.

Keywords: *Vigna unguiculata*; Grain yield; pulse and continuous fertigation, conventional fertilization.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) é uma leguminosa fonte de nutrientes, rica em proteínas e se destaca por sua importância socioeconômica em regiões semiáridas (Melo et al., 2018). Segundo dados da FAO (2020), a produção média mundial de feijão-caupi para o período de 2016 a 2018 foi de 7 bilhões de toneladas. A Nigéria foi o principal país produtor com produção correspondente a 39% do volume médio mundial, seguido do Níger com 24%.

No Brasil, a produção de feijão-caupi para a safra de 2021 teve destaque para os Estados do Ceará, com produção de 110,8 mil toneladas, e do Tocantins, com 58 mil toneladas de grãos. Já o Estado de Pernambuco apresentou produção de 24,1 mil toneladas de feijão-caupi, resultado inferior comparado à safra de 2019/2020 (CONAB, 2021). A produtividade do feijão-caupi pode ser afetada por diferentes fatores, tais como clima, solo, manejo de irrigação e adubação (Cardoso & Melo, 2017).

Segundo Ndiso et al. (2016) e Karim & Cols (2018), a perda de produtividade de grãos também está relacionada à intensidade do déficit hídrico e ao estágio de desenvolvimento em que a planta se encontra quando ocorre o déficit. Busato et al. (2011) explicam que o rendimento das culturas está associado à aplicação de ferramentas e técnicas que proporcionem progressos no rendimento das mesmas, contribuindo para o desenvolvimento de uma agricultura intensiva e sustentável.

Sendo assim, o método de irrigação localizada por gotejamento, associado à fertirrigação, destaca-se por proporcionar a aplicação de água e nutrientes para as plantas de forma eficiente, pois permite ajustes na adição de fertilizantes em diferentes estádios fenológicos das culturas, proporcionando economia e eficiência no uso dos fertilizantes (Costa et al. 2015).

Dentre as tecnologias existentes para dar suporte ao manejo de irrigação e promover melhorias na produção das culturas, a irrigação por pulsos é uma técnica que tem apresentado efeitos significativos para produtividade de diversos cultivos (Elneir et al., 2015; Zamora et al., 2019). O sistema de irrigação por pulsos é definido como sendo a aplicação da lâmina de irrigação de forma fracionada que resulta na aplicação de água e nutrientes próximos à zona radicular da planta, reduzindo os riscos de lixiviação dos nutrientes e perda de água por percolação (Madane et al., 2018; Zamora et al., 2019).

Estudos realizados por Guimarães et al. (2020), Mota et al. (2020) e Soares et al. (2021) evidenciaram que o uso da irrigação e o manejo de adubação adequado para o feijão-caupi proporcionaram efeito positivo sobre a produtividade da cultura. Silva et al. (2014) verificaram aumento de 25% da produtividade de vagens e 50% da produtividade de grãos, usando 100%

acima do recomendado das doses de nitrogênio, fósforo e potássio. Locatelli et al. (2013) observaram que a produtividade de vagens sofreu influência das lâminas de irrigação, atingindo 8395,5 kg ha⁻¹ com a aplicação da lâmina de 87% da evapotranspiração de referência.

Nesse sentido, tendo em vista a inexistência de estudos voltados para a produção do feijão-caupi adubado de forma convencional e por fertirrigação aplicada por gotejamento contínuo e pulsado, objetivou-se com a presente pesquisa avaliar o desempenho da cultura para a produção de grãos verdes, cultivado em ambiente protegido, sob adubação convencional e lâminas de fertirrigação aplicadas por gotejamento contínuo e pulsado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina (EECAC), da Universidade Federal Rural de Pernambuco, situada na cidade de Carpina –PE (Figura 1), cujas coordenadas geográficas são 07° 51' 13" de latitude Sul e 35° 14' 10" de longitude Oeste e altitude média de 180 m. Segundo a classificação de Köppen, a área apresenta clima do tipo Ams', tropical chuvoso de monção, com verão seco (Alvares et al., 2014).

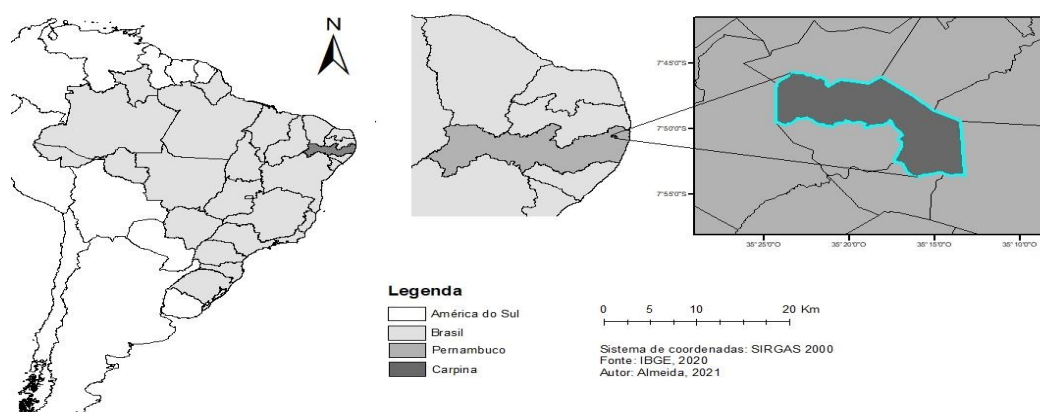


Figura 1 - Mapa do Estado de Pernambuco. Destaque para o município de Carpina-PE. Fonte: Autora (2022).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em uma área que possui 13,20 m de comprimento e 4,5 m de largura, utilizando-se 48 vasos com capacidade de 85 L cada, diâmetro externo na borda superior 0,51 m e na borda inferior de 0,40 m, altura externa de 0,60 m, equidistantes 1,0 m nas duas direções, sendo os vasos assentados a 0,20 m de altura da superfície do solo (Figura 2).

Para o preenchimento dos vasos, inicialmente foi adicionada uma camada de brita com granulometria de 25 mm, totalizando um volume de 0,48 m³ para os 48 vasos, com o objetivo de facilitar a drenagem. Logo após a adição da camada de brita foi inserida uma manta geotêxtil encobrindo toda a face superior da brita, com o intuito de reter partículas providas da camada superior, onde está contido o solo, para a camada inferior e sistema de drenagem.



Figura 2 - Vista frontal da área experimental. Fonte: Autora (2022).

Os vasos foram preenchidos com a mesma massa de solo seco (47 kg), determinada por meio da relação de umidade do solo com base em massa, de acordo com a equação 1:

$$U = \frac{MSU - MSS}{MSS} \quad (1)$$

Em que:

U = Umidade à base de massa (g/g);

MSU = Massa de Solo Úmido (g);

MSS = Massa de Solo Seco (g).

Para o preenchimento dos vasos o solo foi distribuído e acomodado a cada 10 cm, tendo cada parcela experimental a estrutura esquematizada na Figura 3.

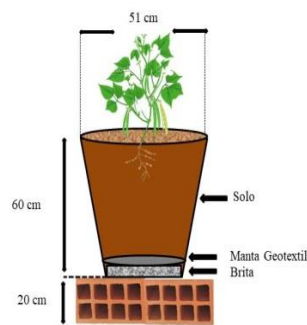


Figura 3 - Esquema ilustrativo de cada parcela experimental. Fonte: Autora (2022).

O solo utilizado para o preenchimento dos vasos é classificado, de acordo com EMBRAPA (2013), como ARGISSOLO AMARELO distrófico abrupto, o qual apresenta textura franco arenosa e foi coletado no município de Carpina –PE.

Antes da implantação do experimento foram realizadas análises químicas e físicas do solo, além de análise química da água utilizada para a irrigação do experimento (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado para o preenchimento dos vasos e caracterização química da água de abastecimento utilizada para irrigação do experimento

Caracterização química do solo																	
pH	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³	H ⁺ +Al ⁺³	SB	CTC	t	Cu	Fe	Mn	Zn	V	M.O	
H ₂ O	mg dm ⁻³	-----					cmol _c dm ⁻³	-----			----- mg dm ⁻³ -----					%	g kg ⁻¹
4,5	8,0	1,60	1,0	0,66	0,18	0,55	4,33	3,44	7,77	3,99	0,10	33,0	9,27	1,08	44,27	2,64	
Caracterização física do solo																	
Areia	Silte		Argila		Classificação Textural			Ds		Dp		Porosidade total					
----- g kg ⁻¹ -----		-----				-		----- g cm ⁻³ -----			----- % -----						
730	90		180		Franco arenoso			1,37		2,52		45,60					
Caracterização química da água de abastecimento																	
pH	CE		K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	Amônia		Sulfato		Alcalinidade			Cloretos			
-	dS m ⁻¹		-----					mg L ⁻¹		-----							
6,8	0,2275		4,0	11,22	2,92	32,10	0,00		9,32		54,0			38,04			

P: Fósforo; Ca²⁺ = Cálcio; Mg²⁺ = Magnésio; Na⁺ = Sódio; K⁺ = Potássio; Al³⁺ = Alumínio; Ds: Densidade do solo; Dp: Densidade de partículas; CE: Condutividade elétrica.

Visando-se à correção da acidez do solo, que apresentou pH de 4,5, foi realizada uma calagem com calcário calcítico, aplicando-se $60,29 \text{ g dm}^{-3}$ em cada vaso, de acordo com procedimentos metodológicos preconizados por Cavalcanti et al. (2008).

Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial $5 \times 2 \times 2$, sendo cinco lâminas de irrigação equivalentes a 40, 60, 80, 100 e 120% da evapotranspiração da cultura (ET_c), combinadas com dois tipos de aplicação de fertirrigação (fertirrigação aplicada de forma pulsada e fertirrigação aplicada de forma contínua), mais dois tratamentos adicionais, sendo o primeiro com adubação convencional e irrigação com a lâmina de 100% da ET_c realizada de forma pulsada e o segundo também com adubação convencional e lâmina de 100% da ET_c , porém com a irrigação realizada de forma contínua. Para a condição de aplicação da irrigação por pulsos foram definidos cinco pulsos de irrigação com intervalo de 60 minutos de repouso entre irrigações.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais (Figura 4).

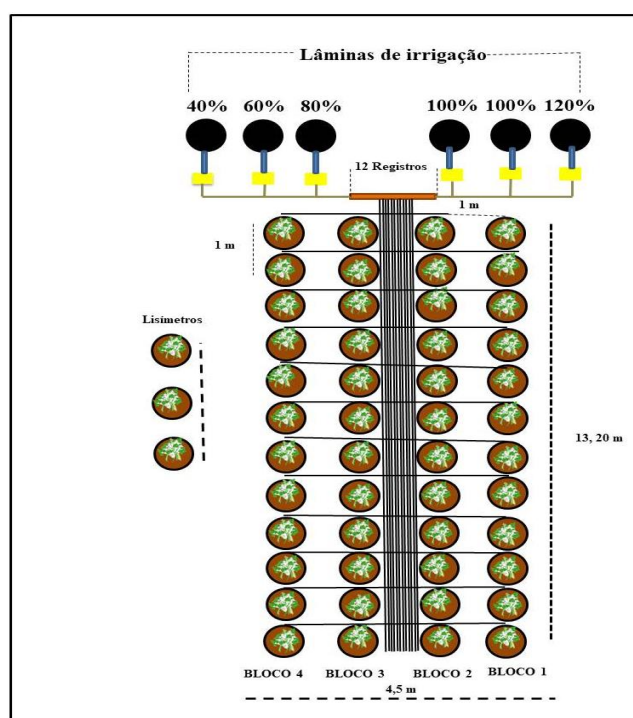


Figura 4 - Croqui da área experimental. Autora (2022).

A recomendação de adubação convencional foi realizada conforme Cavalcanti et al. (2008), com aplicação em fundação de $4,2 \text{ g dm}^{-3}$ de N, utilizando-se como fonte a ureia, $4,7 \text{ g dm}^{-3}$ de K tendo como fonte o cloreto de potássio e $30,5 \text{ g dm}^{-3}$ de P, utilizando o superfosfato

simples como fonte. Já a adubação de cobertura foi realizada 20 dias após a germinação sendo aplicados $6,4 \text{ g dm}^{-3}$ de N e $7,05 \text{ g dm}^{-3}$ de K.

As fertirrigações de cada uma das parcelas experimentais foram realizadas conforme sugestões preconizadas por Novais et al. (1991) e de acordo com as fases fenológicas da cultura, conforme Campos et al. (2000) e Vale et al. (2017). As fertirrigações foram iniciadas no início da fase V2 quando as plantas apresentavam folhas unifolioladas e completamente abertas (aproximadamente aos 10 dias após a semeadura (DAS) e prosseguiram até a fase R4, considerada fase reprodutiva da cultura).

Os percentuais de fertilizantes aplicados foram distribuídos da seguinte forma: 20% aplicados da fase V2 a V5, resultando em quatro aplicações (duas por semana), 70% aplicados da fase V6 a R2 resultando em três aplicações (uma por semana) e 10% aplicados da fase R3 a R4, com uma aplicação semanal.

Os fertilizantes utilizados nas fertirrigações foram o fosfato monoamônico - MAP (12% de N e 61% de P_2O_5), haifa multi - NPK (13% de N, 2% de P_2O_5 e 44% de K_2O), MS-multimicro (7% de B, 1% de Cu, 9,5% de S, 7% de Mn, 0,1% de Mo e 12% de Zn) e Fe-EDTA-6% Fe. As quantidades totais de fertilizantes utilizadas nas oito fertirrigações realizadas foram 16,02 g, 23,11 g, 1,56 g, 1,2 g de haifa multi-NPK, fosfato monoamônico/MAP, MS-multimicro e Fe-EDTA-6% Fe, respectivamente.

Para o armazenamento das soluções fertilizantes utilizadas dentro de cada uma das lâminas de reposição avaliadas e na irrigação das testemunhas foram utilizados seis reservatórios com capacidade para 110 L cada (Figura 5).



Figura 5 - Reservatórios utilizados para o armazenamento das soluções fertilizantes. Fonte: Autora (2022).

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento com emissores autocompensantes, vazão nominal de 2 L h^{-1} , disposto em cada vaso de 85 L, filtro de disco e eletrobomba centrífuga de eixo horizontal de 0,5 CV, a qual foi responsável pela coleta e impulso da solução fertilizante.

As subunidades de irrigação foram constituídas por tubulações laterais nas quais foram inseridas, por meio de conectores, mangueiras cegas de PEBD PN 30 DN 16 mm, que interligava a fita de gotejo e a linha de distribuição de água (Figura 6). A linha central possuía quatro ramificações que atendiam cada uma sua respectiva parcela experimental. A pressão de serviço do sistema de irrigação foi regulada em 10 m.c.a por meio de manômetro de pressão.



Figura 6 - (A) Estrutura do sistema de irrigação em cada parcela experimental. (B) Lisímetro de drenagem. (C) Sistema de irrigação montado em toda área experimental. (D) 12 registros de controle do sistema de irrigação. Fonte: Autora (2022).

A lâmina de irrigação foi fornecida às plantas a cada dois dias e foi determinada para cada um dos tratamentos avaliados, sendo a reposição da mesma realizada conforme a necessidade das plantas. Logo, A ET_c foi obtida de forma direta por meio da média do balanço hídrico de três lisímetros de drenagem com capacidade de 85 L, cultivados com a mesma cultura avaliada no experimento (feijão-caupi) e instalados no interior da casa de vegetação (Figura 6B).

A apuração do balanço hídrico foi realizada a cada 24 horas, sendo a ET_c obtida pela diferença entre a lâmina de Irrigação (Li) aplicada e a lâmina de drenagem (Ld) coletada ($ET_c = Li - Ld$). O volume bruto (Vb) de irrigação requerido foi calculado por meio da razão entre o

volume evapotranspirado (V_e) para 100% da E_{Tc} e a eficiência de aplicação de água (E_a) do sistema de irrigação. As demais lâminas foram proporcionalizadas a partir desta. O tempo de irrigação foi determinado por meio da razão entre o volume bruto (V_b) de irrigação e a vazão do gotejador (q_e) ($T_i = V_b/q_e$).

A determinação das vazões dos gotejadores foi realizada antes e depois do experimento conforme a metodologia adotada por Merriam e Keller (1978), tendo sido coletado durante cinco minutos, em um recipiente plástico de 250 ml, o volume de água aplicado pelos emissores de cada vaso, totalizando 48 gotejadores. Após a coleta, o volume de água foi pesado imediatamente em balança eletrônica. As variáveis analisadas foram vazão média " q_m " e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), em que este último foi determinado através da razão entre a vazão média do menor quartil " $q_{m25\%}$ " e a vazão média " q_m " de todos os gotejadores amostrados, $CUD = (q_{m25\%})/(q_m)$.

Foram semeadas três sementes por vaso, na profundidade de 5 cm, sendo realizado desbaste após a germinação e estabelecimento das plântulas, mantendo-se uma planta por vaso (Figura 7A). A colheita foi realizada quando os grãos apresentaram de 60 a 70% de umidade, conforme a Figura 7B (Freire Filho et al., 2005).

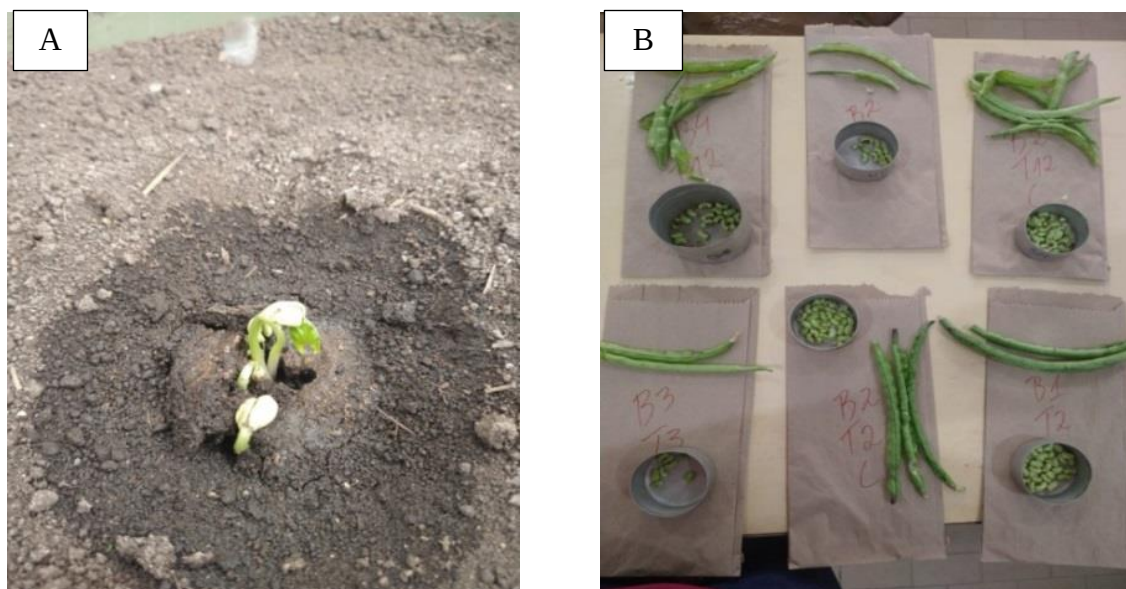


Figura 7 - (A) Germinação do feijão-caupi. (B) Grãos verdes em ponto de colheita. Fonte: Autora (2022).

Foram avaliadas as seguintes variáveis: Massa fresca (MFPA) e seca (MSPA) da parte aérea, massa fresca (MFV) e seca (MSV) das vagens sem os grãos, massa fresca (MFG) e seca (MSG) dos grãos, número de vagens por planta (NumV), número de grãos por vagens (NumG) e percentagem de vagens chochas (PerVc).

A massa fresca da parte aérea (MFPA) foi quantificada, em balança analítica de precisão (0,01 g), pelo somatório das massas frescas de folhas, ramos e caule. Também, em balança analítica de precisão (0,01 g), a massa fresca das vagens sem os grãos (MFV) e a massa fresca dos grãos (MFG).



Figura 8 - Contagem manual das vagens e dos grãos. Fonte: Autora (2022).

Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em saco de papel kraft, devidamente identificados, e levadas para a estufa com ventilação forçada de ar, com temperatura de 65 °C até a obtenção de peso constante (Figura 9). Em seguida, a massa seca dos materiais foi quantificada em balança analítica (0,01g) com a finalidade de obtenção dos valores de massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca das vagens sem os grãos (MSV) e massa seca dos grãos (MSG). O número de vagens por planta (NumV) e número de grãos por vagens (NumG) foi determinado por meio da contagem de vagens por planta e grãos por vagens. A percentagem de vagens chochas (PerVc) por tratamento foi calculada com base no número de vagens chochas em cada parcela experimental, em relação ao número total de vagens.



Figura 9 - Material identificado para ser posto em estufa para secagem. Fonte: Autora (2022).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando constatados efeitos significativos, estes foram submetidos à análise de regressão (lâminas de irrigação) e à comparação de médias (reposição da lâmina de forma contínua e de forma pulsada) pelo teste de scott-knott a 5% de probabilidade. As testemunhas foram comparadas entre si pelo teste de scott-knott a 5% de probabilidade.

A escolha do modelo que melhor se ajustou aos dados foi baseada em quatro critérios: efeito não significativo do desvio de regressão, significância dos parâmetros da equação de ajuste ($P < 0,05$), maior valor do coeficiente de determinação (R^2) e explicação biológica de cada variável em função dos tratamentos avaliados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o resumo da análise de variância apresentado na Tabela 2, observa-se que houve efeito significativo de forma isolada das lâminas de reposição da ETc e dos tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) sobre as variáveis número de vagens por planta (NumV), número de grãos por vagens (NumG), massa fresca das vagens (MFV), massa fresca dos grãos (MFG), massa seca das vagens (MSV), massa seca dos grãos (MSG) e massa seca total da parte aérea (MSTA). Para a massa fresca da parte aérea (MFPA) houve efeito significativo apenas para o fator tipo de fertirrigação, já a percentagem de vagens chochas (PerVC) não foi afetada significativamente por nenhum dos fatores estudados.

