AMANDA HÉLLEN SALES SOBRAL

EVAPOTRANSPIRACÃO E COEFICIENTES DE CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI BRS INHUMA, NA MICRORREGIÃO DE TERESINA, PI

TERESINA-PI

2024

AMANDA HÉLLEN SALES SOBRAL

EVAPOTRANSPIRACÃO E COEFICIENTES DE CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI BRS INHUMA, NA MICRORREGIÃO DE TERESINA, PI

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título Mestre em Agronomia.

Orientador: Aderson Soares de Andrade Júnior

TERESINA – PI

2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial CCA
Serviço de Representação Temática da Informação

S677e Sobral, Amanda Héllen Sales.
Evapotranspiracão e coeficientes de cultura do feijão-caupi BRS inhuma, na microrregião de Teresina, PI / Amanda Héllen Sales Sobral. -- 2024.
51 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2024.
"Orientador: Prof. Aderson Soares de Andrade Júnior."

1. Demanda hídrica. 2. Kc. 3. Lisímetro de pesagem. I. Andrade Júnior, Aderson Soares de. II. Título.

CDD 635.659 2

Bibliotecário: Rafael Gomes de Sousa - CRB3/1163

Amanda Héllen Sales Sobral

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTES DE CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI BRS INHUMA, NA MICRORREGIÃO DE TERESINA, PIAUÍ

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

APROVADA em 30 de setembro de 2024

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Milton José Cardoso – EMBRAPA Meio-Norte/Membro Externo

Prof. Dr. Ricardo Silva de Sousa – CCA/UFPI/Membro Interno

Prof. Dr. Edson Alves Bastos – EMBRAPA Meio-Norte/Membro Interno

Prof. Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior – EMBRAPA Meio-Norte/Presidente

À minha mãe, Lúcia Sales, que tanto tem me ensinado sobre a vida,

Ao meu pai, Manoel Luís, pelo jeito simples de seguir a vida e

À minha irmã, Ana Héllen, pelo amor fraterno e companheirismo,

Dedico!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me permitido chegar até aqui, foi meu sustento e meu refúgio e a Maria Santíssima, minha mãe do céu.

Aos meus pais, Manoel e Lúcia, por terem sido fortes pilares nessa caminha e minha irmã Ana, pelo incentivo diário.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Piauí, pela oportunidade que foi a mim dada, em especial à professora Drª Aurenívia Bonifácio de Lima.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À Embrapa Meio-Norte por todo o amparo que foi dado ao projeto de pesquisa, desde a área experimental até os minuciosos trabalhos de laboratório.

Ao meu orientador, Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior, pela indescritível orientação, paciência e compreensão durante toda essa jornada.

Ao meu coorientador, Dr. Edson Alves Bastos, por todo o suporte fornecido durante a execução do experimento e sua colaboração em conhecimentos.

Aos funcionários de campo da Embrapa Meio-Norte, Sr. Rocha e Sr. Joel, foram profissionais indispensáveis para a condução do experimento em campo.

Aos estagiários da UESPI, Leandro de Francinaldo, pela ajuda durante a condução do experimento, principalmente nos dias de coleta.

A todos que me ajudaram de maneira direta ou indireta, meu forte agradecimento.

É por isso que eu digo a vocês:
tudo o que vocês pedirem na oração,
acreditem que já o receberam, e assim será.
São Marcos 11, 24

RESUMO GERAL

Novas cultivares de feijão-caupi vêm sendo lançadas pelo Programa de Melhoramento da Embrapa Meio-Norte, dentre elas, a BRS Inhuma, uma cultivar de ciclo indeterminado e com hábito de crescimento semiereto ou semiprostrado. Assim, faz se necessário determinar a quantidade de água exigida pela cultivar ao longo do seu ciclo (ETc) e o coeficiente de cultura (Kc), visando à aplicação racional da água em sistema de produção irrigado. O objetivo do presente trabalho foi mensurar a evapotranspiração e os coeficientes de cultivo do feijão-caupi BRS Inhuma em sistema de produção sob irrigação. O experimento foi conduzido na Embrapa Meio-Norte, em Teresina, PI (5°05'S, 42°29'W e 72m), o solo da área do experimento foi classificado como argissolo-vermelho amarelo distrófico e textura franco arenosa, durante o período de setembro a novembro de 2022. A evapotranspiração da cultura (ETc) foi determinada pelo método de lisimetria de pesagem. A evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada pelo método de Penman-Monteith, com base nos dados de estação meteorológica automática. A ETc media das fases I, II, III e IV foram, 2,7; 3,7; 5,6 e 2,3 mm dia^{-1}; respectivamente. A ETo media das fases I, II, III e IV foram iguais a 5,0; 4,8; 5,0 e 4,8 mm dia^{-1}; respectivamente. O Kc da cultivar nas fases I, II, III e IV foi de 0,54; 0,76; 1,12 e 0,46; respectivamente. A produtividade de grãos do feijão-caupi no interior dos lisímetros foi de 999 kg ha^{-1} e na área de bordadura foi de 1078 kg ha^{-1}.

Palavras-chave: Kc, demanda hídrica, lisímetro de pesagem.

GENERAL ABSTRACT

Embrapa Meio-Norte Breeding Program has developed new cowpea cultivars, among them the BRS Inhuma, a cultivar with an indeterminate growth cycle and a semi-erect or semi-prostrate growth habit. Thus, it is necessary to determine the water requirements of the cultivar throughout its cycle (ETc) and the crop coefficient (Kc) to enable the rational application of water in an irrigated production system. The objective of this study was to measure the evapotranspiration and crop coefficients of the cowpea BRS Inhuma in an irrigated production system. The experiment was conducted at Embrapa Meio-Norte, in Teresina, PI (5°05'S, 42°29'W, and 72m elevation). The soil in the experimental area was classified as dystrophic red-yellow argisol with a sandy loam texture, during the period from September to November 2022. Crop evapotranspiration (ETc) was determined using the weighing lysimeter method, and reference evapotranspiration (ETo) was estimated by the Penman-Monteith method based on data from an automatic weather station. The average ETc for stages I, II, III, and IV was 2.7; 3.7; 5.6; and 2.3 mm day^{-1}, respectively. The average ETo for stages I, II, III, and IV was 5.0; 4.8; 5.0; and 4.8 mm day^{-1}, respectively. The crop coefficient (Kc) of the cultivar in stages I, II, III, and IV was 0.54; 0.76; 1.12; and 0.46, respectively. The grain yield of cowpea within the lysimeters was 999 kg ha^{-1}, and in the border area, it was 1078 kg ha^{-1}.