As testemunhas, adubadas de forma convencional e irrigadas com lâmina de 100% da ETc, apresentaram efeito significativo para o fator manejo de irrigação (pulsada e contínua)

para as variáveis número de vagens (NumV), número de grãos (NumG), massa fresca dos grãos (MFG), massa fresca das vagens (MFV), massa seca dos grãos (MSG) massa seca e fresca total da parte aérea (MSTA) e (MFTA).

Tabela 2. Resumo da análise de variância para as variáveis de produção de feijão-caupi BRS Tumucumaque, em função das lâminas de reposição da ETc e dos tipos de aplicação da fertirrigação e da adubação convencional com lâmina de 100% da ETc. Carpina-PE, 2022.

Quadrado Médio				
FV	GL	Produção		
		NumV	NumG	PerVC
Lâminas (L)	4	146,400**	1527,087**	4,912 ^{ns}
Manejo (M)	1	378,225**	1716,100*	4,900 ^{ns}
L x M	4	11,3500 ^{ns}	30,5375 ^{ns}	7,837 ^{ns}
Blocos	3	4,158 ^{ns}	372,000 ^{ns}	0,066 ^{ns}
Resíduo	27	11,047	372,333	7,788
CV	%	24,22	21,26	103,17
Testemunha	1	72,000*	242,000**	45,125 ^{ns}
Blocos	3	3,166 ^{ns}	28,33 ^{ns}	38,458 ^{ns}
Resíduo	3	4,00	8,33	45,125
CV	%	11,59	2,99	119,42
FV	GL	Matéria Fresca		
		MFTA	MFV	MFG
Lâminas (L)	4	18259,245 ^{ns}	391,760*	846,529**
Manejo (M)	1	33266,360*	2881,166**	853,868*
L x M	4	985,580 ^{ns}	39,796 ^{ns}	48,511 ^{ns}
Blocos	3	1287,956 ^{ns}	180,190 ^{ns}	37,476 ^{ns}
Resíduo	27	7155,535	137,566	190,532
CV	%	29,34	35,48	34,10
Testemunha	1	11238,752*	59,296*	244,925*
Blocos	3	233,186 ^{ns}	2,547 ^{ns}	13,840 ^{ns}
Resíduo	3	633,501	4,853	28,004
CV	%	9,71	6,46	14,59
FV	GL	Matéria Seca		
		MSTA	MSV	MSG
Lâminas (L)	4	1287,177**	12,313*	63,312*
Manejo (M)	1	1722,525*	26,479**	103,748*
L x M	4	48,124 ^{ns}	4,539 ^{ns}	1,933 ^{ns}
Blocos	3	244,201 ^{ns}	1,839 ^{ns}	1,929 ^{ns}
Resíduo	27	305,629	3,761	19,644
CV	%	33,08	41,01	34,91
Testemunha	1	1515,801*	2,668 ^{ns}	22,512**
Bloco	3	186,554 ^{ns}	0,120 ^{ns}	1,252 ^{ns}
Resíduo	3	89,571	1,863	0,864
CV	%	20,73	24,63	7,18

^{ns} não significativo; * e **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. NumV e NumG = respectivamente, número de vagens e de grãos; PerVC = percentagem de vagens chochas; MFTA e MSTa = respectivamente, massa fresca e seca total da parte aérea; MFV e MSV = respectivamente, massa fresca e seca das vagens; MFG e MSG = respectivamente, massa fresca e seca dos grãos;

Por meio da Figura 10A é possível verificar o efeito isolado do número de vagens em função das lâminas de fertirrigação. O maior número de vagens (17,4 por planta) foi obtido na lâmina de 91,88%, no qual se observa um aumento de 151,08% do número de vagens em relação à aplicação da lâmina de 40% da ETc (6,93 por planta).

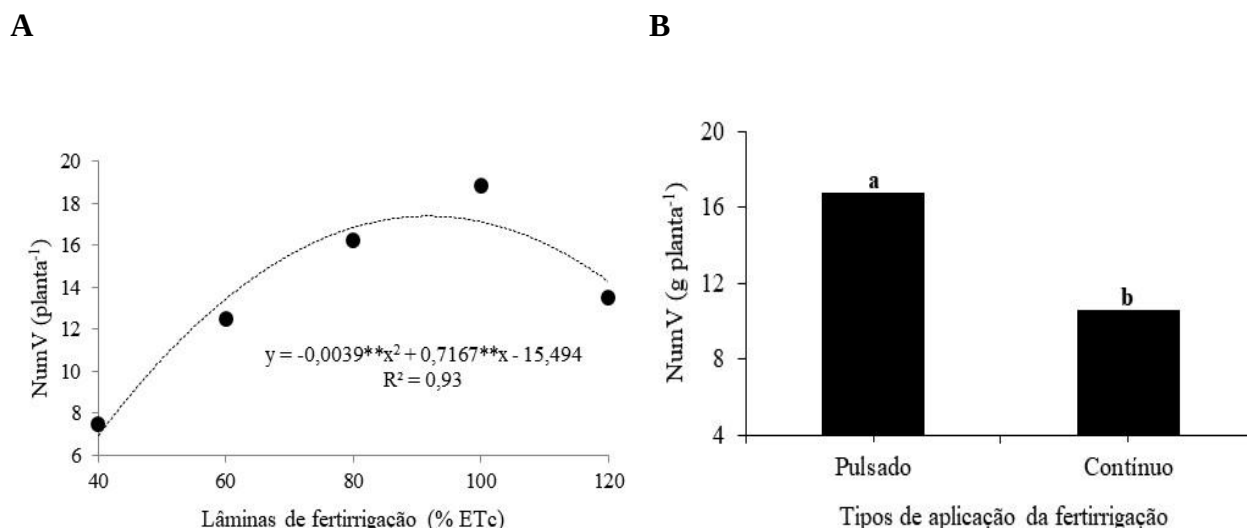


Figura 10 - Número de vagens (NumV) em função das lâminas de fertirrigação aplicadas (A) e dos tipos de aplicação da fertirrigação (B). Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Tais resultados corroboram com aqueles obtidos por Locatelli et al. (2014), que avaliando o desempenho de diferentes cultivares de feijão-caupi submetidas a diferentes lâminas de irrigação observaram que o número de vagens aumentou em função do incremento das lâminas de irrigação aplicadas, tendo-se o maior número (12 vagens planta⁻¹) sido obtido com a aplicação da lâmina de 108,6%.

Resultados semelhantes foram, também, obtidos por Conceição et al. (2017), ao estudarem a influência de diferentes lâminas de irrigação na cultura do feijão. Os autores observaram incremento do número de vagens por planta nas maiores lâminas de água aplicada, sendo observados valores máximos de 20 vagens por planta.

Ramos et al. (2014) obtiveram resultados superiores ao presente estudo com a cultivar BRS Guariba, em que o maior valor de vagens verdes por planta (21,0) foi obtido com a aplicação da lâmina de irrigação de 125% da ET₀ e efeito similar à presente pesquisa com a cultivar BRS Pujança, a qual apresentou redução do número de vagens verdes com a aplicação da maior lâmina de irrigação (125% ET₀).

Já Santos et al. (2009), avaliando a produção e os componentes produtivos de variedades de feijão-caupi, na microrregião Cariri Oriental no Estado da Paraíba, observaram número de vagens verdes por planta de (16,4) para a cultivar EPACE-10. De acordo com Nascimento et al. (2004), ao avaliarem o efeito da variação de níveis de água no solo sobre o crescimento e a produção de feijão-caupi, constataram que o número de vagens por planta é influenciado pelas lâminas de água, sendo mais afetado pelo déficit hídrico.

Para o fator tipo de aplicação da fertirrigação verifica-se, por meio da Figura 10B, que a fertirrigação pulsada promoveu uma maior produção de vagens na cultivar BRS Tumucumaque quando comparada à fertirrigação aplicada de forma contínua. Os números de vagens (NumV) por planta obtidos com as aplicações das fertirrigações pulsada e contínua foram de 16,8 e 10,5, respectivamente, tendo a fertirrigação pulsada proporcionado um acréscimo de 60% do NumV em comparação com a fertirrigação aplicada de forma contínua.

Resultado similar ao verificado neste trabalho foi constatado no estudo realizado por Almeida et al. (2018), os quais avaliaram a produtividade de feijão verde submetido à irrigação por gotejamento contínuo e pulsado e observaram que o maior NumV foi obtido quando a cultura foi irrigada de forma pulsada.

O maior rendimento de NumV também foi observado por Sousa et al. (2013) que, avaliando a cultura do amendoim, constataram que as plantas fertirrigadas apresentaram um maior número de vagens em comparação àquelas adubadas pelo método convencional.

Para a variável NumG em função das lâminas de fertirrigação (Figura 11A), observa-se que o maior valor estimado de grãos foi de 100,8 obtido com a aplicação da lâmina de 96,76% da ETc, obtendo-se um aumento de 49,05% em relação à aplicação da lâmina de 40% da ETc (67,63 g planta⁻¹).

O déficit hídrico causado pela lâmina de 40% da ETc reduziu o crescimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade da cultura e a quantidade de grãos por planta, tal como evidenciado, também, por Bastos et al. (2016). Silva et al. (2018), avaliando a produtividade de feijão-caupi sob diferentes lâminas de irrigação também observaram variação do número de grãos em função da quantidade de água aplicada, tendo-se verificado menores valores para a variável quando as plantas foram submetidas a déficit e a excesso de irrigação.

Resultados diferentes dos obtidos na presente pesquisa foram encontrados por Prado et al. (2021) ao avaliarem a resposta do feijoeiro a lâminas de irrigação em diferentes condições de solos. Os autores verificaram que o feijão teve melhor rendimento com a aplicação das lâminas de 125 e 150% da ETc e que lâminas inferiores a 100% apresentaram redução no

número de grãos. Essa diferença de resultados evidencia a importância da realização de pesquisas com lâminas de irrigação nas mais diversas condições ambientais.

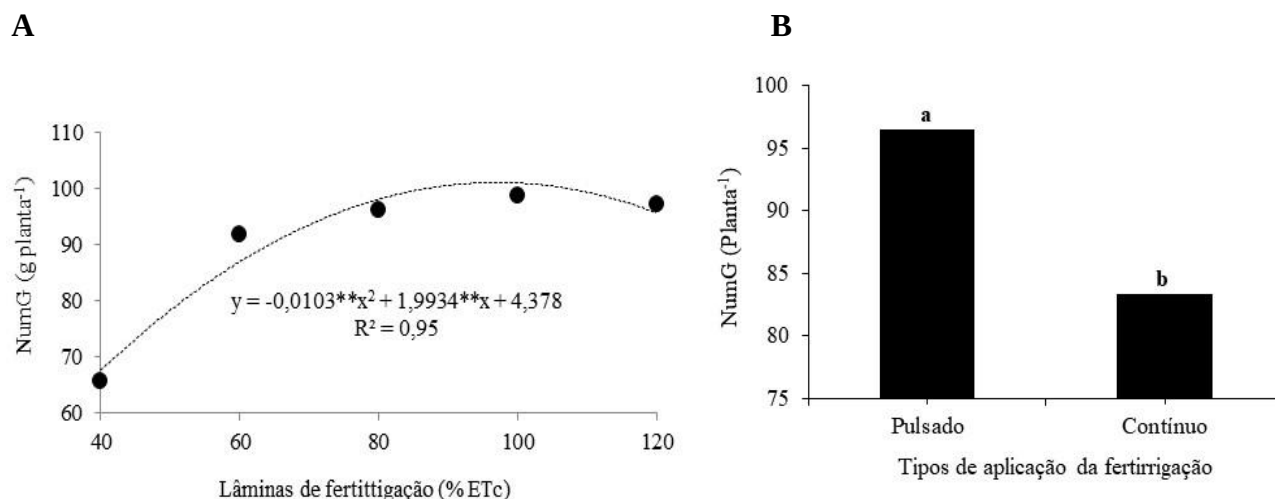


Figura 11 - Número de grãos (NumG) em função das lâminas de fertirrigação aplicadas (A) e dos tipos de aplicação da fertirrigação (B). Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

De acordo com Soares et al. (2016), as características de crescimento e desenvolvimento das plantas estão naturalmente associadas às cultivares utilizadas, ao manejo da cultura e do solo, e condições ambientais, exercendo influência sobre o consumo de água pelas plantas.

Já ao que se refere ao efeito isolado dos tipos de fertirrigação (Figura 11B) pôde-se averiguar um incremento percentual de 16,20 do NumG com a aplicação da fertirrigação pulsada (96,45 grãos planta⁻¹) em comparação com a aplicação da fertirrigação contínua (83 grãos planta⁻¹). Cruz et al. (2021), em pesquisa com a cultura do amendoim irrigado com águas salobras por gotejamento contínuo e pulsado observaram que o uso da irrigação por pulso incrementou em 34,9% o número de grãos da cultura em relação à produção obtida com a aplicação da irrigação de forma contínua.

Kraesk et al. (2021) argumentam que o sistema de irrigação aliado à aplicação de nutrientes permite que os cultivos expressem melhor seu potencial produtivo. Ramires et al. (2018) evidenciaram que a produtividade do feijoeiro apresentou maiores rendimentos quando se associou o tipo de cultivar e a aplicação de doses de N via água de irrigação.

Para o efeito isolado das lâminas de fertirrigação sobre a produção da MFV (Figura 12A) constatou-se que o maior valor estimado (38,90 g planta⁻¹) foi obtido na lâmina de 97,25% da ETc, proporcionando aumento de 80,9% sobre a lâmina de 40% da ETc (21,5).

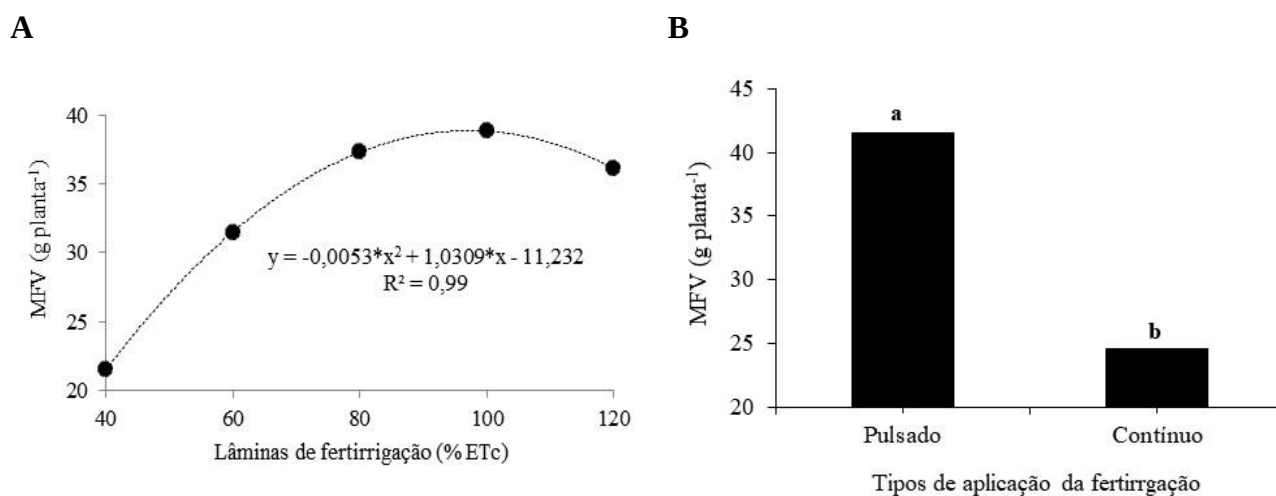


Figura 12 - Massa fresca das vagens (MFV) em função das lâminas de fertirrigação aplicadas (A) e dos tipos de aplicação da fertirrigação (B). Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Ferreira et al. (2019), avaliando o cultivo de feijão-vagem em ambiente protegido submetido a diferentes tensões de água no solo, verificaram que a massa fresca das vagens reduziu à medida que aumentaram as tensões de água no solo (60 e 70 kPa), tensões nas quais foram aplicadas menores lâminas de irrigação. Por outro lado, a aplicação de maiores lâminas de irrigação proporcionou acréscimo da MFV.

Resultados semelhantes aos da presente pesquisa para a variável MFV foram obtidos por Silva et al. (2012) que, ao analisarem a massa fresca das vagens do feijão-de-metro, observaram redução da massa fresca das vagens nas menores lâminas de irrigação. Estes resultados podem ser comparados com a pesquisa de Conceição et al. (2017), para os quais a demanda de água está ligada à interferência que o déficit hídrico causa na fisiologia da planta, ocasionando abscisões nas flores e nas vagens, resultando na redução da produtividade.

Já para o tipo de aplicação da fertirrigação (Figura 12B), constatou-se que a forma pulsada proporcionou a obtenção de uma maior MFV (41,54 g planta⁻¹) o que acarretou um acréscimo de 69,13% em comparação com a fertirrigação aplicada de forma contínua. Abuarab et al. (2011) também observaram aumento de massa fresca de vagens do feijão verde para o manejo

com pulsos em relação ao contínuo, com ganhos médios de 180% em relação à irrigação contínua para essa variável.

O efeito isolado das lâminas de fertirrigação e dos tipos de aplicação para a variável MSV pode ser observado nas Figuras 13A e Figura 13B, respectivamente. Verifica-se que o maior valor estimado para essa variável foi de 5,6 g planta⁻¹, atingido na lâmina de 84,25% da ETc. A MSV em função das lâminas de fertirrigação aplicadas foi incrementada em 95,12% em relação à aplicação da lâmina de 40% da ETc (2,87).

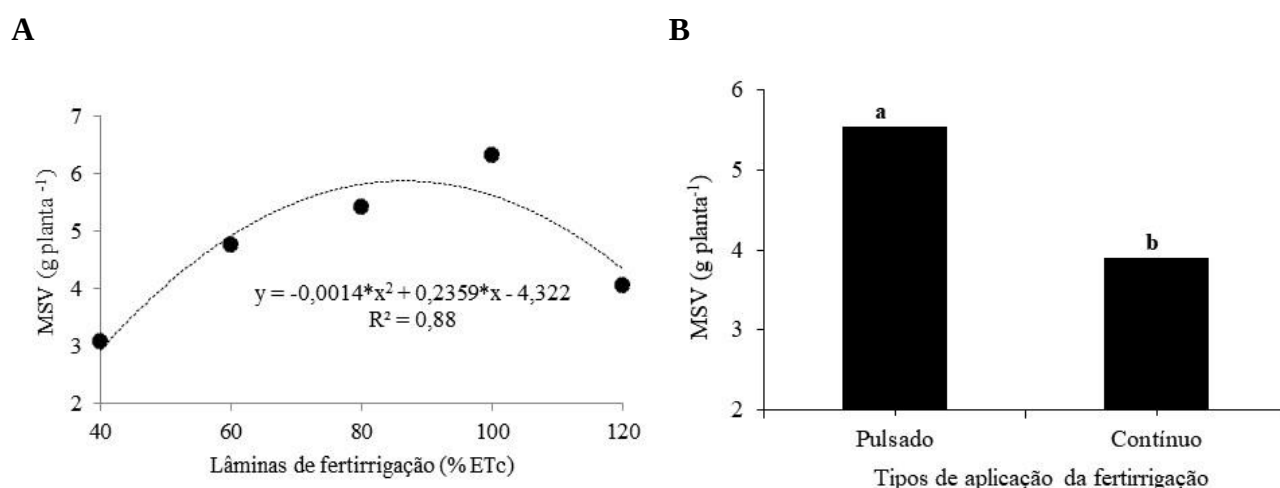


Figura 13 - Massa seca das vagens (MSV) em função das lâminas de fertirrigação aplicadas (A) e dos tipos de aplicação da fertirrigação (B). Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Dutra et al. (2015) e Moreira et al. (2016) observaram que lâminas de irrigação inferiores a 80% da ETc proporcionam drásticas perdas no rendimento das plantas. Já Carrega et al. (2019) e Haro & Carrega (2019) argumentam que o estresse hídrico, seja por déficit ou excesso de água, causa alterações fisiológicas que comprometem o desenvolvimento e crescimento das plantas, podendo acarretar perdas de até 43% do número de vagens, o que influencia diretamente no rendimento da MFV e MSV.

No que se refere ao tipo de aplicação da fertirrigação, constatou-se que a pulsada se sobressaiu em relação à contínua (Figura 13B). O valor médio observado para a MSV com aplicação pulsada foi de 5,54 g planta⁻¹ enquanto que a fertirrigação contínua proporcionou um valor médio de 3,91 g planta⁻¹. Zamora et al. (2019) explicam que o rendimento produtivo que a irrigação por pulsos proporciona às culturas ocorre pelo fato do fracionamento da lâmina de

irrigação permitir manter a água e os nutrientes solúveis próximos à zona radicular da cultura, facilitando assim a absorção de água e nutrientes pela planta.

Com relação à massa fresca dos grãos (MFG) observa-se por intermédio da Figura 14A que os dados se ajustaram ao modelo quadrático, tendo o maior valor para a variável (48,56 g planta⁻¹) sido obtido com a aplicação da lâmina de 98,16%, correspondendo a um aumento de 103,4% em relação ao valor obtido com a aplicação da lâmina de 40% da ETc (23,87 g planta⁻¹). Já para o tipo de aplicação da fertirrigação (Figura 14B), verificou-se que a fertirrigação pulsada promoveu incremento de 25,77% na MFG quando comparado à fertirrigação realizada de forma contínua.

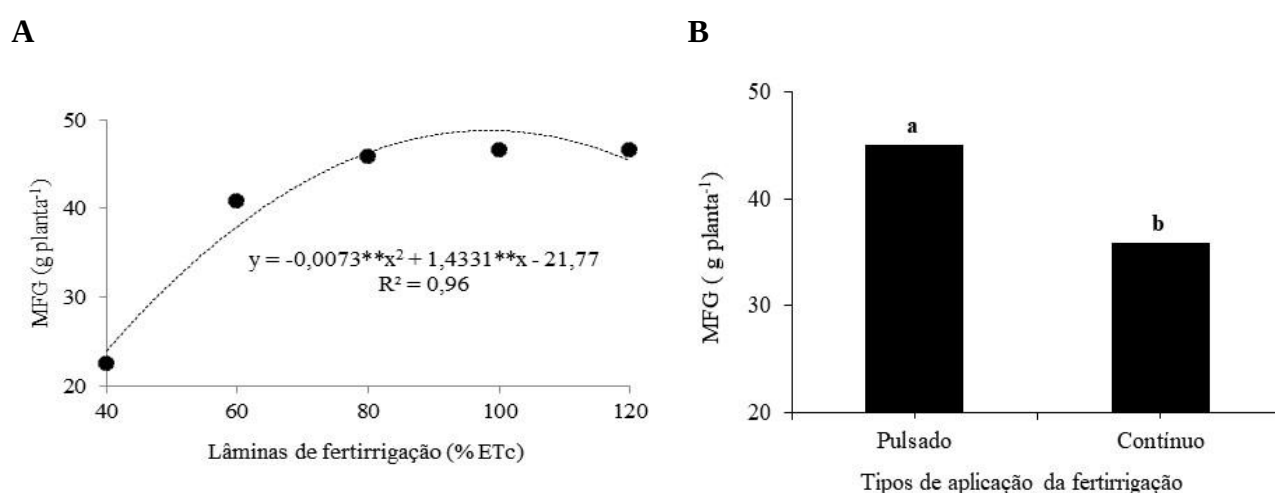


Figura 14 - Massa fresca dos grãos (MFG) em função das lâminas de fertirrigação aplicadas (A) e dos tipos de aplicação da fertirrigação (B). Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Observa-se que os dados da MFG apresentaram comportamento semelhante àqueles obtidos para a variável MFV (Figura 12 A), tendo-se, também, constatado o menor rendimento com a aplicação da menor lâmina de irrigação avaliada (40% da ETc). Martins et al. (2017) relatam que volumes de irrigação deficitária interferem de forma significativa no desenvolvimento do feijoeiro. Avaliando o efeito do déficit hídrico na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum os autores supracitados verificaram redução da massa fresca dos grãos quando as plantas foram submetidas à deficiência hídrica.

Segundo Fernandes et al. (2015), ambientes com baixos índices de água no solo provocam baixos rendimentos às culturas pelo fato das plantas reduzirem a condutância estomática,

apresentando, como consequências, baixas taxas de transpiração e fotossíntese, mecanismos responsáveis pelo desenvolvimento vegetal.

As lâminas de fertirrigação avaliadas e os tipos de aplicação da fertirrigação exerceram efeitos isolados sobre a variável MSG (Figuras 15A e 15B). Verifica-se, por meio da Figura 15A, que a maior MSG ($14,93 \text{ g planta}^{-1}$) foi obtida com a aplicação da lâmina de 99,45% da ETc, tendo-se observado acréscimo de 82,07% de MSG em relação à aplicação da lâmina de 40% da ETc, a qual proporcionou a obtenção de MSG de $8,2 \text{ g planta}^{-1}$.

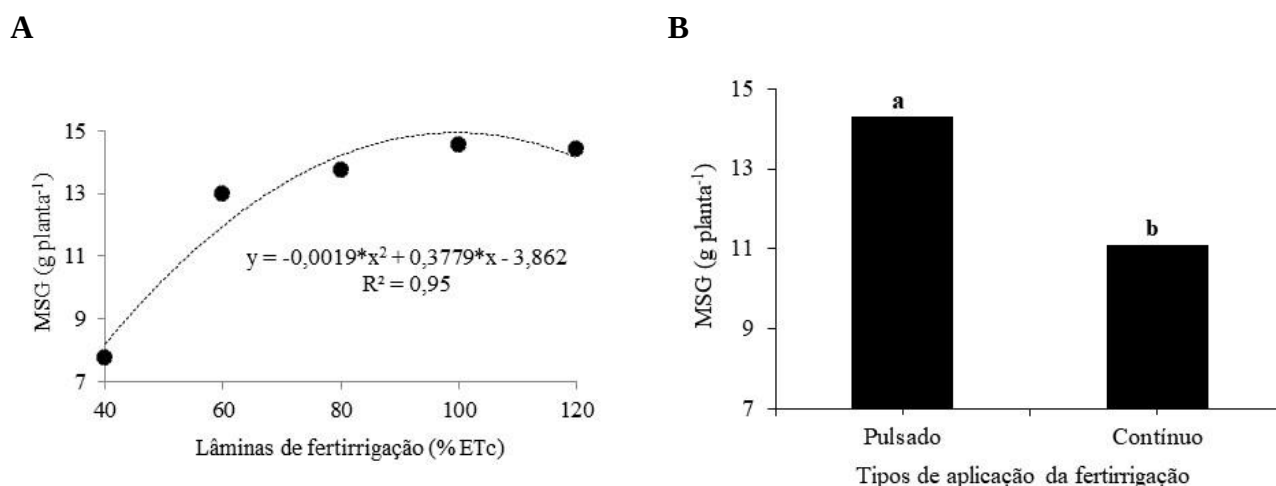


Figura 15 - Massa seca dos grãos (MSG) em função das lâminas de fertirrigação aplicadas (A) e dos tipos de aplicação da fertirrigação (B). Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

O feijão-caupi quando fertirrigado de forma pulsada produziu uma maior quantidade de MSG ($14,3 \text{ g planta}^{-1}$) em comparação com a MSG obtida com a fertirrigação aplicada de forma contínua que foi de 11 g planta^{-1} (Figura 15B), indicando que o manejo de fertirrigação pulsada proporcionou um incremento de 30% à matéria seca dos grãos.

Resultados semelhantes foram obtidos por Bastos et al. (2012) e Fernandes et al. (2015) que, ao avaliarem o efeito do déficit hídrico no solo sobre as variáveis de crescimento e produção do feijão-caupi, constataram que a redução da lâmina de irrigação proporcionou decréscimos significativos sobre as variáveis de crescimento e produção. Da mesma forma, corroborando com o presente estudo Bianco et al. (2013), ao avaliarem duas cultivares de soja em condições de deficiência hídrica, verificaram redução de massa seca dos grãos em função das menores lâminas de irrigação aplicadas. De acordo com Fischer Filho et al. (2014), faz-se necessário conhecer a necessidade hídrica da cultura para minimizar os efeitos negativos que a

irrigação deficitária ou excessiva causa em períodos que a cultura normalmente requer menor ou maior demanda hídrica.

A massa fresca total da parte aérea (MFTA) foi influenciada significativamente apenas pelo fator tipo de aplicação da fertirrigação (Figura 16), observando-se que a fertirrigação pulsada proporcionou maior ganho de peso da variável, tendo-se obtido valor médio de 317,16 g planta⁻¹ em comparação à fertirrigação contínua, com valor médio de 259,48 g planta⁻¹, evidenciando, assim, que a fertirrigação pulsada promoveu um acréscimo ao peso da MFTA de 22,22%.

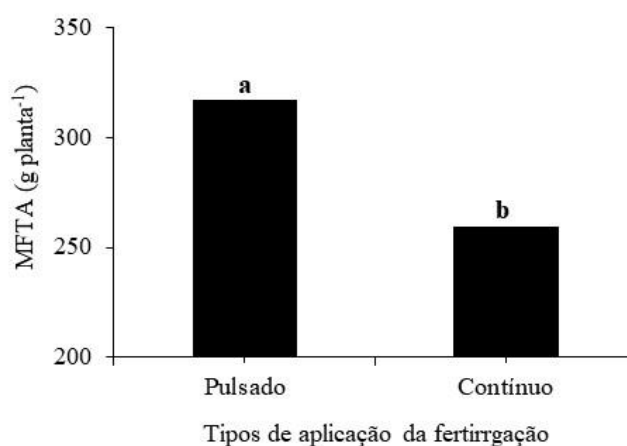


Figura 16 - Massa fresca total da parte aérea (MFTA) em função dos tipos de aplicação da fertirrigação. Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Em resultados obtidos por Cruz et al. (2021), observou-se que houve aumento de 27,57% de massa fresca para a cultura do amendoim quando irrigado de forma pulsada, tendo acrescido 16,05 g planta⁻¹ em relação ao manejo contínuo. Abuarab et al. (2011) também verificaram acréscimo de massa fresca do feijão (*Phaseolous vulgaris* L) verde para a irrigação pulsada em relação à contínua, com ganhos médios de 180%.

Verifica-se, por meio da Figura 17A, que o maior valor de MSTA (65,93 g planta⁻¹) foi obtido com a aplicação da lâmina de 83,81% da ETc, evidenciando-se um aumento de 87,14% sobre a lâmina de 40% da ETc e redução do peso da MSTA em 46,51% com relação à lâmina de 120% da ETc.

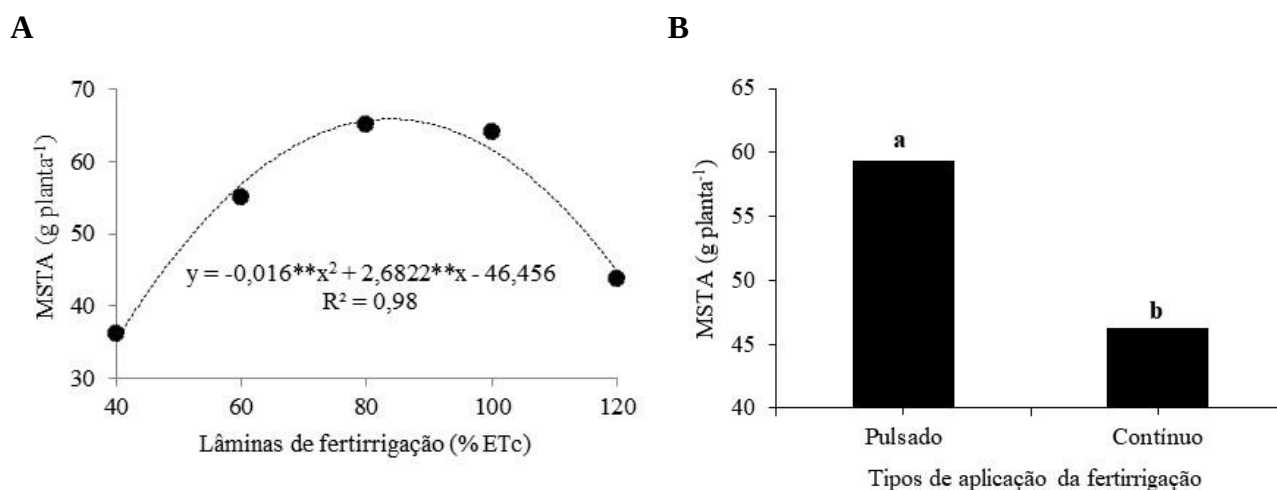


Figura 17 - Massa seca total da parte aérea (MSTA) em função das lâminas de fertirrigação aplicadas (A) e dos tipos de aplicação da fertirrigação (B). Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Dias et al. (2019) explicam que quando a água é aplicada em quantidades superiores à exigida pela cultura, a presença da maior umidade na superfície do solo pode acarretar em um menor desenvolvimento da planta. De acordo com Duarte et al. (2013), o estresse hídrico provoca alterações nas propriedades das membranas, inibição da fotossíntese, aumento da respiração e, por consequência, menor produção de matéria seca, senescência prematura e redução da produção dos componentes das plantas.

Melo et al. (2018), estudando o feijão *Vigna* sob efeito do déficit hídrico também observaram redução da matéria seca do feijão quando o mesmo foi irrigado com a lâmina de 40% da ETc e constataram que as lâminas entre 80 e 100% da ETc foram as que proporcionaram o maior acúmulo de massa seca. Dutra et al. (2015) e Moreira et al. (2016), também verificaram que lâminas de irrigação inferiores a 80% da ETc promoveram grandes perdas no rendimento das plantas.

A análise dos tipos de manejo da fertirrigação para MSTa (Figura 17B), indicou que a fertirrigação pulsada proporcionou maior ganho de peso a essa variável, evidenciando incremento de 28,35% em relação à fertirrigação aplicada de forma contínua. De acordo com Seron et al. (2015), a técnica da irrigação por pulsos minimiza os efeitos nocivos do déficit hídrico e promove incremento da produtividade das plantas, refletindo em benefícios para os componentes de produção das culturas.

Verifica-se, por intermédio da Tabela 3, que os tratamentos testemunhas, adubados de forma convencional e irrigados de forma pulsada (testemunha 1) e de forma contínua (testemunha 2), com a lâmina de 100% da ETc, proporcionaram diferenças significativas sobre as variáveis número de vagens por planta (NumV), número de grãos por vagens (NumG), massa fresca de vagens (MFV), massa fresca de grãos (MFG), massa seca de grãos (MSG), massa fresca (MFTA) e seca (MSTA) total da parte aérea.

Tabela 3. Teste de médias para as variáveis de produção de feijão-caupi BRS Tumucumaque adubado de forma convencional e irrigado de forma pulsada e contínua com a lâmina de 100% da ETc. Carpina-PE, 2022.

Manejo da irrigação	NumV	NumG	MFG	MSG	MFV	MFTA	MSTA
Pulsado	20,25 a	102 a	42,83 a	15,0 a	36,81 a	296,67 a	59,41 a
Contínuo	14,25 b	91 b	29,70 b	11,27 b	31,36 b	221,71 b	31,88 b

Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de manejo da irrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$). NumV e NumG = respectivamente, número de vagens e de grãos; MFG e MSG = respectivamente, massa fresca e seca dos grãos; MFV = massa fresca das vagens; MFTA e MSTa = respectivamente, massa fresca e seca total da parte aérea.

Constata-se que os maiores valores para as variáveis supracitadas foram obtidos por ocasião da aplicação da irrigação de forma pulsada, sendo constatado incrementos de 42,10% para o NumV; de 12,08% para o NumG; de 44,21% para a MFG; de 33,09% para a MSG; de 17,38% para a MFV; de 33,81% para a MFTA e de 86,36% para a MSTa (Tabela 3).

Tais resultados obtidos na presente pesquisa para as variáveis de produtividade do feijão-caupi, quando adubado de forma convencional e irrigado de forma pulsada, assemelham-se aos resultados encontrados em outros estudos por diversos autores, tais como Liu et al. (2013), Almeida et al. (2015), Soares et al. (2017), Nascimento et al. (2020) e Menezes et al. (2020), que, ao testarem a irrigação por pulsos, constataram que essa técnica promoveu maiores rendimentos produtivos das culturas estudadas.

CONCLUSÕES

As lâminas de fertirrigação entre 80 e 100% da ETc foram as que proporcionaram melhor desempenho produtivo do feijão-caupi, enquanto que as lâminas de 40% e 120% da ETc influenciaram na perda de produtividade da cultura;

A fertirrigação pulsada promoveu maiores rendimentos para todas as variáveis de produção analisadas;

As plantas irrigadas com a lâmina de 100% da ETc e adubadas convencionalmente apresentaram maiores rendimentos produtivos quando a aplicação da lâmina foi realizada de forma pulsada em detrimento da aplicação de forma contínua;

Independentemente do tipo de aplicação (pulsado ou contínuo), as lâminas de máxima eficiência física estimadas para a fertirrigação proporcionaram maiores valores para as variáveis produtivas em relação ao manejo da adubação de forma convencional irrigado com a lâmina de 100% da ETc.

REFERÊNCIAS

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparove, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2014.

Almeida, W. F.; Lima, L. A.; Pereira, G. M. Drip pulses and soil mulching effect on american crisphead lettuce yield. *Engenharia Agrícola*, v.35, p.1009-1018, 2015.

Almeida, W. F.; Paz, V. P. S.; Jesus, A. P. C.; Silva, J. S. S.; Gonçalves, K. S.; Oliveira, A. S. Yield of green beans subjected to continuous and pulse drip irrigation with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.476-481, 2018.

Abuarab, M. E.; El-Mogy, M.; Lotfy, A. Response of green bean to pulse subsurface trickle. *Irrigation*, v.28, p.1-17, 2011.

Bianco, L. F.; Trevizan, F. H.; Nicolino Filho, C. J.; Oliveira, T. B. M.; Neiverth, W.; Crrusiol, L. G. T.; Nepomuceno, A. L.; Neumaier, N.; Farias, J. R. B. Algumas características das cultivares da soja Embrapa 48 e BR 16 em diferentes regimes hídricos. *Jornada Acadêmica da Embrapa Soja*, n.8, p.137-141, 2013.

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

Bastos, F. J. D. C.; Soares, F. A. L.; Sousa, C. V.; Tavares, C. J.; Teixeira, M. B.; Sousa, A. E. C. Common bean yield under water suppression and application of osmoprotectants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.20, p.697–701, 2016.

Bastos, E. A.; Ramos, H. M. M.; Andrade Júnior, A. S.; Nascimento, F. N.; Cardoso, J. M. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. *Water Resources and Irrigation Management*, v.1, p.31-37, 2012.

Busato, C. C. M.; Soares, A. A.; Sediya, G. C.; Motoike, S. Y.; Reis, E. F. Manejo da irrigação e fertirrigação com nitrogênio sobre as características químicas da videira ‘Niágara Rosada’. *Ciência Rural*, v.41, p.1183-1188, 2011.

Carrega, W. C.; Santos, J. I.; Cesarin, A. E.; Gallardo, G. J. T.; Bacha, A.L.; Godoy, I. J.; Alves, P. L. C. A. Respostas fisiológicas de genótipos de amendoim à deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v.54, p.119-133, 2019.

Campos, F. L.; Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Lopes, A. C. A. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp): uma proposta de escala de desenvolvimento. *Revista Científica Rural*, v.5, p.110-116, 2000.

Cardoso, M. J.; Melo, F. de B. Plantio. In: Bastos, E. A. (Ed.). *Cultivo de Feijão-Caupi*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

Costa, A. R.; Rezende, R.; Freitas, P. S. L.; Gonçalves, A. C. A.; Frizzone, J. A. A cultura da abrobinha italiana (*Curcubita pepo* L.) em ambiente protegido utilizando fertirrigação nitrogenada e potássica. *Irriga*, v.20, p.105-127, 2015.

Cavalcanti, F. L. A.; Santos, J. C. P.; Pereira, J. R.; Leite, J. P.; Silva, M. C. L.; Freire, F. J.; Silva, D. J.; Sousa, A. R.; Messias, A. S.; Faria, C. M. B.; Burgos, N.; Lima Júnior, M. A.; Gomes, R. V.; Cavalcanti, A. C.; Lima, J. F. V. F. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. 2008. 212p.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Acompanhamento da safra Brasileira. Conab, 2021. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: Fev. 2022.

Conceição, C. G.; Costenaro Parizi, A. R.; Santos Gomes, A. C. D.; Bitencourt, G. B.; Conceição, J. A. Influência de lâminas de irrigação sobre a produção do feijão comum conduzido na 2ª safra. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.11, p.1876-1883, 2017.

Cruz, R. I. F.; Silva, G. F.; Silva, M. M.; Silva, A. H. S.; Santos Júnior, J. M.; Silva, E. F. F. Produtividade de amendoim irrigado com águas salobras via gotejamento pulsado e contínuo. *Revista Caatinga*, v.34, p.208-218, 2021.

Dias, M. S.; Reis, L. S.; Lima, I. R. V.; Albuquerque, A. W.; Santos, R. H. S.; Almeida, C. A. C.; Silva, V. M. Eficiência do uso da água pela cultura do amendoim sob diferentes lâminas de irrigação e formas de adubação. *Colloquium Agrariae*, v.15, p.72-83, 2019.

Dutra, A. F.; Melo, A. S.; Filgueiras, L. M. B.; Silva, A. R. F.; Oliveira, I. M.; Brito, M. E. B. Parâmetros fisiológicos e componentes de produção de feijão-caupi cultivado sob deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Ciências Agrária*. v.10, p.189-197, 2015.

Duarte, E. A. A., Melo Filho, P. A.; Santos, R. C. Características agronômicas e índice de colheita de diferentes genótipos de amendoim submetidos a estresse hídrico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.843-847, 2013.

Elnesr, M. N.; Alazba, A. A.; Zein El-Abedein, A. L.; El-Adl, M. M. Evaluating the effect of three water management techniques on tomato crop. *PLoS One*, v.10, p.1-17, 2015.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª ed. Brasília, 2013. 353p.

FAO. Estadísticas de cultivo, 2020 Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Acesso em: 20 Fev. 2022.

Fischer Filho, J. A.; Zocoler, J. L.; Poloni, N. M.; Furlani Junior, E. Evapotranspiração e disponibilidade hídrica em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) sob estresse hídrico. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.8, p.366- 374, 2014.

Ferreira, L. D.; Conceição, C. G.; Parizi, A. R. C.; Arce, L. M.; Gauteiro, G. R. Produção do feijão vagem submetido a diferentes tensões de água no solo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.13, p.3180-3189, 2019.

Fernandes, F. B. P.; Lacerda, C. F.; Andrade, E. M.; Neves, A. L. R.; Sousa, C. H. C. Efeito de manejos do solo no déficit hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão-de-corda no semiárido. *Revista Ciência Agronômica*, v.46, p.506-515, 2015.