Keywords: Kc, water demand, weight lysimeter.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área experimental dos lisímetros de pesagem 26
Figura 2. Distribuição dos copos coletores na área experimental 29
Figura 3. Ceptômetro em campo e folhas no laboratório para serem passadas no espectrofotômetro.....30
Figura 4. Plantas dentro do lisímetro no estágio inicial de desenvolvimento.....31
Figura 5. Temperatura do ar (ºC) (A), umidade relativa do ar (%) (B), velocidade do vento (m s^{-1}) (C) e radiação solar global (MJ m^{-2}) (D) durante o ciclo de cultivo do feijão-caupi, cv. BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022 34
Figura 6. Biomassa seca das folhas de feijão-caupi, cv. BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022.....35
Figura 7. Biomassa seca do caule de feijão-caupi, cv. BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022.....36
Figura 8. Biomassa seca das flores de feijão-caupi, cv. BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022.....36
Figura 9. Biomassa seca das vagens de feijão-caupi, cv. BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022.....37
Figura 10. Biomassa seca total das plantas de feijão-caupi, cv. BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022.....37
Figura 11. Partição da biomassa seca total das plantas de feijão-caupi, cv. BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022.....38
Figura 12. Índice de área foliar das plantas de feijão-caupi, cv. BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022.....38
Figura 13. Lâminas de irrigação (mm) e precipitação (mm) durante o ciclo de cultivo do feijão-caupi, cv. BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022 40
Figura 14. Conteúdo (Ɵ, %) e disponibilidade de água no solo (AD, %) no interior dos lisímetros de pesagem, na camada de 0-0,3 m, durante o ciclo de cultivo do feijão-caupi, cv. BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022 40
Figura 15. Evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc) durante o ciclo de cultivo do feijão-caupi, cv BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022 42
Figura 16. Relação entre o coeficiente de cultura (Kc) e o índice de área foliar durante o ciclo de cultivo do feijão-caupi, cv BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022 45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química da área experimental.....28
Tabela 2. Análise granulométrica da área experimental.....29
Tabela 3. Biomassa seca (g/m^2 e %) e Índice de área foliar.....39
Tabela 4. Evapotranspiração de referência (ETo), da cultura (ETc) e coeficiente de cultura (Kc), em períodos de cinco dias, durante o ciclo de cultivo do feijão-caupi, cv BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022 43
Tabela 5. Equações de ajuste da curva do coeficiente de cultura (Kc) e índice de área foliar (IAF) do feijão-caupi, cv BRS Inhuma, em função dos dias após semeadura (DAS), segundo modelo logístico 45
Tabela 6. Índices de produtividade do feijão-caupi, cv BRS Inhuma 45

SUMÁRIO

RESUMO GERAL.....viii
GENERAL ABSTRACT.....ix
LISTA DE FIGURAS.....x
LISTA DE TABELA.....xi
1.INTRODUÇÃO.....14
2.REFERENCIAL TEÓRICO.....16
2.1 Origem e classificação botânica do feijão-caupi 16
2.2 Importância econômica e social do feijão-caupi.....16
2.3 Características agronômicas do feijão-caupi.....17
2.4 Cultivar BRS Inhuma 18
2.5 Exigências climáticas e manejo da irrigação de feijão-caupi 18
2.6 Evapotranspiração do feijão-caupi.....19
2.7 Coeficiente da cultura (Kc) 19
2.8 Métodos de determinação de evapotranspiração 20
2.9 Lisimetria.....21
2.10 Manejo da irrigação baseado na evapotranspiração 23
2.11 Área foliar.....23
2.12 Biomassa seca da parte aérea 25
3.MATERIAL E MÉTODOS.....26
3.1 Área experimental.....26
3.2 Lisímetro de pesagem.....26
3.3 Caracterização do solo.....27
3.4 O clima.....28
3.5 Cultura avaliada.....28
3.6 Manejo da irrigação.....29
3.7 Monitoramento do conteúdo de água no solo.....29
3.8 Índice de cobertura foliar da cultura.....30
3.9 Biomassa seca da parte aérea.....31
3.10 Evapotranspiração da cultura (ETc) 31
3.11 Coeficientes da cultura (Kc) 31
3.12 Produtividade e de grãos e componentes de produção.....32

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....33
4.1 Dados climáticos.....33
4.2 Biometria da cultivar BRS Inhuma.....34
4.3 Disponibilidade de água.....39
4.4 Evapotranspiração de referência (ETo), evapotranspiração da cultura (ETc) e coeficiente de cultivo (Kc) 41
4.5 Produtividade de grãos e componentes de produção.....45
5. CONCLUSÕES.....47
6. REFERÊNCIAS.....48

1. INTRODUÇÃO

Uma das leguminosa mais cultivadas no mundo é o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), por seu grão ter um alto valor proteico. É considerada a principal fonte de proteínas da população de baixa renda, principalmente na América Latina e na África (OLIVEIRA et al., 2015). No Brasil, o feijão-caupi apresenta grande importância agrícola e os maiores destaques de produção são os estados do Piauí e Bahia. A produção nacional foi de 691,8 mil toneladas, com uma produtividade de 542 kg/ha e a área plantada foi de 1 275,7 mim hectares na safra 2023/2024 de feijão-caupi (CONAB, 2024).

A sua comercialização se dá através, principalmente, do consumo de grãos secos, grãos imaturos (feijão verde ou feijão seco), farinha para a composição do acarajé e sementes (SILVA et al.; 2018), dessa forma é de extrema importância intensificar a sua produção. Com isso, feijão-caupi pode ser cultivado em sistema de produção de sequeiro, durante a estação chuvosa do ano, bem como em regime irrigado, durante a estação seca do ano, desde que haja disponibilidade de água na região.

Assim, é de grande relevância conhecer a demanda hídrica do feijão-caupi visando subsidiar o manejo racional da irrigação, bem como os estudos de zoneamento de risco climático da cultura. O manejo racional da irrigação permite aplicar água na medida certa segundo a exigência hídrica da cultura. A deficiência e o excedente hídrico promovem redução na produtividade de grãos. Pequenas quantidades de água disponibilizadas para a cultura umedecem apenas as camadas mais superficiais do solo, enquanto o excesso de água favorece aparecimento de microrganismos causadores de doenças (FERNANDES E TURCO, 2018).

Para determinar-se o consumo de água da cultura é necessário avaliar a evapotranspiração, que é o deslocamento da água existente na planta e no solo para a atmosfera (ALLEN et al., 1998). Esse consumo hídrico recebe o nome de evapotranspiração da cultura (ETc), os quais são dois processos que ocorrem juntos, a evaporação da água presente no solo e a transpiração da planta (SILVA, 2019). Com isso, é possível determinar também o coeficiente da cultura (Kc), uma relação entre a

evapotranspiração da cultura, sob um consumo de água adequado e uma evapotranspiração de referência (SILVA, 2012).

Existem diferentes métodos capazes de mensuração da dinâmica da água no solo, permitindo quantificar a evapotranspiração das culturas, dentre eles destaca-se a lisimetria de pesagem, os lisímetros de pesagem controlam a entrada e a saída de água em um volume de solo conhecido (FIGUEIRÊDO, 2009). Esse sistema é instalado em condição de campo, podendo ter sua superfície coberta ou não por vegetação (grama ou cultura de interesse). Exige mão de obra bastante tecnificada para o seu manuseio, portanto, é usado apenas para condições experimentais (SILVA, 2012).

A Embrapa Meio-Norte coordenada o programa de melhoramento genético do feijão-caupi no Brasil. O programa tem como objetivo desenvolver cultivares de feijão-caupi adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas de cultivo com elevada produtividade e qualidade de grão, bem como com características inovadoras para atender diferentes nichos de mercado do agronegócio da cultura no Brasil e tolerantes aos principais fatores de estresse biótico e abiótico restritivos da cultura.