Freire Filho, F. R.; Lima, J. A. A.; Ribeiro, V. Q. Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 519p.

Guimarães, D. G.; Oliveira, L. M. O; Guedes, M. O.; Ferreira, G. F. P.; Prado, T. R.; Amaral, C. L. F. Desempenho da cultivar de feijão-caupi BRS Novaera sob níveis de irrigação e adubação em ambiente protegido. *Cultura Agronômica*, v.29, p.61-75, 2020.

Haro, R. J.; Carrega, W. C. Efeitos do estresse hídrico na cultura do amendoim. In: Silva, R. P.; Santos, A. F.; Carrega, W. C. Avanços na produção de amendoim. Jaboticabal: Funep, 2019. Cap.3, p.55-66.

Karim, A. T. D.; Sanoussi, A.; Maârouhi, I. M.; Falalou, H.; Yacoubou, B. Effect of water deficit at different stages of development on the yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes. *African journal of biotechnology*, v.17, p.279-287, 2018.

Kraesk, M. J.; Lopes, A. S.; Fanaya Júnior, E. D.; Pacheco, A.; Centurião, M. A.; Arevalo, A. C. M.; França, A. Medeiros, R. D. Manejo da irrigação, inoculação e nitrogênio no feijoeiro de inverno, *Research, Society and Development*, v.10, p.1-11, 2021.

Liu, H.; Duan, A.; Liw.; Sun, F. S.; Wang, J. S.; Sun, C. T. Drip irrigation scheduling for tomato grown in solar greenhouse based on pan evaporation in North China plain. *Journal of Integrative Agriculture*, v.12, p.520-531, 2013.

Locatelli, V.; Medeiros, R. D. de; Smiderle, O.; Albuquerque, J. Produtividade de vagens verdes de Feijão-caupi sob lâminas de irrigação em plantio direto no cerrado Roraimense. In: Congresso Nacional De Feijão-Caupi, 3., Recife, 2013.

Locatelli, V. E. R.; Medeiros, R. D.; Smiderle, O. J.; Albuquerque, J. A. A.; Araújo, W. F.; Souza, K. T. S. Componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-

caupi no cerrado de Roraima. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.574-580, 2014.

Martins, C. A. S.; Reis, E. F.; Garcia, G. O.; Tomaz, M. A. Efeito do déficit hídrico na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum. *Nativa*, v.5, p.386-395, 2017.

Merriam, J. L.; Keller, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. 3ed. Logan: Utah State University. 1978. 271p.

Madane, D. A.; Kdam, U. S.; Tokhal R. Study of white onion (*Allium cepa* L.) on yield and economics under pulse irrigation (drip) for different irrigation levels. *International Journal Agriculture Engineering*, v.11, p.128-134, 2018.

Melo, A. S.; Silva, A. R.; Dutra, A. F.; Dutra, W. F.; Brito, M. E. B.; Sá, F. V. S. Photosynthetic efficiency and production of cowpea cultivars under deficit irrigation. *Revista Ambiente & Água*, v.13, p.1-8, 2018.

Melo, A. S.; Silva, A. R. F.; Dutra, A. F.; Dutra, W. F.; Sá, F. V. S.; Rocha, M. M. R. Crescimento e pigmentos cloroplastídicos de genótipos de feijão-caupi vigna sob déficit hídrico. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.12, p. 2579-2591, 2018.

Menezes, S. M.; Silva, G. F.; Zamora, V. R. O.; Silva, M. M.; Silva, A. C. R. A.; Silva, E. F. F. Nutritional status of coriander under fertigation depths and pulse and continuous drip irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.24, p.364-371, 2020.

Mota, F. G. S.; Souza, L. P.; Almeida, M. P. Irrigação suplementar em feijões crioulos. *Scientia Naturalis*, v.2, p.851-861, 2020.

Moreira, R. C. L.; Brito, M. E. B.; Queiroga, R. C. F.; Frade, L. J. G.; Costa, F. B.; Pereira, F. H. F.; Silva, L. A.; Oliveira, C. J. A. Gas exchange, growth and yield of cowpea genotypes under different irrigation strategies. *African Journal of Agricultural Research*, v.11, p.2286-2294, 2016.

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.; Silva, A. C.; Diotto, A. V.; Lima, L. A.; Oliveira, M. C. Irrigação por gotejamento subsuperficial e pulsos na produção de tomate de mesa. *Brazilian. Journal of Development*, v.6, p.65903-65916, 2020.

Ndiso, J. B.; Chemining'wa, G. N.; Olubayo, F. M.; Saha, H. M. Effect of Drought Stress on Canopy Temperature, Growth and Yield Performance of Cowpea Varieties. *International Journal of Plant & Soil Science*, v.9, p.1-12, 2016.

Nogueira, C. C. P.; Bastos, E. A.; Cardoso, M. J.; Andrade Júnior, A. S. Ribeiro, V. Q. Viabilidade econômica do feijão-caupi verde irrigado na microrregião de Teresina, Piauí. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2019. 10p. (Circular técnica, 250).

Novais, R. F.; Neves, J. C. L.; Barros, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A. J.; Garrido, W. E.; Araújo, J. D.; Lourenço, S. (Coord.). *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p.190-253. (EMBRAPA-SEA. Documentos, 3).

Prado, L. A.; Diniz, R. G.; Matias, M. L.; Braz, G. B. P.; Ferreira, C. J. B.; Marasca, I.; Solino, A. J. S. S.; Santos, G. O. Resposta do feijoeiro e do trigo a lâminas de Irrigação em diferentes condições de solo. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v.11, p.195-206, 2021.

Ramires, R.; Lima, S.; Simon, C.A.; Contardi, L. M.; Alvarez, R. C. F.; Brasil, M. Inoculação com rizóbio associado ao manejo da adubação nitrogenada em feijão comum. *Colloquium Agrariae*, v.14, p.49–57, 2018.

Ramos, M. M.; Bastos, E. A.; Cardoso, M. J.; Ribeiro, V. Q.; Nascimento, F. N. Produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. *Engenharia Agrícola*, v.34, p.638-694, 2014.

Santos, J. F.; Granjeiro J. I. T.; Brito, C. H.; Santos, M. Produção e componentes produtivos de variedades de feijão caupi na microregião cariri paraibano. *Engenharia Ambiental*, v.6, p. 214-222, 2009.

Silva, W. C.; Moura, J. G.; Brito, L. L. M.; Nicolau, F. E. A.; Camara, F. T. Produtividade de feijão-caupi submetido a diferentes manejos do solo e níveis de adubação mineral. *Enciclopédia Biosfera*, v.10, p.2459–2467, 2014.

Silva, W. G.; Carvalho, J. A.; Oliveira, E. C.; Rezende, F. C.; Lima Junior, J. A.; Rios, G. F. A. Manejo de irrigação para o feijão-de-metro, nas fases vegetativa e produtiva, em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.978–984, 2012.

Silva, W. C.; Moura, J. G.; Viana, I. E. T.; Nogueira, A. L. S. P.; Silva, M.; Oliveira, A. B. Produtividade de feijão-caupi submetido a diferentes lâminas de irrigação com uso de biofertilizantes. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.12, p.3028 – 3039, 2018.

Seron, C. C.; Lorenzoni, M. Z.; Souza, A. H. C.; Maller A.; Rezende, R.; Gonçalves, A. C. A. Crescimento da cultura do pepino irrigado por pulsos. In: IX EPCC- Encontro Internacional de Produção Científica Unicesumar, 2015. Anais... Paraná, 2015.

Soares, F. C.; Parizi, A. R. C.; Silva, G. U.; Essi, R.; Rusi, J. L.; Ben, L. H.; Santos, P. R. Irrigação suplementar na produção de grãos e na eficiência de uso da água do feijoeiro. *Revista Agrarian*, v.9, p.374-382, 2016.

Soares, S. C.; Albuquerque, A. H. P.; Sousa, G. G.; Albuquerque, A. G. B. M.; Viana, T. V. A.; Costa, S. C. Características físicas de frutos de goiabeiras sob altas frequências de irrigação e diferentes coberturas mortas. In: IV Inovagri International Meeting, XXVI Congresso Internacional de Irrigação e Drenagem, 2017. Fortaleza: SBS, 2017.

Soares, L. A. A.; Medeiros, T. L. F.; Colman V. C. G.; Palmeira, I. V. S.; Silva, I. J.; Moreira, R. C. L. Estratégias de irrigação com déficit hídrico nos estádios fenológicos do feijão-caupi sob adubação potássica. *Irriga*, v.26, p.111-122, 2021.

Sousa, G. G.; Azevedo B. M.; Oliveira, J. R. R.; Mesquita T. O.; Viana, T. V. A.; Ó, L. M. G. Adubação potássica aplicada por fertirrigação e pelo método convencional na cultura do amendoim. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.1055–1060, 2013.

Vale, J. C.; Bertini, C. H. C.; Teófilo, E. M.; Pinheiro, M. S.; Melo, L. F. Botânica e fenologia. In: Vale, J. C.; Bertini, C.; Borém, A. Feijão-caupi do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2017. Cap.2, p.37-51.

Zamora, V. R. O.; Silva, M. M., Silva, G. F.; Santos Júnior, J. A., Menezes, D.; Menezes, S. M. Pulse drip irrigation and fertigation water depths in the water relations of coriander. Horticultura Brasileira, v.37, p.22-28, 2019.

CAPÍTULO III

ACÚMULO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELO FEIJÃO-CAUPI FERTIRRIGADO POR GOTEJAMENTO CONTÍNUO E PULSADO

ACÚMULO E EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELO FEIJÃO-CAUPI FERTIRRIGADO POR GOTEJAMENTO CONTÍNUO E PULSADO

RESUMO - O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa considerada de grande relevância socioeconômica para o Nordeste Brasileiro. Porém, períodos de altas temperaturas e baixa precipitação afetam o equilíbrio nutricional desta cultura. Desta forma, a irrigação por gotejamento pulsado promove maiores rendimentos aos cultivos. E, no que diz respeito à agricultura irrigada, a prática da fertirrigação é considerada o meio mais eficiente de nutrição das plantas, pois proporciona maior eficiência de nutrientes e água para as culturas. Deste modo, objetivou-se com o presente estudo avaliar o acúmulo total e a exportação de nutrientes pelo feijão-caupi fertirrigado por gotejamento contínuo e pulsado. Os tratamentos foram arranjados em esquema fatorial 5x2+2, sendo cinco lâminas de irrigação equivalentes 40, 60, 80, 100 e 120% da evapotranspiração da cultura, combinadas com dois tipos de aplicação de fertirrigação (pulsada e contínua), mais dois tratamentos adicionais (adubação convencional irrigada por pulso e de forma contínua). Os tratamentos adicionais foram irrigados com lâmina de 100% da ETc. Foi adotado um delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições. Os nutrientes analisados foram N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn e Zn. Os maiores acúmulos e exportações de nutrientes foram obtidos com lâminas de fertirrigação pulsada menores que 100% da ETc. A adubação convencional e irrigação pulsada com lâmina de 100% da ETc promoveu maiores acúmulos e exportação de nutrientes em detrimento da irrigação contínua. A ordem decrescente de acúmulo total de nutrientes pela cultura do feijão-caupi, para ambos os tipos de aplicação da fertirrigação e para o manejo da testemunha 1 foi: N > K > Ca > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > Cu, Já para testemunha 2 foi: N > Ca > K > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > Cu. A ordem decrescente de exportação de nutrientes pelas vagens e grãos do feijão-caupi, para aplicação da fertirrigação por pulsos foi: N > P > Ca > K > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu. Já a aplicação da fertirrigação contínua apresentou a seguinte ordem: N > P > Ca > Mg > S > K > Fe > Zn > Mn > Cu. Para a testemunha 1 a ordem decrescente foi: N > P > Ca > K > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu e a ordem decrescente de exportação para testemunha 2 foi: N > Ca > K > P > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu.

Palavras-chave: Fertirrigação; Adubação convencional; *Vigna unguiculata*; Nutrição mineral de plantas; Irrigação por pulso; Manejo da irrigação.

ACCUMULATION AND EXPORTS OF NUTRIENTS BY CONTINUOUS AND PULSED DRIP BEANS FERTIRRIGATED

ABSTRACT- Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) is a legume considered of great socioeconomic size for the Brazilian Northeast. However, high and low temperature seasons are nutritional measures. In this way, pulsed drip irrigation promotes higher yields to crops. And, with regard to irrigated agriculture, the practice of fertigation is considered the most efficient means of plant nutrition, as it provides greater nutrient and water efficiency for crops. Thus, the objective of the present study was to evaluate the total cultivation and the cultivation of cowpea hair fertigated by continuous and pulsed drip. The treatments were arranged in a 5x2+2 factorial scheme, with five irrigation phases equivalent to 40, 60, 80, 100 and 120% of the crop inspiration evapotran, combined with two types of ferrigation application (pulsed and continuous), plus two treatments (conventional fertilization irrigated by pulse and continuously). Additional treatments were irrigated with a water depth of 100% ETc. A random change in blocks with fouring was adopted. The nutrients analyzed were N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn and Zn. The largest accumulations and exports of nutrients were with fertigation depths obtained below 100% of ETc. Conventional fertilization and pulsed irrigation with a depth of 100% of ETc promoted greater accumulation and export of nutrients at the expense of continuous irrigation. The decreasing order of total nutrient accumulation by cowpea crop, for both types of fertigation application and for control 1 management was: N > K > Ca > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > Cu, for witness 2 it was: N > Ca > K > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > Cu. The decreasing order of nutrient export by cowpea pods and grains for pulse fertigation application was: N > P > Ca > K > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu. The application of continuous fertigation presented the following order: N > P > Ca > Mg > S > K > Fe > Zn > Mn > Cu. For witness 1 the descending order was: N > P > Ca > K > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu and the descending order of export for witness 2 was: N > Ca > K > P > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu.

Keywords: Fertigation; Conventional fertilization; *Vigna unguiculata* .; Mineral nutrition of plants; Pulse irrigation; Irrigation management.

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa granífera, que pertence à família Fabaceae e é considerada de grande relevância socioeconômica para a região do Nordeste Brasileiro, sendo os grãos de feijão-caupi uma importante fonte de proteína para as comunidades do semiárido (Cruz et al., 2012; Rivas et al., 2016; Guimarães et al., 2020).

Períodos de altas temperaturas, baixa precipitação e déficit hídrico afetam a produtividade da cultura em diferentes estádios fenológicos, influenciando diretamente no número de vagens por planta, número de grãos por vagens e na massa dos grãos (Pereira et al., 2014; Conceição et al., 2018).

Entre as culturas cultivadas em grandes quantidades o feijoeiro é o mais sensível ao déficit hídrico. Essa característica pode estar relacionada ao seu ciclo curto e ao seu metabolismo. Deste modo, a irrigação é considerada como o principal mecanismo de otimização da produção na agricultura, a qual, se manejada de forma inadequada, pode provocar prejuízos referentes ao desperdício de água, energia e lixiviação de nutrientes no solo (Viçosi et al., 2017; Drugowich & D'Auria, 2017).

A irrigação por gotejamento é, dentre os métodos de irrigação existentes, aquela que se destaca devido ao fato de proporcionar um maior aproveitamento do uso da água. Associado à irrigação por gotejamento a técnica da irrigação por pulso que, de acordo com Almeida (2018), corresponde a uma tecnologia desenvolvida para auxiliar no desempenho dos sistemas de irrigação consiste em um curto período de irrigação seguido de uma pausa e outro curto período de irrigação, e esse ciclo se repete até que toda a lâmina de água necessária seja aplicada. Tal técnica proporciona economia de energia, água e promove maiores rendimentos aos cultivos.

E, no que diz respeito à agricultura irrigada a prática da fertirrigação é considerada o meio mais eficiente de nutrição das plantas, pois o método consiste na aplicação de fertilizantes via água de irrigação, proporcionando maior eficiência de nutrientes e água para as culturas. Nesse sentido, os principais fatores para a definição da adubação do feijoeiro são a disponibilidade de nutrientes no solo e as exigências nutricionais da planta (Martins et al., 2017; Pereira et al., 2019).

Para a nutrição adequada das plantas, além da proporção e da relação entre os nutrientes, faz-se necessário entender a dinâmica de acúmulo de nutrientes na matéria seca durante o período do cultivo, pois as desordens nutricionais causam prejuízos às culturas (Dominico et al., 2020).

Estudos sobre acúmulo e exportação de nutrientes ressaltam a quantidade de nutrientes que as plantas necessitam de acordo com o seu estágio de desenvolvimento, indicando em que fase a aplicação de nutrientes deverá ser realizada. O conhecimento das marchas de absorção promove melhorias na eficiência do uso de fertilizantes e tem sido considerada uma ferramenta no manejo da fertilização das culturas (Purquerio et al., 2016; Moraes et al., 2018; Mattar et al., 2018; Purquerio et al., 2019).

O feijoeiro possui alta exigência nutricional e, por possuir ciclo curto, torna-se uma cultura que necessita que os nutrientes estejam disponíveis à planta para que não ocorra queda na produtividade. Deste modo, realizar um manejo nutricional adequado à cultura é um fator importante para atingir altas produtividades (Lacerda et al, 2019).

Segundo Vera et al. (2019), o nitrogênio é o nutriente mais absorvido e acumulado pela cultura, seguido do potássio. O cálcio é o terceiro macronutriente mais acumulado ao longo do ciclo do feijoeiro, sendo encontrado em maiores quantidades nas folhas. O fósforo, magnésio e enxofre apresentam os menores índices de acúmulo. Nesse sentido, os nutrientes extraídos e exportados pela cultura do feijão-caupi apresentam a seguinte ordem decrescente $N > K > Ca > P > Mg > S$.

Deste modo, a manutenção e o aumento da produtividade do feijão-caupi dependem de fatores bióticos e abióticos e o suprimento inadequado de nutrientes na cultura é um dos fatores que afetam o seu desenvolvimento (SOUSA et al., 2018). Sendo assim, tendo em vista a escassez de informações sobre a demanda nutricional da cultura, este estudo objetivou avaliar o acúmulo e a exportação de nutrientes pela cultura do feijão-caupi fertirrigado por gotejamento contínuo e pulsado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Estação Experimental de Cana-de-Açúcar do Carpina (EECAC), da Universidade Federal Rural de Pernambuco situada na cidade de Carpina –PE (Figura 1), cujas coordenadas geográficas são 07° 51' 13'' de latitude Sul e 35° 14' 10'' de longitude Oeste e altitude média de 180 m. Segundo a classificação de Köppen, a área onde foi realizada a pesquisa apresenta clima do tipo Ams', tropical chuvoso de monção, com verão seco (Alvares et al., 2014).

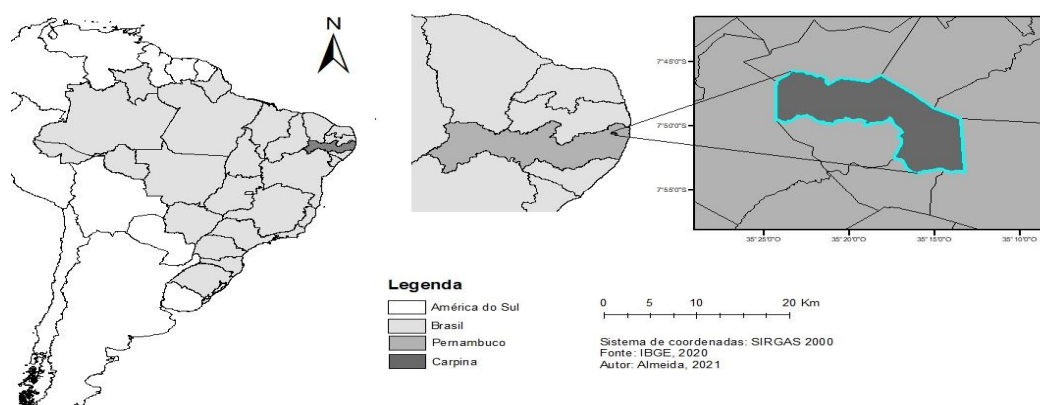


Figura 1 - Mapa do Estado de Pernambuco. Destaque para o município de Carpina-PE. Fonte: Autora (2022).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em uma área que possui 13,20 m de comprimento e 4,5 m de largura, composta de 48 vasos com capacidade de 85 L cada, diâmetro externo na borda superior 0,51 m e na borda inferior de 0,40 m, altura externa de 0,60 m, equidistantes 1,0 m, nas duas direções, sendo os vasos assentados a 0,20 m de altura da superfície do solo (Figura 2).

Para o preenchimento dos vasos, inicialmente foi adicionada uma camada de brita com granulometria de 25 mm, totalizando um volume de 0,48 m³ para os 48 vasos, com o objetivo de facilitar a drenagem. Logo após a adição da camada de brita, foi inserida uma manta geotêxtil encobrindo toda a face superior da brita, com o intuito de reter partículas provindas da camada superior, onde está contido o solo, para a camada inferior e sistema de drenagem.



Figura 2 - Vista frontal da área experimental. Fonte: Autora (2022).

Os vasos foram preenchidos com a mesma massa de solo seco (47 kg), determinada por meio da relação de umidade do solo com base em massa, de acordo com a equação 1:

$$U = \frac{MSU - MSS}{MSS} \quad (1)$$

Em que:

U = Umidade a base de massa (g/g);

MSU = Massa de Solo Úmido (g);

MSS = Massa de Solo Seco (g).

Para o preenchimento dos vasos o solo foi distribuído e acomodado a cada 10 cm, tendo cada parcela experimental a estrutura esquematizada na Figura 3.

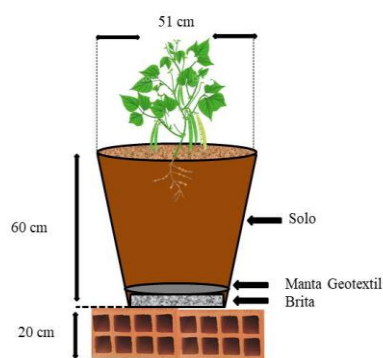


Figura 3 - Esquema ilustrativo de cada parcela experimental. Fonte: Autora (2022).

O solo utilizado para o preenchimento dos vasos é classificado, de acordo com EMBRAPA (2013), como ARGISSOLO AMARELO distrófico Abrupto, o qual apresenta textura franco arenosa e foi coletado no município de Carpina –PE.

Antes da implantação do experimento foram realizadas análises químicas e físicas do solo, além de análise química da água utilizada para a irrigação do experimento (Tabela 1).

Objetivando-se corrigir a acidez do solo, o qual apresentou pH de 4,5, foi realizada uma calagem com calcário calcítico, visando-se a neutralização do Al trocável, aplicando-se 60,29 g dm⁻³ em cada vaso, de acordo com procedimentos metodológicos preconizados por Cavalcanti et al. (2008).

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo utilizado para o preenchimento dos vasos e caracterização química da água de abastecimento utilizada para a irrigação do experimento.

Caracterização química do solo																
pH	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³	H ⁺ +Al ⁺³	SB	CTC	t	Cu	Fe	Mn	Zn	V	M.O
H ₂ O	mg dm ⁻³	----- cmol _c dm ⁻³ -----						-----			----- mg dm ⁻³ -----			%	g kg ⁻¹	
4,5	8,0	1,60	1,0	0,66	0,18	0,55	4,33	3,44	7,77	3,99	0,10	33,0	9,27	1,08	44,27	2,64
Caracterização física do solo																
Areia	Silte	Argila	Classificação Textural			Ds	Dp			Porosidade total						
----- g kg ⁻¹ -----		-			----- g cm ⁻³ -----			----- % -----								
--																
730	90	180	Franco arenoso			1,37	2,52			45,60						
Caracterização química da água de abastecimento																
pH	CE	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	Amônia	Sulfato	Alcalinidade			Cloretos					
-	dS m ⁻¹	----- mg L ⁻¹ -----														
6,8	0,2275	4,0	11,22	2,92	32,10	0,00	9,32	54,0			38,04					

P: Fósforo; Ca²⁺ = Cálcio; Mg²⁺ = Magnésio; Na⁺ = Sódio; K⁺ = Potássio; Al³⁺ = Alumínio; Ds: Densidade do solo; Dp: Densidade de partículas; CE: Condutividade elétrica.

Os tratamentos foram arranjos em esquema fatorial 5x2+2, sendo cinco lâminas de irrigação equivalentes a 40, 60, 80, 100 e 120% da evapotranspiração da cultura (ET_c), combinadas com dois tipos de aplicação de fertirrigação (pulsada e contínua), mais dois tratamentos adicionais, sendo o primeiro com adubação convencional e irrigação com a lâmina de 100% da ET_c, realizada de forma pulsada e o segundo também com adubação convencional e lâmina de 100% da ET_c, porém com a irrigação realizada de forma contínua. Para a condição de aplicação da irrigação por pulsos, foram definidos cinco pulsos de irrigação com intervalo de 60 minutos de repouso entre irrigações.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais (Figura 4).

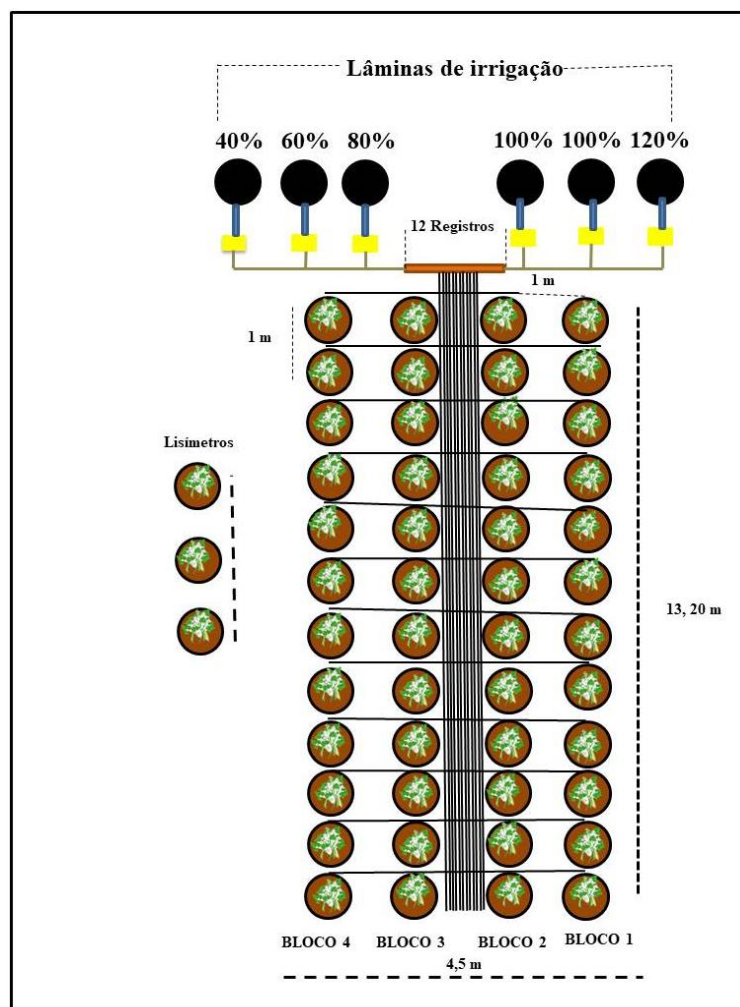


Figura 4 - Croqui da área experimental. Fonte: Autora (2022).

A recomendação de adubação convencional foi realizada conforme Cavalcanti (2008), com aplicação em fundação de $4,2 \text{ g dm}^{-3}$ de N utilizando-se como fonte a ureia, $4,7 \text{ g dm}^{-3}$ de K tendo como fonte o cloreto de potássio e $30,5 \text{ g dm}^{-3}$ de P utilizando o superfosfato simples como fonte. Já a adubação de cobertura foi realizada 20 dias após a germinação sendo aplicado $6,4 \text{ g dm}^{-3}$ de N e $7,05 \text{ g dm}^{-3}$ de K.

As fertirrigações de cada uma das parcelas experimentais foram realizadas conforme sugestões preconizadas por Novais et al. (1991) e de acordo com as fases fenológicas da cultura conforme Campos et al. (2000) e Vale et al. (2017). Tais fertirrigações foram iniciadas no início da fase V2 quando as plantas apresentavam folhas unifolioladas e completamente abertas (aproximadamente aos 10 dias após a semeadura (DAS) e prosseguiram até a fase R4 considerada fase reprodutiva da cultura).

Os percentuais de fertilizantes aplicados foram distribuídos da seguinte forma: 20% aplicados da fase V2 a V5 resultando em quatro aplicações (duas por semana), 70% aplicados

da fase V6 a R2 resultando em três aplicações (uma por semana) e 10% aplicados da fase R3 a R4 com uma aplicação semanal.

Os fertilizantes utilizados nas fertirrigações foram o fosfato monoamônico - MAP, (12% de N e 61% de P_2O_5), haifa multi - NPK (13% de N, 2% de P_2O_5 e 44% de K_2O), MS-multimicro (7% de B, 1% de Cu, 9,5% de S, 7% de Mn, 0,1% de Mo e 12% de Zn) e Fe – EDTA- 6% Fe. As quantidades totais de fertilizantes utilizados nas oito fertirrigações realizadas foram 16,02g, 23,11g, 1,56g, 1,2g de haifa multi- NPK, fosfato monoamônico-MAP, MS-multimicro e Fe- EDTA- 6% Fe, respectivamente.

Para o armazenamento das soluções fertilizantes utilizadas dentro de cada uma das lâminas de reposição avaliadas e na irrigação das testemunhas foram utilizados seis reservatórios com capacidade para 110 L cada (Figura 5).



Figura 5 – Reservatórios utilizados para o armazenamento das soluções fertilizantes. Fonte: Autora (2022).

O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento com emissores autocompensantes, vazão nominal de 2 L h^{-1} , disposto em cada vaso de 85 L, composto por seis reservatórios com capacidade de 110 L (Figura 6), filtro de disco e eletrobomba centrífuga de eixo horizontal de 0,5 CV, a qual foi responsável pela coleta e impulso da solução fertilizante.

As subunidades de irrigação foram constituídas por tubulações laterais nas quais foram inseridas, por meio de conectores, mangueiras cegas de PEBD PN 30 DN 16 mm, que interligava a fita de gotejo e a linha de distribuição de água (Figura 6). A linha central possuía ramificações as quais atenderam uma sua respectiva parcela experimental. A pressão de serviço do sistema de irrigação foi regulada em 10 m.c.a por meio de manômetro de pressão.

A lâmina de irrigação foi fornecida às plantas a cada dois dias e foi determinada para cada um dos tratamentos avaliados, sendo a reposição da mesma realizada conforme a necessidade das plantas. Logo, a ET_c obtida de forma direta por meio da média do balanço hídrico foi realizada com base no balanço hídrico de três lisímetros de drenagem com capacidade de 85 L, cultivados com a mesma cultura avaliada no experimento (feijão-caupi) e instalados no interior da casa de vegetação (Figura 6B).



Figura 6 - (A) Estrutura do sistema de irrigação em cada parcela experimental. (B) Lisímetro de drenagem. (C) Sistema de irrigação montado em toda a área experimental. (D) 12 registros de controle do sistema de irrigação. Fonte: Autora (2022).

A apuração do balanço hídrico foi realizada a cada 24 horas, sendo a ET_c obtida pela diferença entre a lâmina de Irrigação (L_i) aplicada e a lâmina de drenagem (L_d) coletada ($ET_c = L_i - L_d$). O volume bruto (V_b) de irrigação requerido foi calculado por meio da razão entre o volume evapotranspirado (V_e) para 100% da ET_c e a eficiência de aplicação de água (E_a) do sistema de irrigação. As demais lâminas foram proporcionalizadas a partir desta. O tempo de irrigação foi determinado por meio da razão entre o volume bruto (V_b) de irrigação e a vazão do gotejador (q_e) ($T_i = V_b/q_e$).

A determinação das vazões dos gotejadores foi realizada antes e depois do experimento conforme metodologia adotada por Merriam e Keller (1978), no qual foi coletado durante cinco

minutos em um recipiente plástico de 250 ml, o volume de água aplicado pelos emissores de cada vaso, totalizando 48 gotejadores. Após a coleta, imediatamente o volume de água foi pesado em balança eletrônica. As variáveis analisadas foram vazão média “ q_m ” e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), este último determinado através da razão entre a vazão média do menor quartil “ $q_{m25\%}$ ” e a vazão média “ q_m ” de todos os gotejadores amostrados, $CUD = (q_{m25\%}) / (q_m)$.

A cultura avaliada foi o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L Walp.) cultivar BRS Tumucumaque. Foram semeadas três sementes por vaso, na profundidade de cinco cm, sendo realizado desbaste após a germinação e estabelecimento das plântulas, mantendo-se uma planta por vaso. A colheita foi realizada quando os grãos apresentaram de 60 a 70% de umidade, conforme Figura 7 (Freire Filho et al., 2005).



Figura 7 - (A) Germinação do feijão-caupi. (B) Grãos verdes do feijão-caupi. Fonte: Autora (2022).

Por ocasião da colheita, foram coletadas e separadas as partes aéreas e os frutos (vagem + grãos) em cada um dos tratamentos avaliados tendo por finalidade quantificar os acúmulos de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), cobre (Cu), Manganês e zinco (Zn), assim como a exportação destes nutrientes pelos frutos da cultura (Figura 8).

Em seguida, todo o material vegetal coletado foi lavado em água corrente e água deionizada, colocados em estufa a 65° C até a obtenção de peso constante. Após a secagem, os materiais foram processados em moinho tipo Willey, com peneira de 2 mm e armazenados para posterior quantificação das concentrações destes nutrientes na parte aérea e nos frutos da cultura (Figura 9).



Figura 8 - Coleta da matéria fresca para análise em laboratório. Autora (2022).



Figura 9 - Moagem da matéria seca em processador tipo Willey. Autora (2022).

A extração de N foi realizada por digestão aberta utilizando como fonte de calor o bloco digestor e mistura de ácido sulfúrico (H_2SO_4), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e mistura digestora para digerir a matéria seca. Para os demais nutrientes (P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn e Zn) a digestão foi realizada em sistema fechado usando forno micro-ondas como fonte de calor e ácido nítrico (HNO_3) concentrado para digerir a matéria seca, conforme Silva (2009).

A quantificação de N total foi realizada pelo método de arraste de vapor Kjeldahl; potássio e sódio pelo método de fotometria de chama; fósforo pelo método colorimétrico

molibdo-vanadato; enxofre pelo método turbidimétrico do sulfato de bário; e cálcio, magnésio, ferro, cobre, manganês e zinco foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Bezerra Neto; Barreto, 2011). O acúmulo de nutrientes em cada uma das partes da planta (parte aérea e frutos) foi obtido multiplicando-se o teor dos nutrientes obtidos em cada uma das partes pela quantidade de massa seca acumulada nestas respectivas partes.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando constatados efeitos significativos, estes foram submetidos à análise de regressão (lâminas de irrigação) e à comparação de médias (reposição da lâmina de forma contínua e de forma pulsada) pelo teste de scott-knott a 5% de probabilidade. As testemunhas foram comparadas entre si pelo teste de scott-knott a 5 % de probabilidade.

A escolha do modelo que melhor se ajustou aos dados foi baseada em quatro critérios: efeito não significativo do desvio da regressão, significância dos parâmetros da equação de ajuste ($P < 0,05$), maior valor do coeficiente de determinação (R^2) e explicação biológica de cada variável em função dos tratamentos avaliados.

3. RESULTDOS E DISCUSSÃO

De acordo com o resumo da análise de variância para o acúmulo de macro e de micronutrientes em plantas de feijão-caupi, variedade BRS Tumucumaque, apresentado na Tabela 2, observa-se que houve efeito significativo de forma isolada das lâminas de reposição da ETc e dos tipos de aplicação da fertirrigação sobre as variáveis fósforo (P), magnésio (Mg) e enxofre (S). Para o cálcio (Ca) constatou-se efeito significativo apenas para o fator lâminas de reposição. Já para o acúmulo de ferro (Fe) e zinco (Zn) verificou-se efeito significativo apenas para o fator tipo de fertirrigação. Por outro lado, o acúmulo de nitrogênio (N), de potássio (K) e de cobre (Cu) foram influenciados significativamente pela interação entre os fatores lâminas de reposição da ETc e tipos de aplicação da fertirrigação.

As testemunhas, adubadas de forma convencional e irrigadas com lâmina de 100% da ETc, apresentaram efeito significativo para o fator manejo de irrigação (pulsada e contínua) para as variáveis nitrogênio (N), potássio (K), enxofre (S), ferro (Fe), Manganês (Mn) e cobre (Cu).

Tabela 2. Resumo da Análise de variância para os acúmulos de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S), e de micronutrientes (Fe, Mn, Cu e Zn) na cultura do feijão-caupi BRS Tumucumaque, em função do manejo de fertirrigação e da adubação convencional, Carpina-PE, 2022.

FV	GL	Quadrado Médio					
		Macronutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Lâminas (L)	4	186,696**	4,991**	34,000 ^{ns}	22,333**	0,699*	0,753*
Manejo (M)	1	145,542**	19,289**	412,068**	3,417 ^{ns}	1,122*	1,745**
L X M	4	85,517**	0,0706 ^{ns}	46,807*	4,709 ^{ns}	0,103 ^{ns}	0,167 ^{ns}
Blocos	3	2,877 ^{ns}	0,543 ^{ns}	23,392 ^{ns}	1,648 ^{ns}	0,179 ^{ns}	0,507 ^{ns}
Resíduo	26	24,391	0,446	14,064	2,439	0,241	0,241
CV	%	8,06	7,77	22,48	13,54	11,42	18,39
Testemunha	1	136,951*	1,240 ^{ns}	33,208**	0,236 ^{ns}	0,000 ^{ns}	1,319**
Bloco	3	3,667 ^{ns}	1,391 ^{ns}	5,125 ^{ns}	0,085 ^{ns}	0,306 ^{ns}	0,145 ^{ns}
Resíduo	3	5,888	1,714	0,580	0,105	0,572	0,061
CV	%	4,01	15,19	5,29	2,74	10,10	8,19

FV	GL	Micronutrientes			
		Fe	Mn	Cu	Zn
Lâminas (L)	4	2235,911 ^{ns}	785,968 ^{ns}	2,282 ^{ns}	55,301 ^{ns}
Manejo (M)	1	23047,477**	525,1663 ^{ns}	0,473 ^{ns}	1193,564**
L x M	4	793,104 ^{ns}	567,896 ^{ns}	10,436*	6,989 ^{ns}
Blocos	1	2276,056 ^{ns}	95,0200 ^{ns}	2,636 ^{ns}	126,144 ^{ns}
Resíduo	3	2665,903	346,941	3,064	87,514
CV	%	15,99	11,89	16,26	9,02
Testemunha	1	1806,205*	1892,047*	3,259**	2,606 ^{ns}
Bloco	3	128,362 ^{ns}	124,082 ^{ns}	0,237 ^{ns}	5,239 ^{ns}
Resíduo	3	126,260	133,620	0,130	13,806
CV	%	3,43	7,85	2,99	3,80

^{ns} não significativo; * e **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. N = nitrogênio; P = fósforos; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = Magnésio; S = enxofre; Fe= ferro; Mn= Manganês; Cu= cobre; Zn= zinco.

A análise do desdobramento para o fator lâminas de reposição da ETc dentro do fator tipos de fertirrigação para o acúmulo total de nitrogênio na parte aérea do feijão-caupi está representada na Figura 10.

A lâmina de fertirrigação pulsada que proporcionou o acúmulo máximo de nitrogênio (N) (4,77 g planta⁻¹) foi a de 80,30% da ETc, apresentando incremento percentual de 79,76% sobre a lâmina de 40% da ETc e de 11,93% sobre a lâmina de 100% da ETc. Nandi et al. (2020) constatarem em seus estudos com a cultura do amendoim, acúmulo de 0,81 g planta⁻¹ de nitrogênio.

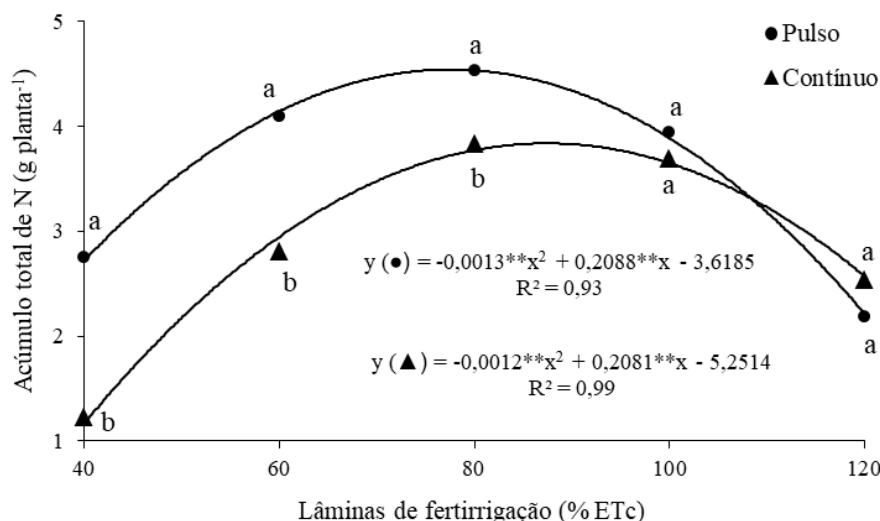


Figura 10 - Acúmulo total de nitrogênio (N) na cultura do feijão-caupi sob efeito da interação dos fatores lâminas de fertirrigação e tipos de aplicação da fertirrigação. Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Com relação a aplicação da fertirrigação de forma contínua (Figura 10) verifica-se que o maior acúmulo de N ($3,77 \text{ g planta}^{-1}$) foi obtido com a aplicação da lâmina de 86,7% da ETc, constatando-se um incremento percentual de 227,83% sobre a lâmina de 40% da ETc e de 5,94% sobre a lâmina de 100% da ETc. Observa-se, ainda, que a lâmina de 40% da ETc foi a que proporcionou menor acúmulo de N ($1,15 \text{ g planta}^{-1}$), no qual se pode inferir que a redução do acúmulo de N ocorreu devido às condições de reposição hídrica deficitária.

Resultados semelhantes foram obtidos por Junjittakarn et al. (2013), que observaram redução de N em plantas de amendoim ocasionada pelo déficit hídrico. Andrade et al. (2018) explicam que em condições de deficiência hídrica a absorção de nutrientes pelas plantas diminui devido à redução da atividade das raízes, que está associada à diminuição do movimento da água em direção às raízes.

Assim, tendo em vista que o nitrogênio apresenta uma alta mobilidade no solo e é absorvido pelas raízes por fluxo de massa, pode-se inferir que a diminuição do conteúdo de água no solo induziu a uma menor absorção do nutriente pelas plantas o que veio a se refletir em um menor acúmulo do nutriente pela cultura do feijão-caupi quando irrigado com lâminas deficitárias.