Dentre os fatores abióticos ainda restritivos para a cultura destaca-se a deficiência hídrica do solo, notadamente, quando cultivado em regime de sequeiro. Para as áreas de cultivo em regime irrigado ainda há carência da definição de um manejo racional de irrigação, que permita economia de água e energia. Neste contexto, é fundamental que, para as cultivares a serem lançadas, tenha-se, a priori, conhecimento de sua necessidade hídrica por meio da quantificação de sua evapotranspiração, bem como a definição de seus coeficientes de cultivo (Kc) em suas diferentes fases fenológicas.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é mensurar a evapotranspiração e os coeficientes de cultivo do feijão-caupi BRS Inhuma em sistema de produção sob irrigação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem e classificação botânica do feijão-caupi

O feijão-caupi possui origem na África, onde se destaca em cultivo e consumo, principalmente no oeste africano. A cultura chegou ao Brasil em meados da segunda metade do século XVI, pelo estado da Bahia, por meio da colonização portuguesa (Embrapa, 2022). O feijão-caupi se classifica como uma planta dicotiledônea, da ordem Fabales, pertencente à família Fabacea, subfamília Faboidea, da tribo Phaseolinea, gênero Vigna, secção Catyang, de espécie Vigna unguiculata (L.) Walp. (Padulosi & NG, 1997).

2.2 Importância econômica e social do feijão-caupi

O Nordeste brasileiro apresenta a maior área plantada com feijão-caupi na safra 2022/23, com 1 033,0 mil hectares cultivados (CONAB, 2024). Essa cultura é de grande importância econômica e social para a população nordestina. O feijão-caupi é cultivado por produtores da agricultura familiar, notadamente em cultivo consorciado com o milho, bem como por produtores de larga escala, em monocultura. É uma das principais fontes de proteína vegetal para a população do Nordeste, sendo importante gerador de emprego e renda. No Brasil, o consumo de feijão-caupi ganhar destaque no Norte e Nordeste, variando de 9,2 a 21,8 kg/pessoa/ano, dependendo do estado, com média 15 kg/pessoa/ano (Embrapa, 2021).

A produtividade média de grãos do feijão-caupi no Nordeste na safra 2023/2024 foi de 448 kg/ha, considerada uma produtividade baixa em relação à média nacional que é de 542 kg/ha e no Piauí, essa produtividade é cerca de 409kg/ha (CONAB, 2024). Essa baixa produtividade se deve ao inadequado manejo da cultura, já que muitas lavouras não há correção e adubação do solo, nem o manejo de pragas e doenças adequados para a cultura, além a disponibilidade de água incorreta. Existem cultivares com potencial de altas produtividades de grãos. Na região norte, por exemplo, o feijão-caupi alcançou uma produtividade média de grãos de 988 kg/ha (CONAB, 2024), com o manejo adequado da cultura.

Em 2022, as exportações de feijão-caupi chegaram a 46.353 toneladas, correspondendo a 34,1% do total de feijão exportado pelo país. Essas exportações do Brasil alcançaram um faturamento de cerca de 30,2 milhões de dólares (Embrapa,2023). A cultivar BRS Inhuma apresenta característica apropriadas para a

exportação, dentre elas, o grão na cor branca. A principal razão do desenvolvimento atual da cultura está na pesquisa e trabalho da Embrapa, especialmente da Embrapa Meio-Norte, em Teresina-PI, que coordena o Programa Nacional de Melhoramento genético do feijão-caupi (Embrapa,2023).

A irrigação do feijão-caupi deve ser explorada para fornecer a quantidade certa de água e assim, suprir a exigência da planta. Um dos fatores limitante e que interfere diretamente na baixa produtividade é a deficiência hídrica, a época da aplicação de água e a quantidade de água afetam no rendimento dessa cultura. Um adequado crescimento e desenvolvimento do feijão-caupi é possível com o auxílio da irrigação e para um bom resultado da é indispensável saber quanto, quando e como irrigar. O conhecimento sobre a escassez das chuvas, o sistema e manejo de irrigação apropriado, auxilia diretamente na alta produtividade do manejo irrigado (Embrapa 2021)

2.3 Características agronômicas do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma planta que tem seu desenvolvimento e desenvolvimento bastante influenciado pelas condições ambientais. As principais características agronômicas que sofre essa alteração são o hábito de crescimento, ciclo e porte. O hábito de crescimento do feijão-caupi é a maneira como a planta dispõe o crescimento do caule e das flores. Admite-se como sendo determinado, quando o caule e os ramos laterais terminam com as flores e indeterminado, quando as flores iniciam da base da planta para o ápice, permitindo um crescimento contínuo dos ramos (Embrapa, 2021).

O ciclo do feijão-caupi, período em dias compreendido entre a germinação e o amadurecimento das vagens, é classificado como superprecoce, precoce, médio ou tardio (Embrapa, 2021). A tendência é que predomine as cultivares de ciclo precoce devido aos seguintes fatores: maior probabilidade de períodos de chuvas curtos e irregulares, possibilidade de mecanização da lavoura, maior economia de água com a irrigação da lavoura e possibilidade de utilização em cultivo em safrinha. Quanto ao porte, que representa o comprimento e comportamento dos ramos laterais em relação ao ramo principal, as cultivares podem ser: prostado, semiprostrado, ereto ou semiereto (Embrapa, 2021).

2.4 Cultivar BRS Inhuma

Com o avanço do melhoramento genético, novas cultivares de feijão-caupi tem sido lançadas pelas Embrapa Meio-Norte, dentre elas, a cultivar BRS Inhuma. As plantas dessa cultivar possuem como características particulares: o porte semiereto ou semiprostrado, vai deperder da textura do solo, fator que facilita uma colheita mecanizada, e um ciclo médio de 60 dias. A BRS Inhuma apresenta uma floração na cor branca/amarela, os grãos também são na cor branca e tem um hábito de crescimento indeterminado. Quanto à exigência em fertilidade do solo, a cultivar responde muito bem a adubação química e, em relação à exigência hídrica, responde positivamente a aplicação de água por irrigação.

Segundo Silva (2021), a cultivar BRS Inhuma apresenta uma massa seca de 32,6 g/planta, a massa de 100 grãos em média é de 25,8 g. Em cultivo solteiro e sob irrigação, a produtividade de grãos pode alcançar cerca de 2.086,3 kg/ha. A elevada produtividade da cultura, pode ser explicada devido sua eficiência em absorver nutrientes do solo e sua alta capacidade do sistema fotossintético. Assim, ocorre uma maior produção e translocação de fotoassimilados pela planta, proporcionando uma boa resposta na produção de grãos (SILVA, 2021).

2.5 Exigências climáticas e manejo da irrigação do feijão-caupi

O feijão-caupi exige precipitação pluviométrica média de 300 mm durante seu ciclo de cultivo. Como a precipitação pluviométrica é muito irregular e variável, considera-se que em regiões onde as chuvas variam de 250 a 500 mm, o feijão-caupi pode ser cultivado em regime de sequeiro com baixo risco climático (ANDRADE JÚNIOR et al., 2018), com um regime de chuvas bem distribuído.

A ausência de água próximo ao florescimento da planta pode reduzir a produção, caso essa ausência ocorra próximo do florescimento até o enchimento de grãos, a redução pode ser de até 80% na produção de grãos (Embrapa, 2021), o tempo de estresse é importante em todas as fases de crescimento e desenvolvimento da cultura. Durante o período chuvoso aumenta a incidência de fungos, que afetam a qualidade dos grãos. Por isso, é de extrema importância escolher a época certa para a semeadura, de modo a não ocorrer precipitação pluviométrica durante a colheita (Embrapa, 2021), para a agricultura de sequeiro.

As mais variadas cultivares de feijão-caupi mostram um consumo de água entre 300 e 450 mm durante todo o ciclo de cultivo. A demanda hídrica diária varia de acordo

com os estágios fenológicos da planta. Assim, na fase inicial, o consumo é de 3,0 a 4,0 mm dia^{-1} durante o crescimento pleno, florescimento e frutificação é de 5,0 a 6,5 mm/dia e no final do ciclo esse consumo diminui, passando a ser 3,0 a 3,5 mm/dia.