Desdobrando os tipos de aplicação da fertirrigação dentro de cada uma das lâminas de reposição da ETc avaliadas (Figura 10), observa-se que houve diferença significativa entre a

fertirrigação pulsada e contínua nas lâminas de 40, 60 e 80% da ETc refletindo-se em incrementos percentuais de 130,2; 45,11 e 28,22 no acúmulo de N pelas plantas em relação ao acúmulo do nutriente obtido com a aplicação da fertirrigação de forma contínua. Assouline et al. (2006) observaram que a irrigação pulsada também favoreceu maior acúmulo de N na planta.

Para o acúmulo de fósforo (P) na cultura do feijão-caupi em função das lâminas de reposição da ETc (Figura 11A), verificou-se acúmulo máximo do nutriente de 0,457 g planta⁻¹ obtido com a aplicação da lâmina de fertirrigação de 74,5% da ETc revelando um acréscimo de 107,82% sobre a lâmina de 40% da ETc.

Gonçalves et al. (2013) explicam que a planta sob estresse hídrico fecha seus estômatos e, conseqüentemente, ocorre diminuição das trocas gasosas inibindo vários processos bioquímicos e fisiológicos como respiração, fotossíntese e absorção de nutrientes.

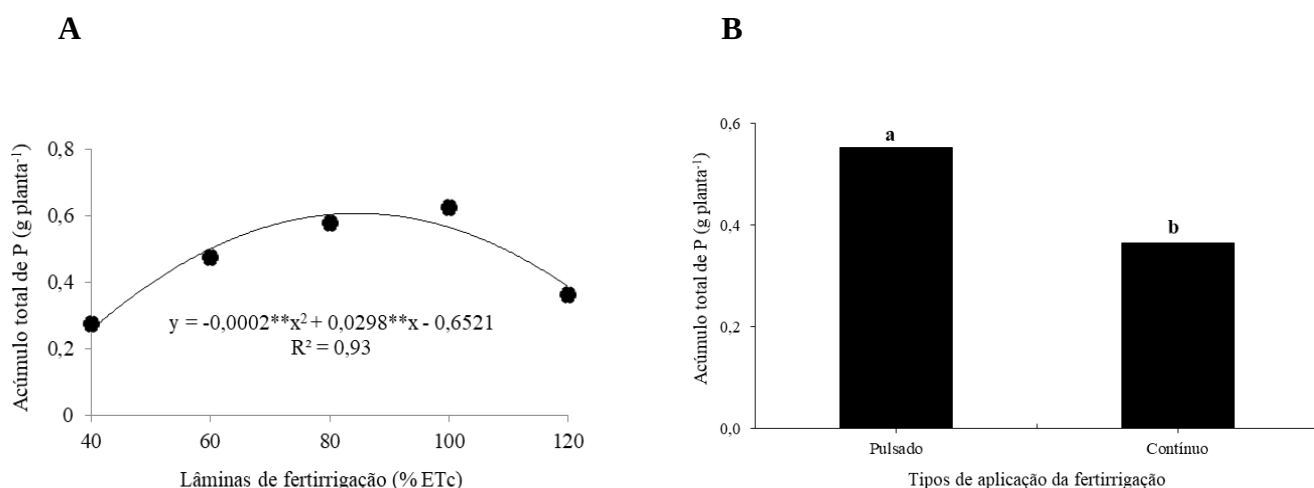


Figura 11 - Acúmulo total de fósforo (P) em função das lâminas de fertirrigação aplicadas (A) e dos tipos de aplicação da fertirrigação (B). Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Já para o efeito dos tipos de fertirrigação (Figura 11B), observa-se diferença significativa entre a pulsada e contínua, tendo o menor acúmulo de P (0,36 g planta⁻¹) sido obtido com a aplicação da fertirrigação contínua. Por outro lado, o maior acúmulo do nutriente obtido com a fertirrigação pulsada foi de 0,6 g planta⁻¹, proporcionando um aumento de 66,7% no acúmulo do nutriente em relação ao acúmulo obtido com a aplicação da fertirrigação aplicada de forma contínua. Tais resultados corroboram com aqueles obtidos por Assouline et al. (2006), para os

quais a alta frequência de irrigação favoreceu a maior disponibilidade e absorção do fósforo e, consequentemente, o maior acúmulo.

Por meio da Figura 12 observa-se o efeito da interação entre as lâminas de reposição da ETc e os tipos de aplicação da fertirrigação sobre o acúmulo de potássio (K) na planta. De acordo com a análise do desdobramento do fator lâminas de reposição da ETc dentro do fator tipo de aplicação da fertirrigação contínua, o acúmulo máximo de K ($0,77 \text{ g planta}^{-1}$) foi obtido com a lâmina de 89,5 % da ETc, revelando incremento de 170,75% sobre a lâmina de 40% da ETc.

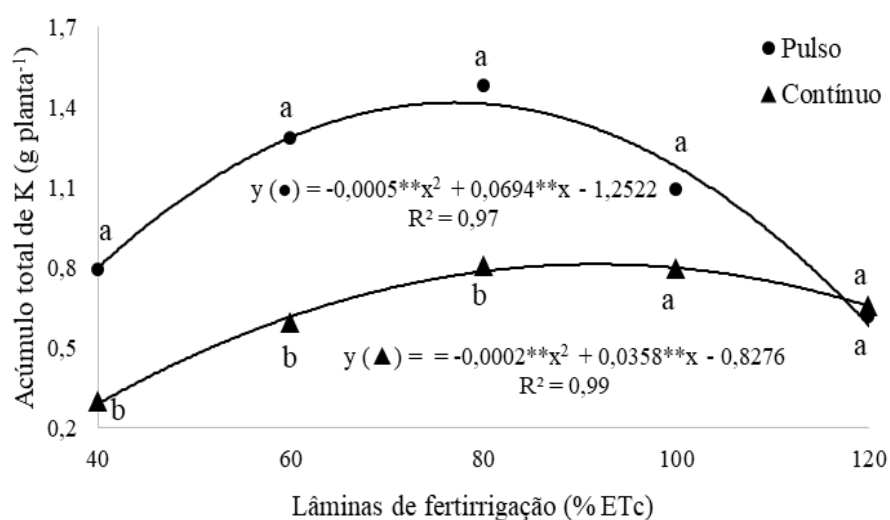


Figura 12 - Acúmulo total de potássio (K) sob efeito da interação dos fatores lâminas de fertirrigação e tipos de aplicação da fertirrigação. Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de fertirrigação irrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Ainda de acordo com a Figura 12, verifica-se que o acúmulo máximo de K obtido com a aplicação da fertirrigação pulsada foi de $1,15 \text{ g planta}^{-1}$, tendo esse maior acúmulo sido observado quando se aplicou a lâmina de 69,4% da ETc, o que correspondeu a uma aumento de 58,88% em relação ao acúmulo constatado com a aplicação da lâmina de 40% da ETc.

A aplicação do potássio de forma parcelada aumenta a eficiência de utilização do mesmo pelas plantas devido à redução nas perdas do nutriente.

Deste modo, o uso da fertirrigação permite mais parcelamentos proporcionando aumento de distribuição e absorção dos nutrientes e reduzindo as perdas por lixiviação além de

proporcionar economia de fertilizantes (Viana et al., 2020). Jain e Meena (2015) verificaram que a aplicação de potássio via fertirrigação por gotejamento proporcionou maior rendimento de grãos, acúmulo de nutrientes, teor de óleo, produção de proteínas para a cultura do amendoim.

Resultados semelhantes foram, também, obtidos por Ouda et al. (2018), que ao estudarem o amendoim fertirrigado com diferentes lâminas da ETo, constataram que a aplicação do potássio via fertirrigação proporcionou maiores rendimentos à cultura na lâmina máxima aplicada.

Para os tipos de aplicação de fertirrigação dentro de cada lâmina de reposição da ETc (Figura 12), observou-se diferença significativa entre a fertirrigação pulsada e contínua. Constatou-se incremento de 154,15; 85,17 e 45,39% para as lâminas de 40, 60 e 80% da ETc, respectivamente, no acúmulo total de K em relação à fertirrigação contínua.

Jain et al. (2018), ao avaliarem a cultura do amendoim observaram que as variáveis altura da planta, massa seca da parte aérea, número e massa de vagem obtiveram maiores rendimentos em função da aplicação da fertirrigação. Mesmo que os autores não tenham avaliado neste estudo o acúmulo de nutrientes pelas plantas, porém, caso os mesmos tivessem avaliado teriam encontrado um maior acúmulo de K tendo em vista o maior acúmulo de massa seca nos tratamentos fertirrigados.

Quanto ao acúmulo de cálcio (Ca) em função das lâminas de reposição da ETc (Figura 13), pode-se observar que o acúmulo máximo ($0,64 \text{ g planta}^{-1}$) foi obtido na lâmina de fertirrigação correspondente a 76,16% da ETc, evidenciando-se aumento no acúmulo de 152% sobre a lâmina de 40% da ETc.

Saure (2014) relata que absorção de Ca pela planta sofre interferência de fatores como alta salinidade, excesso ou falta de umidade no solo e doenças radiculares. Tais fatores podem ocasionar baixos níveis de Ca no solo, resultando em menor absorção do nutriente pelas plantas e, conseqüentemente, em menor acúmulo.

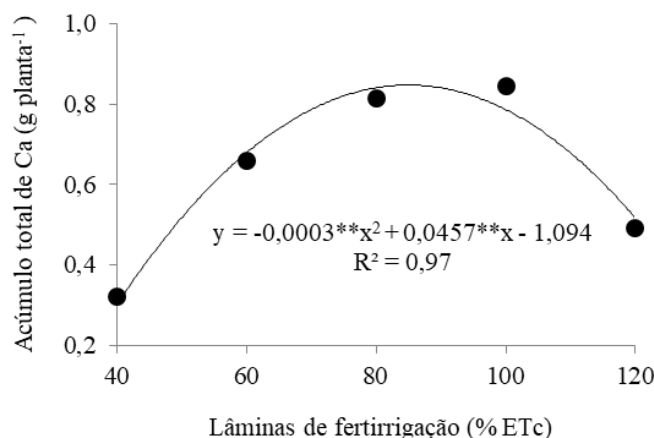


Figura 13 - Acúmulo total de cálcio (Ca) em função das lâminas de fertirrigação aplicadas. Carpina-PE, 2022.

Para o efeito isolado do fator lâminas de fertirrigação (Figura14A), o acúmulo máximo de magnésio (Mg) foi de 0,27 g planta⁻¹ obtido na lâmina de 79,44% da ETc havendo incremento de 110,6 % em relação a lâmina de 40% da ETc. Já para o efeito isolado dos tipos de aplicação da fertirrigação verifica-se que a fertirrigação por pulsos proporcionou maior acúmulo de magnésio (0,26 g planta⁻¹) para a cultura do feijão-caupi, proporcionando incremento percentual de 73,3 em relação a fertirrigação aplicada de forma contínua. Cruz (2021), estudando a cultura do amendoim obteve acúmulo máximo de Mg de 0,36 g planta⁻¹, resultado superior à presente pesquisa.

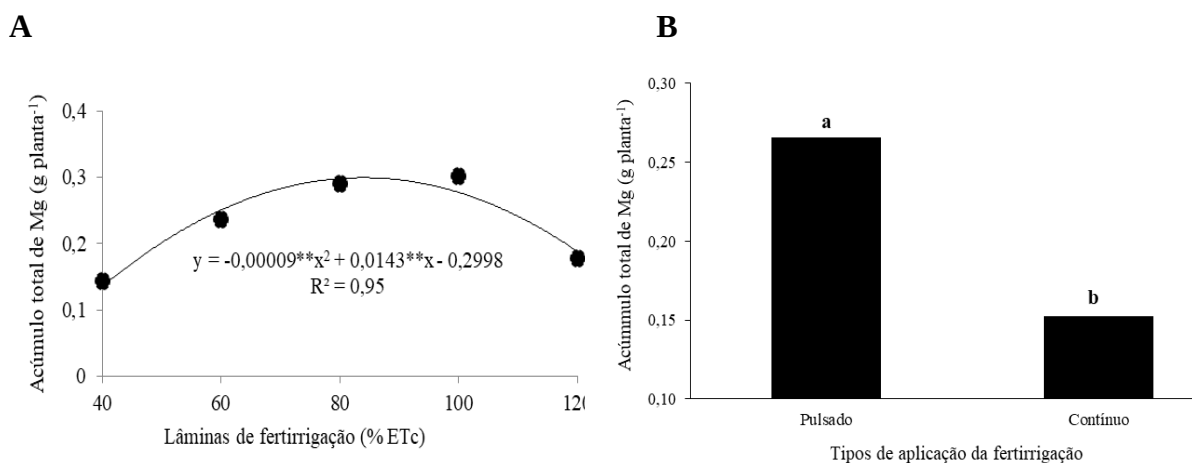
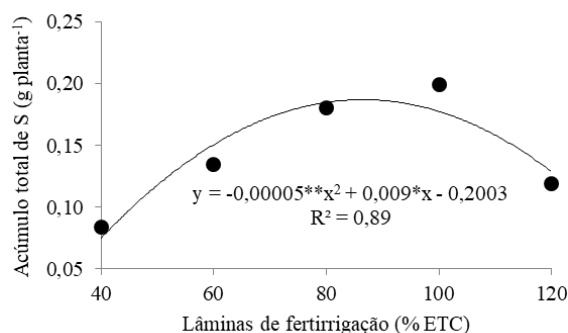


Figura 14 - Acúmulo total de magnésio em função das lâminas de fertirrigação aplicadas (A) e dos tipos de aplicação da fertirrigação (B). Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

O efeito isolado das lâminas de fertirrigação e dos tipos de aplicação da fertirrigação para o acúmulo de enxofre (S) pode ser observado nas Figuras 15A e 15B, respectivamente. Para este nutriente constatou-se acúmulo máximo de $0,20 \text{ g planta}^{-1}$ na lâmina correspondente a 90% da ETc, havendo incremento 150,9% sobre a lâmina de 40% ETc.

Dentre os macronutrientes, o enxofre foi o elemento menos acumulado pela cultura do feijão-caupi. Todavia, este nutriente é um constituinte necessário para a tolerância abiótica ao estresse das plantas e um componente importante na formação de aminoácidos, proteínas, lipídios e compostos metabólicos (Nocito et al., 2007; Khan et al., 2014).

A



B

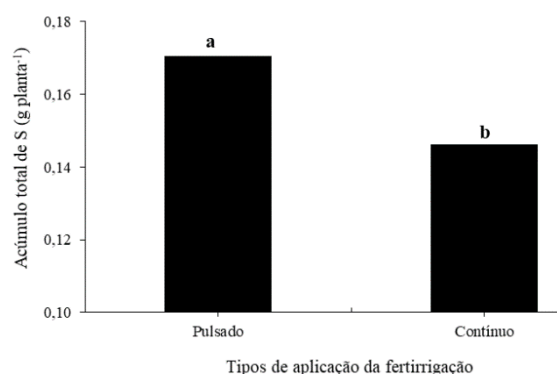


Figura 15 - Acúmulo total de enxofre (S) em função das lâminas de fertirrigação aplicadas (A) e dos tipos de aplicação da fertirrigação (B). Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Para o tipo de aplicação da fertirrigação sobre o acúmulo de enxofre, representado na Figura 15B, evidenciou-se que a fertirrigação pulsada proporcionou maior acúmulo de nutriente ($0,17 \text{ g planta}^{-1}$) promovendo incremento de 21,42% em relação à fertirrigação aplicada de forma contínua, proporcionando um acúmulo máximo de $0,14 \text{ g planta}^{-1}$.

Com relação aos micronutrientes ferro (Fe) e zinco (Zn), foram afetados significativamente apenas pelos tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua), verificando-se que a fertirrigação pulsada proporcionou um maior acúmulo tanto para o ferro ($20,6 \text{ mg planta}^{-1}$) quanto para o zinco ($6,4 \text{ mg planta}^{-1}$) em comparação com os acúmulos obtidos com a aplicação da irrigação contínua (Figuras 16A e 16B). Observou-se incrementos de 49,2% para o ferro e 42,2% para o zinco em relação à aplicação da fertirrigação contínua.

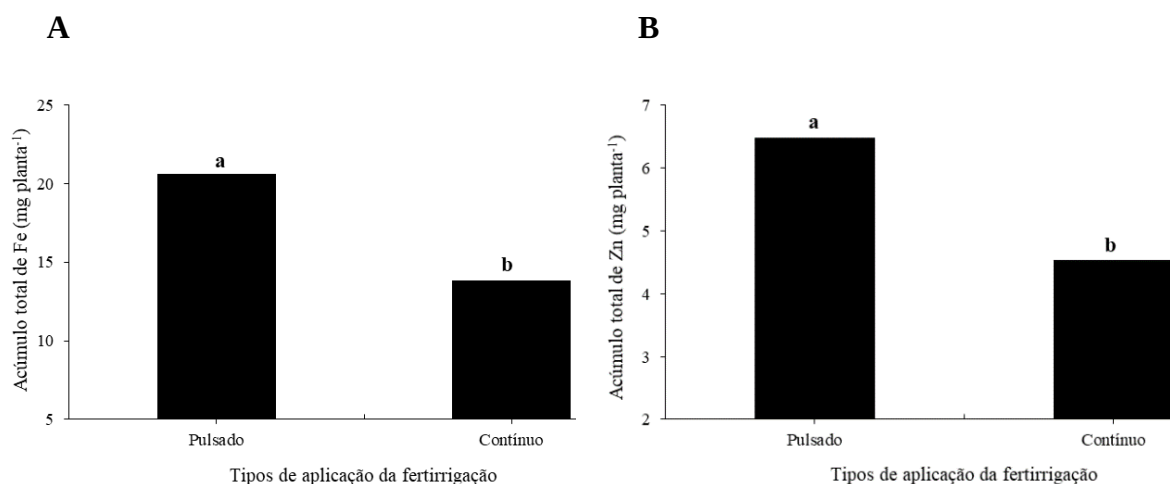


Figura 16 - Acúmulos totais de ferro (Fe) (A) e zinco (Zn) (B), em função dos tipos de aplicação da fertirrigação (Pulsada e contínua). Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Madane et al. (2018) e Morillo et al. (2015) explicam que a irrigação por pulsos é uma alternativa viável para o manejo da irrigação pois reduz as perdas de água e nutrientes por percolação, proporcionando maiores rendimentos às culturas ao longo do seu ciclo produtivo.

A análise do desdobramento para o acúmulo de cobre na cultura do feijão-caupi revelou efeito significativo da interação entre as lâminas de reposição da ETc e os tipos de aplicação da fertirrigação (Figura 17). Analisando as lâminas de reposição da ETc dentro do fator tipo de aplicação, observa-se que o acúmulo máximo de cobre na cultura do feijão-caupi foi de 0,79 mg planta⁻¹, o qual foi obtido com a aplicação da lâmina de fertirrigação pulsada de 76,75%, revelando incremento de 50,87% em relação à lâmina de 40% ETc.

Para a aplicação da fertirrigação de forma contínua constatou-se que o acúmulo máximo (0,59 mg planta⁻¹) de cobre foi obtido com a aplicação da lâmina de 95% da ETc, revelando acréscimo de 105,72% sobre a lâmina de 40% da ETc. Carvalho et al. (2014), ao avaliarem o acúmulo de nutrientes sob regime de déficit hídrico na cultura do feijão, verificaram que o acúmulo de cobre reduziu sob condições de deficiência hídrica,.

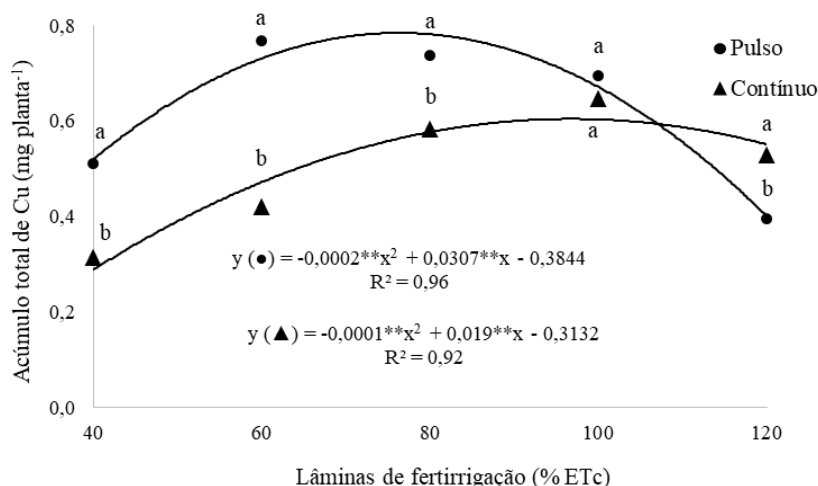


Figura 17 - Acúmulo total de cobre (Cu) sob efeito da interação dos fatores lâminas de fertirrigação e tipos de aplicação da fertirrigação. Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de manejo de irrigação (pulsado e contínuo) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

No desdobramento do fator tipo de aplicação de fertirrigação dentro de cada lâmina de reposição da ETc (Figura 17), verificou-se que houve diferença significativa entre a fertirrigação pulsada e contínua nas lâminas de 40, 60 e 80% da ETc, verificando-se incrementos de 82,56; 58,01; 39,66%; respectivamente, em relação à fertirrigação contínua. Já na lâmina de 120% da ETc a fertirrigação contínua proporcionou um maior acúmulo de cobre ($0,52 \text{ mg planta}^{-1}$), revelando incremento de 25,55% em relação à fertirrigação pulsada.

Por intermédio da Tabela 3 verifica-se que os tratamentos testemunhas, os quais foram adubados de forma convencional e irrigados de forma pulsada (testemunha 1) e de forma contínua (testemunha 2), com a lâmina de 100% da ETc, proporcionaram diferenças significativas sobre as variáveis nitrogênio (N), potássio (P), enxofre (S), Ferro (Fe), Cobre (Cu) e Manganês (Mn).