A faixa de temperaturas entre 18 e 34°C é a ideal para o bom desenvolvimento do feijão-caupi. Baixas temperaturas (<18°C) deixam o ciclo da cultura mais longo e retardam o aparecimento das flores, enquanto temperaturas mais elevadas (>34°C) provocam o abortamento floral e como consequência diminui a produção de vagens e grãos. O fotoperíodo, quantidade de horas de luz que a planta precisa para florescer, tem forte influência no feijão-caupi, plantas que são sensíveis ao fotoperíodo, plantas de dias curtos, apresentam um florescimento mais demorado (Embrapa, 2021).

Quando a cultura é exposta a ventos constantes, a planta tende a consumir mais água, tornando-a sensível aos períodos de seca e comprometendo a produtividade de grãos. A radiação solar é um fator primordial durante o ciclo dessa cultura, pois ela atua diretamente da fotossíntese. As plantas de feijão-caupi são extremamente aptas na captação dessa luz solar, porque as suas folhas são desprovidas e pelos e apresentam a cor verde-escura (Embrapa, 2021) e são plantas C3.

2.6 Evapotranspiração do feijão-caupi

Segundo Sousa et al. (2015), para a cultura do feijão-caupi expressar seu potencial produtivo é necessário o conhecimento em ETc e Kc da cultura, isso contribui para um melhor crescimento da cultura, além da eficiência do uso da água. Andrade Júnior et al., (2018) determinou a evapotranspiração do feijão-caupi em Teresina-PI, Sousa et al., (2015), realizou o estudo em Petrolina-PE, Silva et al., (2016) em Apodi-RN.

Nesse contexto, diferentes métodos são utilizados para determinar a evapotranspiração em diferentes culturas, dentre eles a lisimetria, um método acessível para a cultura do feijão-caupi e assim, resulta em indicadores para serem usados na irrigação.

2.7 Coeficiente da cultura (Kc)

O coeficiente da cultura (Kc) é a relação entre a evapotranspiração máxima da cultura (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo), ou seja, Kc = ETc / ETo. (ALBUQUERQUE et al., 2021). O Kc varia no conforme o estádio de desenvolvimento de cada cultura, para o regime irrigado e regime sequeiro, já que as plantas alteram

sua área foliar, altura, cobertura do solo, resistência do dossel e coeficiente de reflexão de acordo com o seu estádio de desenvolvimento (GOMIDE, 2021). Andrade Junior et al., (2018), Bastos et al., (2017), Bastos et al., (2008) e Silva et al., (2016) determinaram o Kc do feijão-caupi em diferentes locais do nordeste brasileiro.

Os valores de Kc são de extrema importância para o dimensionamento da demanda hídrica da cultura no manejo da irrigação e/ou no zoneamento climático da cultura. As alterações edafoclimáticas que ocorrem durante o ano alteram os valores do Kc, uma vez que as plantas passam a absorver água em quantidades diferentes; portanto, um ajuste diário do Kc da cultura é indispensável para o manejo racional da irrigação (ALBUQUERQUE et al., 2021).

2.8 Métodos de determinação da evapotranspiração

A ET pode ser determinada por métodos diretos e indiretos. O método tradicional de medida direta da ET é a lisimetria, que pode ser de pesagem, drenagem ou lençol freático constante. Dentre os métodos indiretos destacam-se o balanço hídrico, as correlações turbulentas, a razão de Bowen e o mais recente por meio de sensoriamento remoto utilizando imagens de satélite ou drones (SALES et al., 2017). Medições diretas apresentam um alto custo, equipamentos caros e exige muita mão-de-obra especializada, o que os tornam inviáveis para utilização pelos produtores. Assim, a ET pode ser estimada por meio de equações empíricas (CARVALHO et al., 2011), facilitando sua aplicação para o manejo da irrigação, devido a maior viabilidade, facilidade e menor custo (ALMEIDA,2023).

Penman-Monteith (1948) desenvolveu método indireto para estimativa da ETo, considerado como o método padrão da FAO (Allen et al., 1998). O método de Penman-Monteith (PM) apresenta elevada correlação com a lisimetria, sendo utilizado como método de calibração para os outros métodos indiretos. O método de PM usa muitas variáveis climatológicas, dentre elas, a radiação solar, temperatura e umidade do ar e velocidade do vento.

2.9 Lisimetria

De forma simplificada, os lisímetros são caixas, tanques ou recipientes preenchidos com solo, que permitem compreender de forma detalhada alguns termos do balanço hídrico do volume da amostra de solo (WU, 2023). Esse equipamento pode ser usado para mensurar a evaporação do solo ou a evapotranspiração do complexo

solo-planta. Os lisímetros são construídos de maneiras diferentes, pois cada um atende as exigências das culturas que se deseja pesquisar. Assim, precisam atender a requisitos específicos, tais como a profundidade, a área, o tipo de solo, o clima, a tecnologia empregada para medição, bem como a disponibilidade financeira e de mão de obra que influenciam na estrutura do equipamento (WU, 2023).

As características gerais desse equipamento são: o tipo de solo, a forma de mesurar a quantidade de água no solo, o tamanho do lisímetro e a drenagem do solo. Entre os tipos de lisímetros existentes, dois são bastante utilizados, os lisímetros de pesagem e os lisímetros de drenagem. A principal diferença entre eles é a forma como a quantidade de água contida no solo é quantificada. Os lisímetros de pesagem determinam o teor de água por meio do balanço de massa, já os de drenagem usam o método do balanço hídrico e exigem equipamentos para medir o conteúdo de água no solo tais como tensiômetros, sonda de moderação de nêutrons ou reflectometria do domínio do tempo (TDR), quando deseja-se obter valores de ET em tempo real (WU, 2023).

Com os lisímetros de pesagem a evapotranspiração é determinada de maneira direta através do balanço de massa. Esses equipamentos podem ser utilizados para medir a ET diretamente, bem como para aferir modelos empíricos de estimativa da ET (WU, 2023). Dependendo da precisão da tecnologia da medição utilizada (faixa de operação das células de carga) permitem a determinação da evapotranspiração em diferentes intervalos de tempo, desde a escala horaria até valores diários. Suas principais vantagens são a alta resolução em tempo real, medição de maneira direta, possibilidade de automatização, validação mecânica da calibração e facilidade de averiguação (WU, 2023).

A forma do lisímetro é um ponto importante para ser considerado. Lisímetros circulares são mais resistentes que os de formato retangulares; porém, a forma pode influenciar na semeadura da cultura, principalmente no plantio em faixas e de forma espaçada. Lisímetros que não possuem uma amostragem fiel da cultura em campo, com a superfície interna sem plantas, interfere no valor da evapotranspiração. Quando a cultura que se deseja estudar são culturas de plantio homogêneo, que cobrem totalmente a superfície do solo, tais como as gramíneas, por exemplo, o formato do lisímetro não altera os valores de evapotranspiração (WU, 2023).

A área desses equipamentos deve abranger uma amostra relevante da cultura em campo e ter um tamanho suficiente para reduzir os impactos causados pela parede do tanque. A maneira como a água se comporta no solo do interior do lisímetro, a condutividade hidráulica, é alterada devido suas bordas e altera os valores de evapotranspiração. Outro fator a ser levado em questão é o dossel das plantas que estão na área interna do lisímetro, as folhas das plantas não podem ultrapassar os limites do lisímetro, porque altera a aferição da evapotranspiração e ocorre o chamado “efeito buquê” (WU, 2023).

Para reduzir o “efeito buquê” é recomendado que a área útil do lisímetro seja usada deixando como limite entre a área externa e interna a metade do espaçamento da cultura. A profundidade da caixa de solo do lisímetro deve ser compatível com o sistema radicular da cultura que será utilizada, para proporcionar um desenvolvimento radicular normal para a planta. É de extrema importância conservar as características de solo dispostas em campo, disponde um monólito de solo e caso não se possível, o preenchimento da caixa de solo deve ser feito de maneira minuciosa, almejando construir um perfil de solo mais semelhante possível ao natural (WU, 2023).

Os lisímetros devem ser construídos com paredes de material com baixa capacidade de condução térmica, evitando o fluxo de calor e devem ter um espaçamento ideal para evitar o contato entre as paredes internas e externas (WU, 2023). Como eles são equipamentos de pesagem, caso haja contato entre as duas paredes, os valores de evapotranspiração para a ser alterado. Para essa massa ser obtida, balanças com células de cargas são conectadas neles, possibilitando uma maior precisão. Dessa maneira, é possível acompanhar a evapotranspiração em curtos intervalos, em função do potencial de água no solo, da incidência de energia e em qualquer momento do dia (MONTANHA, 2022).

2.10 Manejo de irrigação baseado na evapotranspiração

O manejo da irrigação é de extrema importância para a agricultura, já que permite a aplicação de água para as culturas no momento certo e em quantidade corretas baseadas na exigência hídrica de cada cultura. A exigência hídrica de cada cultura é alterada com seu estágio fenológico, assim, a irrigação não pode ter um valor fixo e sim variável. O excesso hídrico causa danos às culturas, porque satura o solo, dificultando a aeração e proporcionando maior evaporação e salinização, em algumas

situações especificas. Além disso, pode lixiviar os nutrientes e favorecer microclima favorável para o desenvolvimento de pragas e doenças. Por outro lado, a deficiência hídrica reduz o crescimento das plantas e sua produtividade final (SILVA, 2020).

Os principais objetivos das técnicas para o manejo da irrigação dizem respeito as melhorias da qualidade do solo e aumento da produtividade, diminuindo assim os gastos com energia elétrica e outorga de água, minimizando os ambientes favoráveis para o aparecimento de pragas e doenças. Nesse contexto, o produtor pode ter duas ou mais colheitas no mesmo ano, pode introduzir culturas com um maior valor de mercado e assim obtém uma maior lucratividade (SILVA, 2020).

As culturas irrigadas devem receber uma atenção especial quanto ao manejo da irrigação, disponibilizando a água sempre de acordo com a necessidade hídrica da planta. Não pode acontecer o excesso ou o déficit de água e a eficiência do seu uso deve sempre ser levado em consideração. A irrigação via solo deve ser sempre monitorada com a umidade de solo, onde as raízes das plantas estão se desenvolvendo e essa umidade pode ser verificada de forma direta ou indireta (SILVA, 2020).

Os sensores de umidade do solo (TDR e FDR) e tensiômetros são equipamentos que auxiliam no manejo da irrigação, pois ajudam a controlar o teor de água no solo. Os sensores possuem como base a preparação elétrica e os tensiômetros, levam em consideração a força atrativa existente entre a água e as partículas de solo, a tensão matricial do solo (SILVA, 2020).

2.11 Area foliar

A área foliar (AF) recebe forte influência da quantidade de nutrientes disponibilizados para a planta, da irrigação e do ataque de pragas e/ou doenças. Com a aferição da área foliar é possível alcançar outros índices, como o índice de área foliar (IAF), a razão área foliar/produção, a relação entre a área foliar e a superfície foliar exposta e a área foliar específica. Esses parâmetros são observados para analisar a modelagem e crescimento da planta, além de auxiliar nos tratos culturais das plantas (PINHEIRO, 2020).

As diversas maneiras de determinar a AF são divididas em diretas e indiretas ou em métodos destrutivos ou não destrutivos. As maneiras diretas, mesmo sendo mais

minuciosas, precisam de medidas realizas diretamente nas folhas e resultam na destruição da planta. As maneiras indiretas possuem uma maior agilidade na aferição, podem ser medidas diversas vezes e apresentam bons resultados quando os equipamentos estão corretamente calibrados (PINHEIRO, 2020).

Vários métodos indiretos não destroem a planta e são bastante utilizados. Esses métodos fazem o uso de um arranjo de aferições e modelos matemáticos ou analisam digitalmente as fotografias; mas, apesar da agilidade e facilidade desses métodos, eles estão susceptíveis a erros quando não estão calibrados. Uma maneira simples e indireta de estimar a AF é o método das dimensões, um método não destrutivo, exato, determina a AF através da relação ente o comprimento e a largura do limbo foliar, ponderada por um fator de forma (f). Com esse método é possível obter as medições em campo, sem provocar injúrias às plantas, de forma ágil e o f de simples alcance (PINHEIRO, 2020).

O método da imagem digital por scanner e por fotografia são maneiras diretas de adquirir o AF, são vistos como métodos satisfatórios; porém, necessitam da destruição da planta e/ou exigem instrumentos e softwares de elevado valor. Mas existem alternativas gratuitas que tornam o método da imagem digital por scanner acessível, o software ImageJ. As estratégias planimétricas, são simples; entretanto, são destrutivas e lentas, principalmente quando as folhas apresentam irregularidade nas bordas. A determinação do método varia de acordo com o objetivo do trabalho, o grau de precisão que se almeja, o tamanho das amostras, a morfologia das folhas, a disponibilidade de equipamento, o custo e o tempo para a realização das atividades de medição (PINHEIRO, 2020).

2.12 Biomassa seca da parte aérea

A massa da matéria seca ou biomassa seca da parte aérea é usada de preferência relacionando com a massa fresca, já que a quantidade de água varia muito a partir da retirada da planta do campo, conforme principalmente as condições de umidade relativa do ar, desde o campo até o lugar da pesagem. O material colhido em campo deve ser separado de acordo com as funções que exerce na planta ou em regiões morfológicas como caule, pecíolo, folhas, flores e frutos (BENINCASA,1988).

Esse processo de separação das partes das plantas deve ser o mais ágil possível e antes de colocar o material para secagem deve ser realizada algumas aferições: comprimento, largura, diâmetro e número de folhas, flores, sementes e entre outros. A pesagem do material seco deve ser feita com o material frio e mantido em dissecadores, para impossibilitar que esse material se hidrate novamente pelo vapor de água presente no ar (BENINCASA,1988).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área experimental

A pesquisa foi conduzida na área experimental da Embrapa Meio-Norte, situada no município de Teresina, Piauí (5°05'S, 42°29'W e 72 m de altitude). O campo experimental possui 1,2 ha, com a presença de seis lisímetros de pesagem, onde cada lisímetro possui 2,25m^2 de área superficial, 1,5 m de largura, 1,5 m de comprimento e 1m de profundidade. O estudo foi executado na área ocupada por apenas por três lisímetros (lisímetros 1, 2 e 3) (Figura 1). Os outros lisímetros (4, 5 e 6) foram ocupados por feijão-mungo (Figura 1). Cada lisímetro está posicionado sobre um complexo de alavancas redutoras, que estão conectadas a uma célula de carga eletrônica. Esse sistema automático coleta e armazena os dados, continuamente, permitindo o monitoramento preciso da evapotranspiração e do balanço hídrico das plantas.