Tabela 3. Teste de médias para as variáveis de acúmulo total de nutrientes para o feijão-caupi BRS Tumucumaque adubado de forma convencional e irrigado de forma pulsada e contínua com a lâmina de 100% da ETc. Carpina-PE, 2022.

Manejo da irrigação	N	K	S	Fe	Cu	Mn
Pulsado	3,84 a	0,97 a	0,20 a	20,33a	0,75 a	9,66 a
Contínuo	1,79 b	0,39 b	0,08 b	9,95 b	0,36 b	4,20 b

Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de manejo da irrigação (irrigação pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Observa-se que os maiores valores para as variáveis analisadas foram obtidos por ocasião da aplicação da irrigação de forma pulsada, tendo constatado incrementos de 114,52% para o N; de 148,72% para o K; de 150% para a S; de 104,32% para o Fe; de 108,33% para o Cu e de 130% para o Mn.

Na presente pesquisa constatou-se que a ordem decrescente de valores de acúmulo total de nutrientes pela cultura do feijão-caupi para a fertirrigação aplicada de forma pulsada foi de: N (3,755 g planta⁻¹) > K (1,182 g planta⁻¹) > Ca (0,703 g planta⁻¹) > P (0,552 g planta⁻¹) > Mg (0,265 g planta⁻¹) > S (0,171 g planta⁻¹) > Fe (20,603 mg planta⁻¹) > Mn (9,521 mg planta⁻¹) > Zn (6,478 mg planta⁻¹) > Cu (0,633 mg planta⁻¹). Já para a fertirrigação aplicada de forma contínua a ordem decrescente de valores foi de: N (2,749 g planta⁻¹) > K (0,624 g planta⁻¹) > Ca (0,520 g planta⁻¹) > P (0,366 g planta⁻¹) > Mg (0,191 g planta⁻¹) > S (0,114 g planta⁻¹) > Fe (13,831 mg planta⁻¹) > Mn (7,083 mg planta⁻¹) > Zn (4,541 mg planta⁻¹) > Cu (0,503 mg planta⁻¹).

Com relação às testemunhas verificou-se que a ordem decrescente de valores de acúmulo total de nutrientes para a testemunha 1 (adubada convencionalmente e irrigada de forma pulsada) foi: N (2,193 g planta⁻¹) > K (0,880 g planta⁻¹) > Ca (0,702 g planta⁻¹) > P (0,482 g planta⁻¹) > Mg (0,258 g planta⁻¹) > S (0,201 g planta⁻¹) > Fe (19,802 mg planta⁻¹) > Mn (9,335 mg planta⁻¹) > Zn (5,717 mg planta⁻¹) > Cu (0,742 mg planta⁻¹). Já para a testemunha 2 (adubada convencionalmente e irrigada de forma contínua) a ordem decrescente de acúmulo foi de: N (1,113 g planta⁻¹) > Ca (0,64 g planta⁻¹) > K (0,396 g planta⁻¹) > P (0,254 g planta⁻¹) > Mg (0,138 g planta⁻¹) > S (0,099 g planta⁻¹) > Fe (9,836 mg planta⁻¹) > Mn (4,993 mg planta⁻¹) > Zn (3,136 mg planta⁻¹) > Cu (0,365 mg planta⁻¹).

Por meio do resumo da análise de variância para a exportação de macro e micronutrientes da cultura do feijão-caupi (Tabela 4), observa-se que houve efeito significativo de forma isolada dos tipos de fertirrigação e das lâminas de reposição da ETc sobre as variáveis fósforo (P) e manganês (Mn).

Para o potássio (K) e o zinco (Zn) houve efeito significativo apenas para o fator lâminas de reposição da ETc, assim como para o ferro (Fe) e o magnésio (Mg) que apresentaram efeito significativo de forma isolada apenas para o fator tipos de fertirrigação. A respeito do enxofre (S), houve efeito significativo de interação entre os fatores lâminas de reposição da ETc e tipos de aplicação da fertirrigação.

As testemunhas, adubadas de forma convencional e irrigadas com lâmina de 100% da ETc, apresentaram efeito significativo para o fator manejo de irrigação (pulsada e contínua) para as variáveis nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), ferro (Fe) e cobre (Cu).

Tabela 4. Análise de variância para a exportação de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) e de micronutrientes (Fe, Mn, Cu e Zn) na cultura do feijão-caupi BRS Tumucumaque, em função do manejo de fertirrigação e da adubação convencional. Carpina-PE, 2022.

FV	GL	Quadrado Médio					
		Macronutrientes					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Lâminas (L)	4	17,053 ^{ns}	3,108**	1.648**	0,066 ^{ns}	0,137 ^{ns}	3,525**
Manejo (M)	1	87,468 ^{ns}	2,623*	0.539 ^{ns}	0,335 ^{ns}	1,346**	0,323 ^{ns}
L X M	4	0,566 ^{ns}	0,411 ^{ns}	0.065 ^{ns}	0,013 ^{ns}	0,024 ^{ns}	1,759**
Blocos	3	9,543 ^{ns}	1,315 ^{ns}	0.944*	0,1675 ^{ns}	0,040 ^{ns}	1,627**
Resíduo	26	21,439	0,519	0.250	0,166 ^{ns}	0,124	0,375
CV	%	13,50	16,43	17,40	11,24	13,67	21,96
Testemunha	1	52,02*	2,123**	0,480**	1,19 ^{ns}	0,000 ^{ns}	0,383**
Bloco	3	1,863 ^{ns}	0,137 ^{ns}	0,0183 ^{ns}	0,992 ^{ns}	0,003 ^{ns}	0,021 ^{ns}
Resíduo	3	3925	0,005	0,015	0,498	0,004	0,007
CV	%	5,45	1,58	3,68	16,15	2,50	6,55

FV	GL	Micronutrientes			
		Fe	Mn	Cu	Zn
Lâminas (L)	4	101,823 ^{ns}	123,220**	0,824 ^{ns}	211,018**
Manejo (M)	1	358,088*	142,525*	2,093 ^{ns}	10,027 ^{ns}
L x M	4	32,637 ^{ns}	58,618 ^{ns}	1,371 ^{ns}	83,909 ^{ns}
Blocos	1	213,968*	97,435*	1,263 ^{ns}	66,213 ^{ns}
Resíduo	3	70,305	26,517	1,464	50,886
CV	%	10,65	14,77	22,99	13,81
Testemunha	1	62,347**	117,78 ^{ns}	0,864**	9,665 ^{ns}
Bloco	3	1.926 ^{ns}	58.707 ^{ns}	0,048 ^{ns}	74.320 ^{ns}
Resíduo	3	5.161	40.500	0,029	52.929
CV	%	3,01	18,82	3,46	7,99

^{ns} não significativo; * e **: Significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. N = nitrogênio; P = fósforos; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = Magnésio; S = enxofre; Fe= ferro; Mn= Manganês; Cu= cobre; Zn= zinco.

Para a exportação de fósforo em função das lâminas de fertirrigação (Figura 18A), observou-se que o valor máximo exportado de fósforo (0,08 g vagens⁻¹) foi obtido na lâmina de 87,5% da ETc, havendo acréscimo de 129,8% sobre a lâmina de 40% da ETc. Segundo Machado et al. (2011), fatores como compactação de solo e deficiência hídrica podem afetar a disponibilidade de fósforo para as plantas, interferindo na absorção e exportação desse nutriente. Já para o tipo de fertirrigação (Figura 18B), observa-se que a fertirrigação pulsada foi mais eficiente que a fertirrigação contínua, pois proporcionou maior exportação de P (0,09 g

vagens⁻¹), apresentando um aumento de 50% em relação à fertirrigação contínua que obteve 0,06 g vagens⁻¹ de exportação de P.

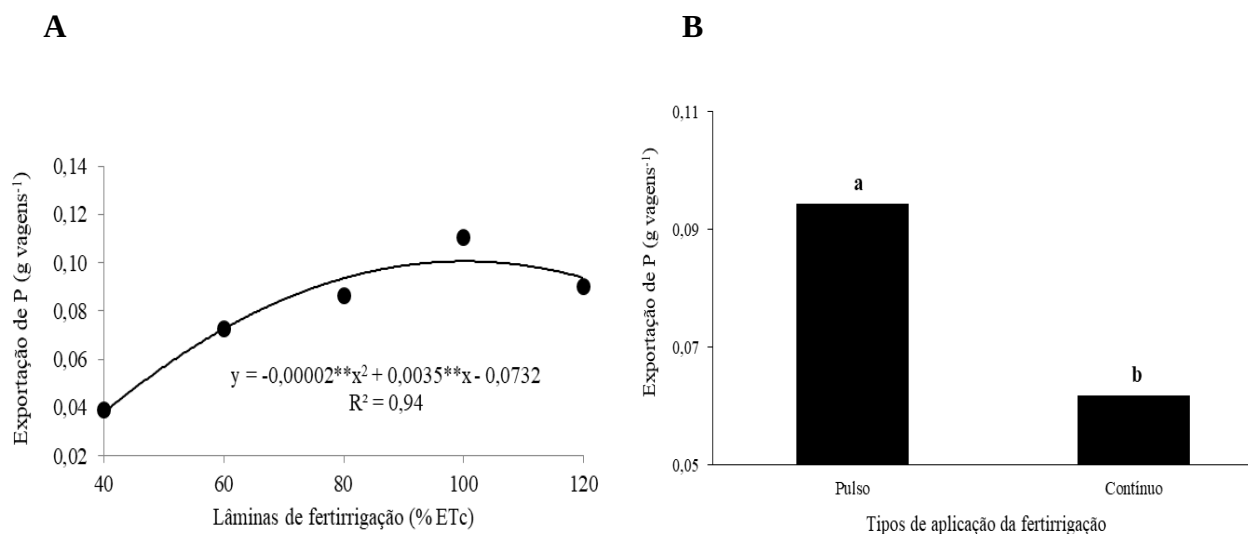


Figura 18 - Exportação de fósforo (P) em função das lâminas de fertirrigação aplicadas (A) e dos tipos de aplicação da fertirrigação (B). Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Para o potássio, o modelo que melhor se ajustou aos dados foi o linear crescente (Figura 19) em que se observa que a exportação máxima de 0,074 g vagens⁻¹ foi obtido na lâmina de 120% havendo acréscimo de 0,0005% para cada aumento unitário da lâmina de reposição da ETc.

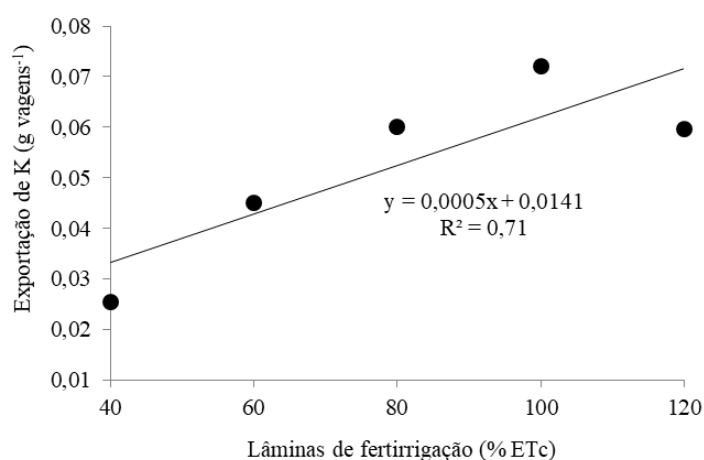


Figura 19 - Exportação de potássio (K) em função das lâminas de fertirrigação aplicadas. Carpina-PE, 2022.

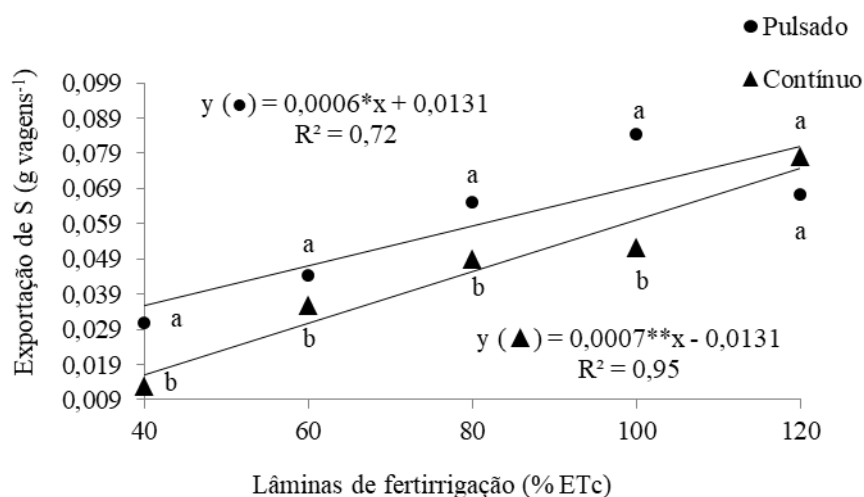
Wietholter (2007) argumenta que a diminuição do teor de água no solo reduz a absorção do potássio, pois dificulta o processo de difusão e não ocorre a reposição do potássio na zona de absorção das raízes.

A análise de exportação para enxofre na cultura do feijão-caupi revelou efeito significativo de interação entre as lâminas de reposição da ETc e os tipos de aplicação da fertirrigação (Figura 20). Os dados relacionados à exportação do nutriente ajustaram-se ao modelo linear crescente no qual a exportação máxima de S, para as duas condições de aplicação da fertirrigação, foi obtida na lâmina de 120% da ETc.

Para a fertirrigação pulsada o máximo de enxofre exportado pela cultura foi de 0,085 g vagens⁻¹, revelando um acréscimo de 0,0006% para cada aumento unitário da lâmina de reposição da ETc. Em relação a fertirrigação contínua a quantidade máxima exportada do nutriente foi correspondente a 0,071 g vagens⁻¹ apresentando aumento de 0,0007% para cada aumento unitária da lâmina de reposição da ETc (Figura 20).

Resultados semelhantes foram encontrados por Carvalho et al. (2014), que ao avaliarem a exportação de nutrientes em grãos de feijão-comum sob diferentes lâminas de irrigação observaram que as maiores médias de exportação de enxofre foram obtidas com a aplicação das maiores lâminas de irrigação.

Figura 20 - Exportação de enxofre (S) sob efeito da interação dos fatores lâminas de



fertirrigação e tipos de aplicação da fertirrigação. Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam

diferenças significativas entre os tipos de fertirrigação (pulsado e contínuo) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

No desdobramento do fator tipo de aplicação de fertirrigação dentro de cada lâmina de reposição (Figura 20) observou-se diferença significativa entre a irrigação pulsada e a contínua nas lâminas de 40, 60, 80 e 100% da ETc tendo-se constatado incrementos de 148,99; 69,89; 42,42; 28,47%, na exportação de enxofre, em relação à fertirrigação contínua.

Em relação ao magnésio, o efeito isolado do tipo de fertirrigação (Figura 21) revelou que a fertirrigação pulsada proporcionou maior exportação de Mg com valor máximo exportado de 0,05 g vagens⁻¹ promovendo incremento percentual de 66,6% em relação à aplicação da fertirrigação contínua (0,03 g vagens⁻¹).

Bakeer et al. (2009), avaliando o efeito da irrigação na produção e eficiência do uso da água na cultura da batata verificaram que a irrigação por pulsos promoveu maior volume de água na região da rizosfera, proporcionando maior absorção de água e nutrientes em relação ao manejo contínuo.

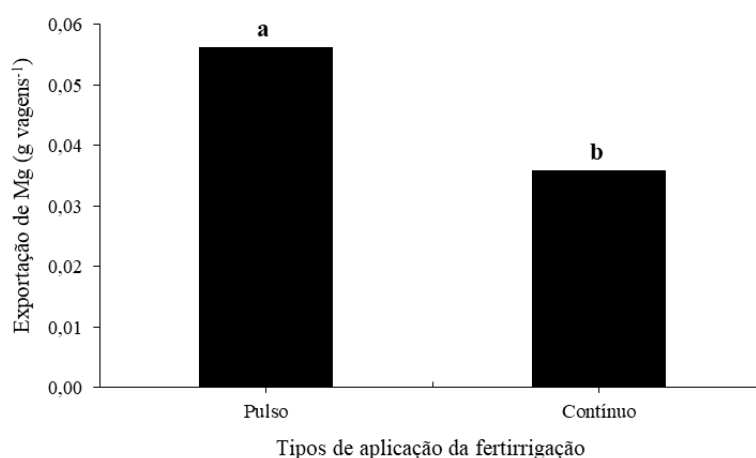


Figura 21 - Exportação de magnésio (Mg) em função dos tipos de aplicação da fertirrigação. Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Para o manganês, ajustou-se o modelo linear crescente onde a maior lâmina aplicada (120% da ETc) proporcionou máxima exportação (0,83 mg vagens⁻¹) pela cultura (Figura 22A), havendo acréscimo de 0,0051% para cada aumento unitário da lâmina de reposição da ETc. Já para os tipos de fertirrigação, observa-se que a fertirrigação pulsada proporcionou um maior valor de exportação do nutriente (0,75 mg vagens⁻¹) pelas plantas em relação a fertirrigação

contínua ($0,49 \text{ g vagens}^{-1}$), proporcionando um acréscimo de 53,06% em relação à fertirrigação contínua (Figura 22B). Hartz et al. (2008) explicam que a deficiência hídrica no solo inibe a translocação dos nutrientes para o frutos das plantas acarretando danos expressivos na produção e qualidade dos frutos.

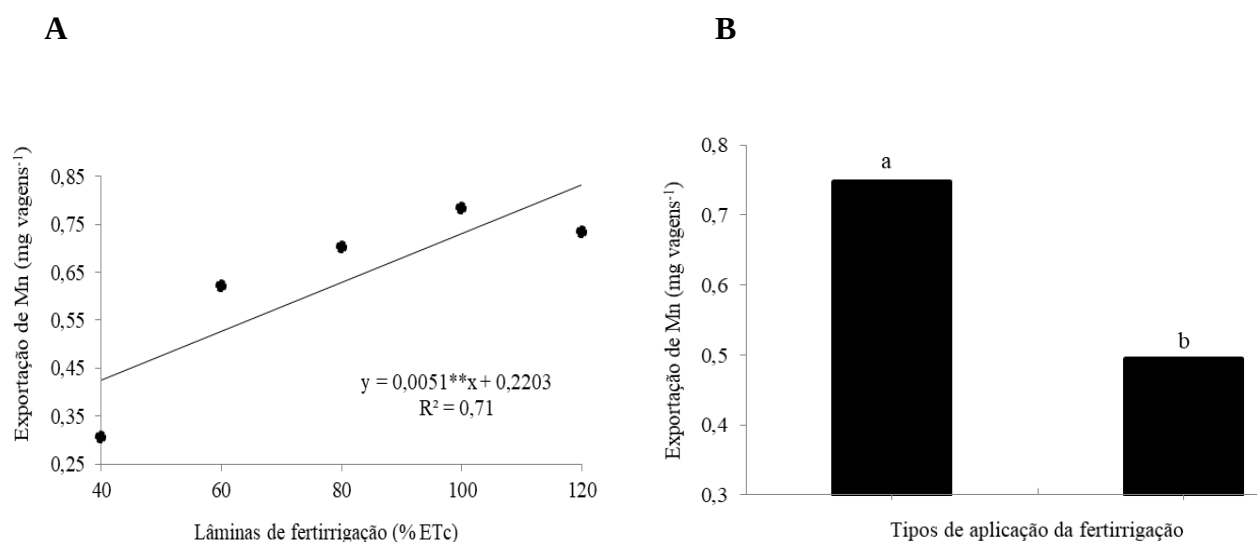


Figura 22 - Exportação de Manganês (Mn) em função das lâminas de fertirrigação aplicadas (A) e dos tipos de aplicação da fertirrigação (B). Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Ao analisar a exportação de zinco em função das lâminas de fertirrigação aplicadas, verifica-se que as médias de exportação de zinco (Figura 23) ajustaram-se ao modelo quadrático, no qual o maior valor estimado para essa variável foi de $1,25 \text{ mg vagens}^{-1}$ na lâmina correspondente de 101,25% da ETc proporcionando acréscimo de 149,65% sobre a lâmina de 40% da ETc.

Segundo Aragão et al. (2012), a disponibilidade de água no solo em quantidades adequadas proporciona maior absorção de nutrientes pela planta, isso pode ser ocasionado devido ao aumento de nutrientes disponíveis na solução do solo, sendo estes absorvidos e transportados para os frutos e parte aérea das plantas com menor dificuldade em comparação às plantas submetidas à deficiência hídrica.

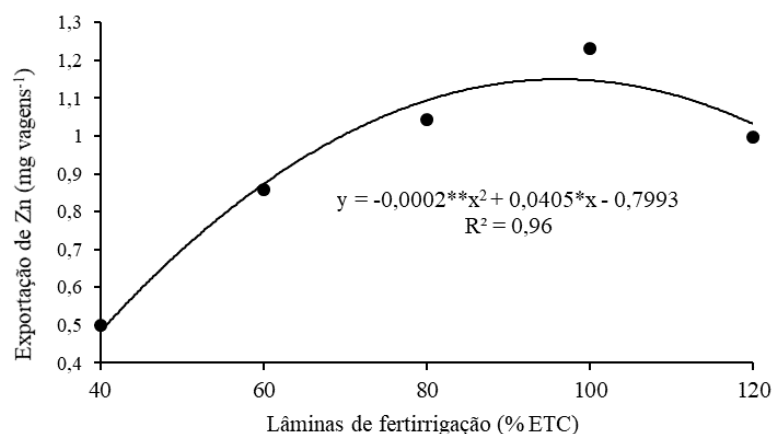


Figura 23 - Exportação de Zinco (Zn) em função das lâminas de fertirrigação aplicadas. Carpina-PE, 2022.