Os lisímetros foram organizados em grupos de três, com cada grupo conectado a um sistema de coleta de dados centralizado, resultando em dois pontos distintos de coletas de dados da área experimental. Esta configuração permitiu a obtenção de medições redundantes, aumentando a confiabilidade dos dados coletados.

Figura 1. Área experimental com os lisímetros de pesagem.

3.2 Lisímetro de pesagem

Os lisímetros já estavam construídos na área experimental e passaram por um processo de reforma, devido ao logo período sem utilização. Foi necessário descartar o solo, esvaziar a caixa de fibra de vidro e preenchê-la novamente, esta foi ocupada

com o solo da lateral do lisímetro. Durante a escavação, o solo foi separado em camadas de 10 centímetros e realocados para dentro da caixa de fibra de vidro.

A primeira camada alocada na caixa de vidro foi a de brita, logo após, foi adicionada a manta de bidim, para a drenagem ocorrer de forma facilitada. Na sequência, as camadas de solo foram colocadas dentro dos lisímetros na ordem inversa da escavação, para manter as características semelhantes à do solo original. Posteriormente, os lisímetros passaram por um processo de calibração e foram cobertos por uma lona plástica para evitar perda de água e não gerar interferências.

O processo de calibração dos lisímetros se deu conforme a metodologia apresentada por Campeche (2002). De modo a simular uma lâmina de 80 mm, cujo somatório dos pesos das britas resultou em um valor equivalente a 180,02 kg numa superfície de 2,25m^2.

3.3 Caracterização do solo

O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico e com textura franco-arenosa (MELO et al., 2019). Para a caraterização química do solo, amostras foram coletadas antes do plantio do feijão. A área experimental foi dividida em duas seções, denominadas área 1 e área 2 e as amostras foram coletadas a cada 10 centímetros de profundidade dentro de cada lisímetro. A análise química da camada de 0 a 20 cm de profundidade foi utilizada como referência para a adubação. As análises foram realizadas no laboratório de solos da Embrapa Meio-Norte e os valores estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental

Profundidade (cm)	pH Água	pH $CaCl_2$	P (mg/dm³)	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Mat. Orgânica (dag/kg)	C. T. C. (cmolc/dm³)
				(cmolc/dm³)						
0-10	6,02	5,14	20,49	0,21	0,43	0,65	0,10	1,86	1,24	3,15
10-20	6,06	4,89	25,24	0,18	0,29	0,53	0,12	1,86	0,91	2,86
20-30	5,88	4,71	9,92	0,23	0,25	0,48	0,26	1,98	0,73	2,94
30-40	5,87	4,80	4,10	0,20	0,31	0,44	0,18	2,10	0,88	3,04
40-50	5,92	4,93	3,02	0,14	0,31	0,47	0,20	2,03	0,73	2,95

Para a análise granulométrica do solo, as amostras também foram coletadas antes do plantio, foi feito a análise das duas metades da área a cada dez centímetros de profundidade. As análises foram realizadas no laboratório de solo da Embrapa Meio-Norte, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Análise granulométrica do solo da área experimental

Profundidade (cm)	Granulometria (g/kg)			CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL - SBCS
	Total Areias	Argila	Silte	
0-10	820,5	100,8	78,7	Areia-franca
10-20	812,0	105,5	82,4	Areia-franca
20-30	772,0	13,78	90,2	Franco-arenosa
30-40	737,9	156,0	106,1	Franco-arenosa
40-50	686,2	188,4	125,5	Franco-arenosa

3.4 O clima

Segundo a classificação de Koeppen, o clima de Teresina-PI é do tipo Aw, tropical quente e úmido, com um período de chuvas no verão. Segundo a classificação de Thornthwaite & Mather (1995), é subúmido seco (ANDRADE JÚNIOR et al, 2004). Essas condições de solo e clima são propícias para o cultivo do feijão-caupi no estado do Piauí. Os dados climáticos durante o período do experimento, agosto a novembro de 2022, foram obtidas a partir de dados da estação meteorológica do INMET que fica localizada na área da Embrapa Meio-Norte e bem próxima da área do experimental dos lisímetros.

3.5 Cultura avaliada

O trabalho foi conduzido com a cultura do feijão-caupi cultivar BRS Inhuma, om um espaçamento de 0,5 m entre fileiras e 7,5 plantas m^{-1}, perfazendo uma população de 150 mil plantas h^{-1} (15 plantas m^{-2}). O plantio foi realizado dia 31/08/2022 e o replantio dia 05/09/2022.

Nas áreas que ficaram impossibilitadas do trator passar, como por exemplo, dentro dos lisímetros, o plantio e a adubação foram feitos de forma manual e foi adotado o método do plantio direto. A adubação utilizada para a cultura foi 40 kg de

P_2O_5 ha^{-1}, 40kg de K_2O ha^{-1} e 196kg da mistura de 150kg de super triplo mais 100kg de cloreto de potássio.

3.6 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação foi realizado por meio de um sistema de aspersão, com o objetivo de manter a água disponível próxima a capacidade de campo, evitando que as plantas de feijão-caupi sofressem deficiência hídrica. Para monitorar a uniformidade da irrigação e a lâmina de água aplicada foram distribuídos 16 copos coletores na área experimental (Figura 2). Esses coletores foram posicionados com espaçamento de três metros entre si, localizados entre quatro aspersores centrais na área. A disposição estratégica dos aspersores permitiu a avaliação precisa da distribuição de água, assegurando que todas as plantas recebessem a quantidade adequada de irrigação. Além disso, os dados coletados foram utilizados para ajustar e otimizar o sistema de irrigação ao longo do ciclo da cultura.

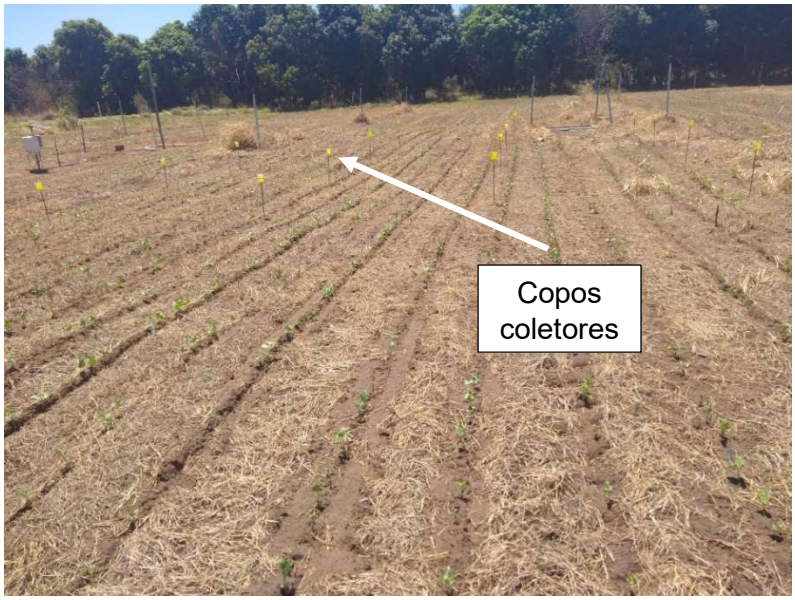

Figura 2. Distribuição dos copos coletores na área experimental

3.7 Monitoramento do conteúdo de água no solo

O monitoramento do conteúdo de água no interior dos lisímetros foi efetuado por meio de sonda FDR, com comprimento de 0,3 m (Figura 4), cujas leituras na frequência horária foram armazenadas em um datalogger. Para acompanhar a variação do conteúdo de água no solo (% em volume) na área de bordadura, foram colocados tubos de PVC com 1,0 m de profundidade, posicionados entre as fileiras

centrais. Empregou-se uma sonda de capacitância (FDR) do modelo Diviner 2000® da Sentek Pty Ltda, da Austrália. As medições ocorreram diariamente, sempre antes e cerca de 24 horas após as irrigações. O teor de água no solo em cada uma das camadas (0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 m) foi determinado pela média dos valores de umidade registrados ao longo do ciclo do feijão-caupi.