Em relação ao efeito isolado do tipo de fertirrigação (Figura 24), para a variável ferro, constatou-se que a fertirrigação pulsada proporcionou maior exportação de ferro (1,66 mg vagens⁻¹), apresentando aumento percentual de 46,9 em relação à fertirrigação contínua (1,13 mg vagens⁻¹). Segundo Mostaghimi e Mitchell (1983), a aplicação de água por gotejamento é uma alternativa viável para o equilíbrio entre as relações água-solo-planta e, conseqüentemente, para um melhor equilíbrio nutricional da planta.

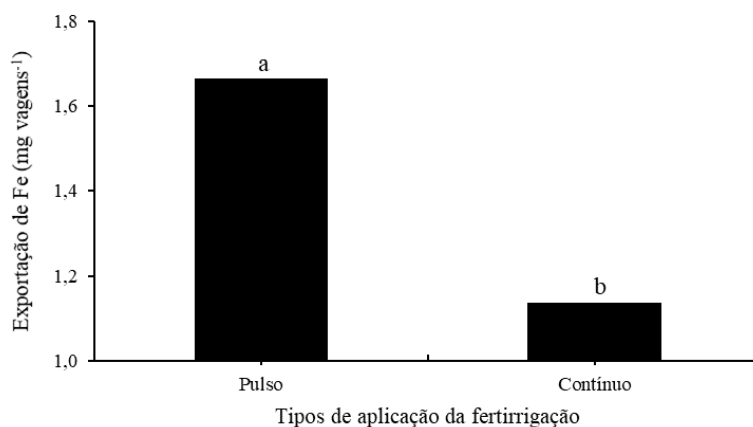


Figura 24 - Exportação de ferro (Fe) em função dos tipos de aplicação da fertirrigação. Carpina-PE, 2022. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de aplicação da fertirrigação (pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

Dessa forma, para obter um menor volume de aplicação de água Karmeli e Peri (1974) sugeriram a aplicação da água de irrigação por pulsos, pois tal técnica reduz a lixiviação dos

nutrientes do solo e proporciona maior absorção e, consequentemente, translocação desses nutrientes para os frutos das plantas.

Por meio da Tabela 5 verifica-se que os tratamentos testemunhas, adubados de forma convencional e irrigados de forma pulsada (testemunha 1) e de forma contínua (testemunha 2), com a lâmina de 100% da ETc, proporcionaram diferenças significativas sobre as variáveis nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S), Ferro (Fe) e cobre (Cu).

Verifica-se que os maiores valores para as variáveis analisadas foram obtidos com a aplicação da irrigação de forma pulsada, tendo constatado incrementos nos valores exportados de 48,15% para o N; de 83,33% para o P; de 40% para a K; de 200% para o S; de 37,28% para o Fe e de 42,86% para o Cu.

Tabela 5. Teste de médias para as variáveis de exportação de nutrientes para o feijão-caupi BRS Tumucumaque adubado de forma convencional e irrigado de forma pulsada e contínua com a lâmina de 100% da ETc. Carpina-PE, 2022.

Manejo da irrigação	N	P	K	S	Fe	Cu
Pulsado	0,80 a	0,11 a	0,07 a	0,03 a	1,62 a	0,10 a
Contínuo	0,54 b	0,06 b	0,05 b	0,01 b	1,18 b	0,07 b

Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tipos de manejo da irrigação (irrigação pulsada e contínua) pelo teste de Scott Knott ($p < 0,05$).

No presente estudo, a ordem decrescente de valores da exportação dos nutrientes pela cultura do feijão-caupi para a aplicação da fertirrigação pulsada foi de: N ($0,729 \text{ g vagens}^{-1}$) > P ($0,094 \text{ g vagens}^{-1}$) > Ca ($0,076 \text{ g vagens}^{-1}$) > K ($0,061 \text{ g vagens}^{-1}$) > Mg ($0,056 \text{ g vagens}^{-1}$) > S ($0,055 \text{ g vagens}^{-1}$) > Fe ($1,664 \text{ mg vagens}^{-1}$) > Zn ($1,062 \text{ mg vagens}^{-1}$) > Mn ($0,748 \text{ mg vagens}^{-1}$) > Cu ($0,111 \text{ mg vagens}^{-1}$). Já para a fertirrigação aplicada de forma contínua a ordem decrescente de valores foi de: N ($0,492 \text{ g vagens}^{-1}$) > P ($0,062 \text{ g vagens}^{-1}$) > Ca ($0,053 \text{ g vagens}^{-1}$) > Mg ($0,045 \text{ g vagens}^{-1}$) > S ($0,043 \text{ g vagens}^{-1}$) > K ($0,041 \text{ g vagens}^{-1}$) > Fe ($1,136 \text{ mg vagens}^{-1}$) > Zn ($0,767 \text{ mg vagens}^{-1}$) > Mn ($0,495 \text{ mg vagens}^{-1}$) > Cu ($0,076 \text{ mg vagens}^{-1}$).

Com relação às testemunhas verificou-se que a ordem decrescente de valores para a testemunha 1 (adubada convencionalmente e irrigada de forma pulsada) foi: N ($0,752 \text{ g vagens}^{-1}$) > P ($0,108 \text{ g vagens}^{-1}$) > Ca ($0,075 \text{ g vagens}^{-1}$) > K ($0,060 \text{ g vagens}^{-1}$) > Mg ($0,049 \text{ g vagens}^{-1}$) > S ($0,037 \text{ g vagens}^{-1}$) > Fe ($1,593 \text{ mg vagens}^{-1}$) > Zn ($1,093 \text{ mg vagens}^{-1}$) > Mn ($0,721 \text{ mg vagens}^{-1}$) > Cu ($0,107 \text{ mg vagens}^{-1}$). Já para a testemunha 2 (adubada convencionalmente e irrigada de forma contínua) foi de: N ($0,524 \text{ g vagens}^{-1}$) > Ca ($0,071 \text{ g vagens}^{-1}$) > P ($0,061 \text{ g}$

vagens⁻¹) > K (0,043 g vagens⁻¹) > Mg (0,036 g vagens⁻¹) > S (0,017 g vagens⁻¹) > Fe (1,129 mg vagens⁻¹) > Zn (0,772 mg vagens⁻¹) > Mn (0,450 mg vagens⁻¹) > Cu (0,072 mg vagens⁻¹).

CONCLUSÕES

As lâminas de fertirrigação entre 70 e 100% da ETc foram as que proporcionaram maior acúmulo dos nutrientes (N, P, K, S, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn) enquanto que as lâminas de 40% e 120% influenciaram na redução do acúmulo total desses nutrientes na parte aérea da planta;

As lâminas de fertirrigação entre 80 e 120% da ETc proporcionaram maior exportação dos nutrientes P, K, Mg, S, Fe, Mn, Zn e a lâmina de 40% da ETc foi a que promoveu os menores valores de exportação dos nutrientes avaliados;

A fertirrigação pulsada promoveu maior acúmulo e exportação para as variáveis N, P, K, S, Mg, Fe, Mn e Zn, em relação à fertirrigação contínua;

As plantas irrigadas com a lâmina de 100% da ETc e adubadas convencionalmente apresentaram maior acúmulo e exportação de nutrientes quando a aplicação da lâmina foi realizada de forma pulsada em detrimento da aplicação de forma contínua;

A ordem decrescente de acúmulo total de nutrientes pela cultura do feijão-caupi, para ambos os tipos de aplicação da fertirrigação e para o manejo de irrigação pulsada das plantas adubadas convencionalmente foi: N > K > Ca > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > Cu. Já para as plantas adubadas convencionalmente e irrigadas de forma contínua a ordem foi: N > Ca > K > P > Mg > S > Fe > Mn > Zn > Cu.

A ordem decrescente de exportação de nutrientes pelas vagens e grãos do feijão-caupi, para aplicação da fertirrigação por pulsos foi: N > P > Ca > K > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu. Para a aplicação da fertirrigação contínua a ordem decrescente de exportação foi: N > P > Ca > Mg > S > K > Fe > Zn > Mn > Cu. Já as plantas adubadas convencionalmente e irrigadas por pulsos, apresentaram a seguinte ordem decrescente de exportação: N > P > Ca > K > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu. Para o manejo de irrigação contínua das plantas adubadas convencionalmente, a ordem decrescente de exportação foi: N > Ca > K > P > Mg > S > Fe > Zn > Mn > Cu.

REFERÊNCIAS

Aragão, V. F.; Fernandes, P. D.; Gomes Filho, R. R.; Carvalho, C. M.; Feitosa, H. O.; Feitosa, E. O. Produção e eficiência no uso da água do pimentão submetido a diferentes lâminas de

irrigação e níveis de nitrogênio. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.6, p.207-216, 2012.

Almeida, W. F.; Paz, V. P. S.; Jesus, A. P. C.; Silva, J. S. S.; Gonçalves, K. S.; Oliveira, A. S. Yield of green beans subjected to continuous and pulse drip irrigation with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.476-481, 2018.

Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M; Sparove, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2014.

Andrade F. R.; Silva G. N.; Guimarães K. C.; Barreto H. B. F.; Souza K. R. D.; Guilherme L. R. G.; Reis, A. R. Selenium protects rice plants from water deficit stress. *Ecotoxicology and environmental safety*, v.164, p.562-570, 2018.

Assouline, S.; Moller, M.; Bem-Hur, M.; Grava, A.; Narkis, K.; Silber, A. Soil-plant system response to pulsed drip irrigation and salinity. *Soil Science Society of America Journal*, v.70, p.1556-1568, 2006.

Bakeer, G. A. A.; El-Ebabi, F. G.; El-Said, M. T.; Abdelghany, A. R. E. Effect of pulse drip irrigation on yield and water use efficiency of potato crop under organic agriculture in sandy soils. *Journal of Agricultural Engineering*, v.26, p.736-765, 2009.

Bezerra Neto, E.; Barreto, L. P. *Análises químicas e bioquímicas em plantas*. 1ª ed. Recife: UFRPE, Editora Universitária da UFRPE, 2011. 267p.

Campos, F. L.; Freire Filho, F. R.; Ribeiro, V. Q.; Lopes, A. C. A. Ciclo fenológico em caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp): uma proposta de escala de desenvolvimento. *Revista Científica Rural*, v.5, p.110-116, 2000.

Conceição, C. G.; Robaina, A. D.; Peiter, M. X.; Parizi, A. R. C., Conceição, J. A.; Bruning, J. Economically optimal water depth and grain yield of common bean subjected to different irrigation depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, p.482-487, 2018.

Carvalho, J. J.; Saad, J. C. C.; Bastos, A. V. S.; Naves, S. S.; Soares, F. A. L.; Vidal, V. M. Teor e acúmulo de nutrientes em grãos de feijão comum em semeadura direta, sob déficit hídrico. *Irriga*, v.1, p.104-117, 2014.

Cruz, C. S. A.; Pereira, E. R. L.; Silva, L. M. M.; Medeiros, M. B.; Gomes, J. P. Repelência do *Callosobruchus maculatus* (COLEOPTERA: BRUCHIDAE) sobre grãos de feijão caupi tratado com óleos vegetais. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.7, p.1-5, 2012.

Cruz, R. I. F. Uso de águas salobras na produção de amendoim irrigado por pulsos. Recife: UFRPE, 2020. 100p. Dissertação Mestrado.

Cavalcanti, F. L. A.; Santos, J. C. P.; Pereira, J. R.; Leite, J. P.; Silva, M. C. L.; Freire, F. J.; Silva, D. J.; Sousa, A. R.; Messias, A. S.; Faria, C. M. B.; Burgos, N.; Lima Júnior, M. A.; Gomes, R. V.; Cavalcanti, A. C.; Lima, J. F. V. F. Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco. 2008. 212p.

Dominico, C. F.; Lutosa, S. B. C.; Ávila, F. W. Acúmulo de matéria seca e absorção de nitrogênio, fósforo e potássio por azevém (*Lolium multiflorum* Lam.) cultivar Bar jumbo. *Research, Society and Development*, v.9, p.1- 23, 2020.

Drugowich, M. I.; D’auria, M. G. D. P. M. (2017). Uso racional da água na agricultura. CATI, 2017. p.44

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª ed. Brasília, 2013. 353p.

Freire Filho, F. R.; Lima, J. A. A.; Ribeiro, V. Q. Feijão-caupi: avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 519p.

Gonçalves, J. G. R. Identificação de linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes à seca. Instituto Agronômico de Campinas, 2013. 87p. Tese Doutorado.

Guimarães, D. G.; Oliveira, L. M. O; Guedes, M. O.; Ferreira, G. F. P.; Prado, T. R.; Amaral, C. L. F. Desempenho da cultivar de feijão-caupi BRS Novaera sob níveis de irrigação e adubação em ambiente protegido. *Cultura Agrônômica*, v.29, p.61-75, 2020.

Hartz, T. K.; Cantwell, M.; Lestrage, M.; Smith, R. F.; Aguiar, J.; Daugovich, O. Bell pepper production in California. Oakland: University of California, 2008. 4p

Junjittakarn J.; Pimratch S.; Jogloy S.; Htoon W.; Singkham N.; Vorasoot N.; Patanothai A. Nutrient uptake of peanut genotypes under different water regimes. *International Journal of Plant Production*, v.7, p.677-692, 2013.

Jain, N. K; Meena, H. N. Improving productivity of groundnut (*Arachis hypogaea*) by using water soluble fertilizer through drip irrigation. *Indian Journal of Agronomy*, v.60, p.109-115, 2015.

Karmeli, D.; Peri, G. Basic principles of pulse irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, New York, v.100, p.309-319, 1974.

Khan, A. N.; Khan, M. I. R.; Asgher, M.; Fatma, M.; Massod, A.; Syeed, S. Salinity tolerance in plants: revisiting the role of sulfur metabolites. *Journal of Plant Biochemistry & Physiology*, v.2, p.1-8, 2014.

Lacerda, M. C.; Nascente, A. S.; Pereira, E. T. L. Adubação nitrogenada afeta a produtividade e a qualidade comercial de grãos do feijoeiro em sistema de plantio direto. *Revista de Ciências Agrárias*, v.42, p.71-80, 2019.

Machado, V. J.; Souza, C. H. E.; Andrade, B. B.; Lana, R. M. Q.; Korndorfer, G. H. Curvas de Disponibilidade de Fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. *Bioscience Journal*, v.27, p.70-76, 2011.

Merriam, J. L.; Keller, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. 3ed. Logan: Utah State University. 1978. 271p.

Madane, D. A.; Kdam, U. S.; Tokhal R. Study of white onion (*Allium cepa* L.) on yield and economics under pulse irrigation (drip) for different irrigation levels. *International Journal Agriculture Engineering*, v.11, p.128-134, 2018.

Martins, P. H. M; Oliveira, R. A. M; Buso, W. H. E; Rodovalho, S.R. Análise de crescimento do feijoeiro a diferentes manejos de adubação nitrogenada na região do cerrado. *Revista Agrotecnologia*, v.8, p.63-70, 2017.

Mattar, G. S.; Moraes, C. C.; Meletti, L. M. M.; Purquerio, L. F. V. Nutrient accumulation and export by passion fruit cv. IAC 275. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.40, p.e-178, 2018.

Moraes, C. C.; Factor, T. L.; Araujo, H. S.; Purquerio, L. F. V. Plant growth and nutrient accumulation in two tomato hybrids under tropical conditions. *Australian Journal of Crop Science*, v.12, p.1419-1425, 2018.

Morillo, J. G.; Martín, M.; Camacho, J. A. Rodríguez D.; Montesinos, P. Toward precision irrigation for intensive strawberry cultivation. *Agricultural Water Management*, v.151, p.43-51, 2015.

Mostaghimi, S.; Mitchell, J. K. Pulsed trickling effects on soil moisture distribution. *Water Resources Bul*, v.19, p.605-612, 1983.

Nandi, R.; Reja, H.; Chatterjee, N.; Bag, A. G.; Hazra, G. C. Effect of Zn and B on the Growth and Nutrient Uptake in Groundnut. *Current Journal of Applied Science and Technology*, v.39, p.1-10, 2020.

Nogueira, C. C. P.; Bastos, E. A.; Cardoso, M. J.; Andrade Júnior, A. S. Ribeiro, V. Q. Viabilidade econômica do feijão-caupi verde irrigado na microrregião de Teresina, Piauí. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2019. 10p. (Circular técnica, 250).

Novais, R. F.; Neves, J. C. L.; Barros, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A. J.; Garrido, W. E.; Araújo, J. D.; Lourenço, S. (Coord.). Métodos de pesquisa em fertilidade do solo. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p.190-253. (EMBRAPA-SEA. Documentos, 3).

Nocito, F. F.; Lancilli, C.; Giacomini, B.; Sacchi, G. A. Sulfur metabolism and cadmium stress in higher plants. *Plant Stress*, v.2, p.142-156, 2007.

Ouda S.; Hefny Y. A.; Abdel-Wahab T. I.; Abdel-Wahab S. I. Intercropping systems of sunflower and peanut under different irrigation regimes and potassium fertilizer levels. *Egyptian Journal of Agronomy*, v.40, p.85-104, 2018.

Pereira, V. G. C.; Gris, D. J.; Marangoni, T.; Frigo, J. P.; Azevedo, K. D.; Grzesiuck, A. E. Exigências agroclimáticas para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.3, p.32-42, 2014.

Pereira, V. G. M. F.; Lopes, A. S.; Belchior, A. S.; Júnior, E. D. F.; Pacheco, A.; Brito, K. R. M. Irrigação e fertirrigação na cultura do eucalipto. *Ciência Florestal*. MS (Aquidauana), v.29, p.22-34, 2019.

Purquerio, L. F. V.; Mattar, G. S.; Duarte, A. M.; Moraes, C. C.; Araújo, H. S.; Santos, F. F. Growth, yield, nutrient accumulation and export and thermal sum of Italian zucchini. *Horticultura Brasileira*, v.37, p.221-227, 2019.

Purquerio, L. F. V.; Santos, F. F. B.; Factor, T. L. Nutrient uptake by tomatoes ‘Dominador’ and ‘Serato’ grown in São Paulo State, Brazil. *Acta Horticulturae*, v.11, p.35-40, 2016.

Rivas, R.; Falcão, H. M.; Ribeiro, R. V.; Machado, E. C.; Pimentel, C.; Santos, M. G. Drought tolerance in cowpea species is driven by less sensitivity of leaf gas exchange to water deficit and rapid recovery of photosynthesis after rehydration. *South African Journal of Botany*, Pietermaritzburg, v.103, p.101-107, 2016.

Silva, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

Sousa, W. N.; Brito, N. F.; Barros, I. B.; Sousa, T. R.; Sia, E. F.; Reis, I. M. S. Resposta do feijão-caupi à inoculação de *bradyrhizobium japonicum*, adubação nitrogenada e nitrogênio do solo. *Revista Agroecossistemas*, v.10, p.298-308, 2018.

Saure, M. Por que a deficiência de cálcio não é a causa da podridão foliar em tomate e pimentão: uma reavaliação. *Scientia Horticulturae*, v.174, p.65-89, 2014.

Vale, J. C.; Bertini, C. H. C.; Teófilo, E. M.; Pinheiro, M. S.; Melo, L. F. Botânica e fenologia. In: Vale, J. C.; Bertini, C.; Borém, A. Feijão-caupi do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2017. Cap.2, p.37-51.

Vera, G. S.; Cruz, G. S.; Souza, H. A.; Silva, K. J. D. S.; Bezerra, A. A. C. Acúmulo e marcha de absorção de macronutrientes no feijão-caupi em sistema de cultivo mínimo. Fortaleza, CE, 2019. 5 p.

Viana, J. D. S.; Palaretti L. F.; Faria R. T.; Delgado, Y. V.; Dalri, A. B.; Barbosa, J. D. A. Potato production affected by fertilization methods, masses of seed tubers and water regimes. *Horticultura Brasileira*, v.38, p.166-174, 2020.

Viçosi, K. A., Ferreira, A. A. S., Oliveira, L. A. B.; Rodrigues, F. Estresse hídrico simulado em genótipos de feijão, milho e soja. *Journal of Neotropical Agriculture*, v.4, p.36–42, 2017.

Wietholter, S. Bases teóricas e experimentais de fatores relacionados com a disponibilidade de potássio do solo às plantas usando trigo como referência. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1011-1021, 2007.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos na presente pesquisa sobre a produção de grãos verdes de feijão-caupi fertirrigado por gotejamento contínuo e pulsado infere-se que a irrigação por pulsos proporciona maiores rendimentos para a produção da cultura e melhores resultados para a nutrição mineral das plantas comparada a aplicação da fertirrigação contínua.

A técnica de fertirrigação pulsada, associada às lâminas de reposição da evapotranspiração da cultura inferiores a 100% do valor estimado diariamente, não compromete o estado nutricional da cultura e promove uma produção satisfatória com redução do consumo de água.

As informações obtidas neste estudo acerca da nutrição mineral do feijão-caupi são importantes, pois fazem referências a valores de acúmulo e exportação de nutrientes escassos ou inexistentes na literatura, de forma que, a partir dos resultados obtidos na presente pesquisa, torna-se possível ter parâmetros de comparação para estudos posteriores e auxílio no manejo da fertilização da cultura do feijão-caupi.

Alguns aspectos desse estudo podem presidir pesquisas futuras a respeito da utilização de irrigação por pulsos nos cultivos como, por exemplo: avaliar o número de pulsos e os intervalos entre os pulsos. Além dos efeitos da aplicação de pulsos em associação com outras águas de qualidade inferior.