3.8 Índice de cobertura foliar da cultura

Para acompanhar o índice de cobertura foliar foi utilizado o equipamento ceptômetro LP-80 em campo, de forma não destrutiva (Figura 3A), no interior dos lisímetros e área de bordadura. Coletou-se também, na área de bordadura, de forma aleatória, plantas para determinação da área foliar em laboratório com o equipamento LAI-3000, que é um integralizador de área foliar (Figura 3B).

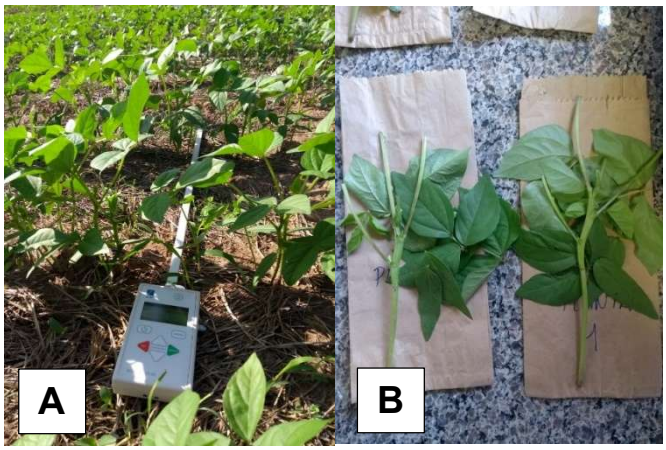

Figura 3. Ceptômetro em campo (A) e folhas no laboratório para serem passadas no espectrofotômetro (A)

3.9 Biomassa seca da parte aérea

Para a determinação da biomassa seca da parte aérea, foi realizado a pesagem do material úmido e seco em todas as 8 coletas. Assim que o material chegava do campo era separado as folhas, caule, flores e vagens das plantas. Cada parte da planta era pesada e colocada na estufa de circulação de ar a 65ºC em temperatura constante, após a secagem o material era pesado novamente, estabelecendo uma diferença entre o peso do material úmido e seco. A biomassa foi feita apenas das plantas da bordadura para não interferir na massa dos lisímetros.

3.10 Evapotranspiração da cultura (ETc)

A evapotranspiração da cultura (ETc) foi mensurada a partir da perda de água no sistema, já que as informações dos lisímetros foram coletadas na escala diária. Dentro de cada lisímetro, o solo foi coberto com palhada, as plantas de feijão-caupi foram plantadas manualmente (Figura 4) e com o mesmo espaçamento das plantas de fora do lisímetro (bordadura), na tentativa de assemelhar o máximo possível o consumo de água da cultura dentro e fora dos lisímetros. Com as medidas diárias de ETc dos três lisímetros obteve-se a média diária de ETc do feijão-caupi ao longo do seu ciclo de desenvolvimento.

Figura 4. Plantas dentro do lisímetro no estádio inicial de desenvolvimento.

3.11 Coeficientes da cultura

Os estágios de desenvolvimento das plantas de feijão-caupi foram diferenciados de acordo com a variação do coeficiente de cultura, que teve como base a mudança de comportamento da planta. Os valores médios de ETc diária dos dados coletados dos lisímetros foram relacionados com a evapotranspiração de referência, obtendo-se assim o coeficiente de cultura (Kc) (equação 1). A ETo foi obtida a partir da estação meteorológica e o valor dessa relação é o coeficiente da cultura.

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad \text{..... (1)}$$

Modelos de regressão exponencial foram ajustados para os valores diários de Kc e IAF em função dos dias após a semeadura, conforme as equações 2 e 3 apresentadas a seguir. O software Table Curve foi utilizado para essa análise.

$y = a + 4bn/(1+n)^2$ ..... (2)

$n = exp(-(x-c)/d)$ ..... (3)

Onde: y: Kc ou IAF; x: dias após a semeadura

3.12 Produtividade de grãos e componentes de produção

A colheita do feijão-caupi foi realizada manualmente no dia 01/11/2022, aos 60 dias após a semeadura. Para estimar os componentes de produção e a produtividade de grãos, na área de bordadura, utilizou-se oito subáreas cada uma contendo duas fileiras de cinco metros de feijão-caupi. Mensurou-se os componentes de produção e a produtividade de grãos das plantas no interior dos lisímetros de pesagem. Os componentes de produção avaliados incluíram: número de plantas/m^2 (NPm^2), peso de cem grãos (PCG), número de vagens por planta (NVP), comprimento da vagem (CV), número de grãos por vagem (NGV) e peso do grão corrigido (PGC).

NPm^2: todas as plantas presentes em um metro quadrado foram coletadas

PCG: após uma contagem de 100 grãos, foi realizada a pesagem em gramas

NVP: contabilizou-se a quantidade de vagens por planta

CV: mediu-se o comprimento total de 10 vagens em centímetros

NGV: contagem do número de grãos presente em cada vagem

PGC: os grãos foram pesados após a correção do teor de umidade para 13%.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período do experimento, as altas temperaturas foram fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento do feijão-caupi. Respalda pesquisas que citam a amplitude de adaptação dessa cultura, com climas tropicais e subtropicais, produzindo em diferentes ambientes, em todas as regiões do Brasil e com destaque para as regiões Norte e Nordeste. Podendo ser cultivado em durante todo o ano, em diversos tipos de solo e faixa de temperatura entre 20 e 33ºC (MURGA-ORRILLO, 2015).

4.1 Dados climáticos

As médias são representadas por registros diários da temperatura do ar (Tmax – máxima, Tmed – média e Tmin – mínima, todas em ºC), umidade relativa do ar (UR em %), a velocidade do vento (em m s^{-1}) e a radiação solar (em MJ m^{-2}). A temperatura média (Figura 5A) variou entre 29,2 ºC e 29,9ºC, situando-se dentro da faixa ideal para o desenvolvimento do feijão-caupi. No entanto, a temperatura máxima alcançou 38,4ºC, sendo o dia mais quente registrado aos 40 dias após a semeadura (DAS), conforme ilustrado na Figura 5.

A temperatura ideal para o desenvolvimento do feijão-caupi deve estar entre 18 e 34ºC (BASTOS, 2021). Considerando a amplitude térmica observada, de 21,2ºC a 38,4ºC, verifica-se as temperaturas do ar frequentemente excederam o limite máximo recomendado de 34ºC para o feijão-caupi. Essa exposição a temperaturas elevadas pode explicar redução no rendimento de grãos observada porque afetou o metabolismo da planta e provocou o abortamento das flores.

Diante disso, percebeu-se que é necessária uma temperatura adequada na fase de germinação, para que ocorra o desenvolvimento e crescimento da cultura. A fase de germinação ocorreu em virtude de estar na temperatura mínima que é essencial para o crescimento do feijão-caupi. No experimento realizado não ocorreu abortamento floral, devido as temperaturas não estarem elevadas (>34ºC). Sendo assim, houve uma faixa de umidade favorecendo o desenvolvimento da planta.

A umidade relativa do ar (Figura 5B) teve uma máxima de 90,5% com 25 DAS e o menor registro em torno de 10% 42 DAS. A velocidade do vento (Figura 5C) ficou em média entre 0,94 m s^{-1} na fase inicial e 1,12 m s^{-1} na fase reprodutiva. Já a radiação

global alcançou uma média entre 16,5 MJ m^{-2} na maturação e 19,3 MJ m^{-2} na fase inicial.

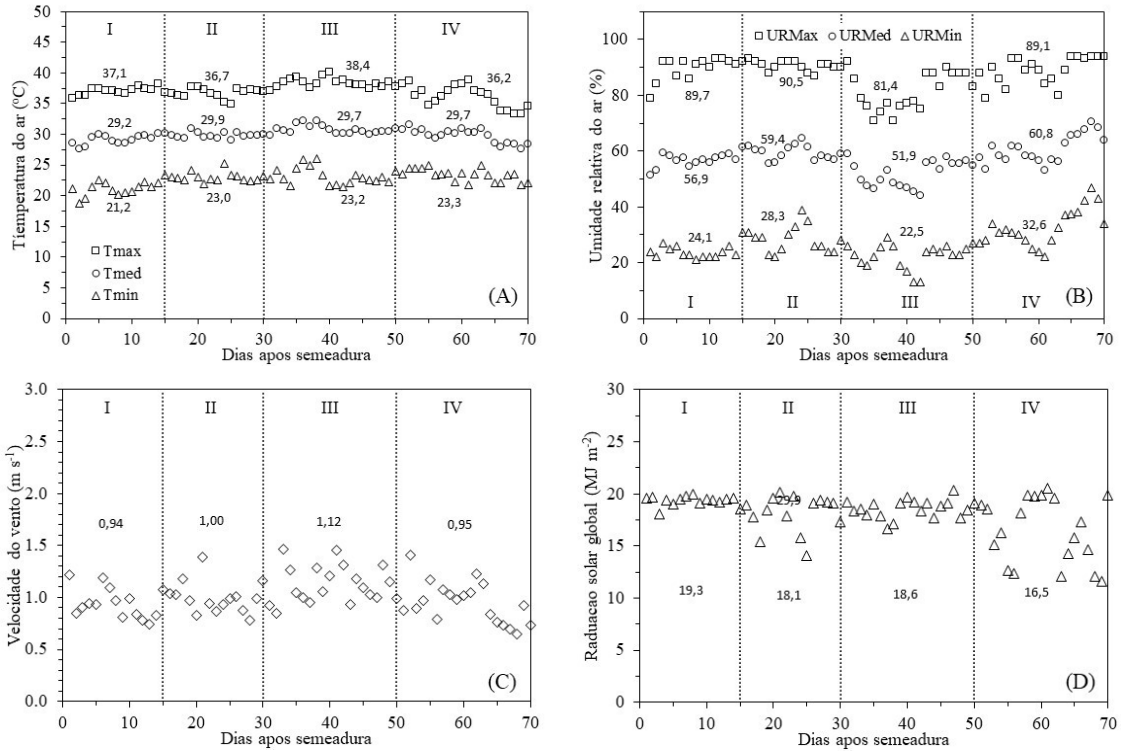

Figura 5. Temperatura do ar (ºC) (A), umidade relativa do ar (%) (B), velocidade do vento (m s^{-1}) (C) e radiação solar global (MJ $m^{-2)}$ (D) durante o ciclo de cultivo do feijão-caupi, cv. BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022. Fases: I – inicial, II – desenvolvimento vegetativo, III – reprodutiva e IV – maturação. Os valores nos gráficos correspondem as médias registradas em cada fase.

4.2 Biometria da cultivar BRS Inhuma

O crescimento das plantas depende dos seguintes aspectos morfológicos, tais como a biomassa seca das folhas, biomassa seca do caule, biomassa seca das flores e biomassa seca das vagens.

A biomassa seca das folhas está representada na Figura 6, apresenta um ponto menor aos 13 DAS, quando a planta ainda estava na fase inicial, segue aumentando junto com o crescimento da planta, chega no ponto máximo, com cerca de 250 g/m^2 aos 40 DAS. Após os 40 DAS, a planta tende a ir perdendo as suas folhas e assim diminui a biomassa.

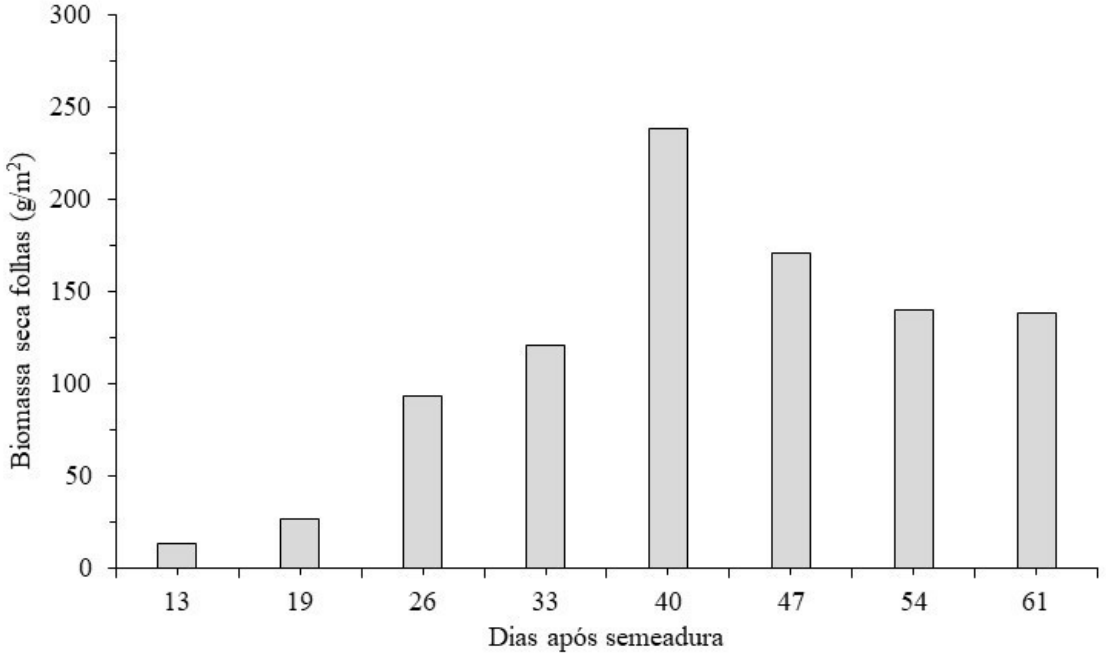

Figura 6. Biomassa seca das folhas de feijão-caupi, cv BRS-Inhuma. Teresina, PI, 2022.

Na Figura 7 tem a representação da biomassa seca do caule, que teve um aumento considerável entre 33 e 40 DAS, apresentando um valor máximo aos 47 DAS e logo após se mantando estável. A biomassa seca das flores, representada na Figura 8, apresenta valores apenas aos 40 e um valor bem menor aos 47 DAS, ou seja, somente na fase de floração das plantas.

A biomassa seca das de vagens das plantas está representada na Figura 9. Aos 47 DAS, as plantas já tinham vagens, apresentando um valor máximo aos 54 DAS e o quantidade de vagens já diminui aos 61 DAS. A biomassa seca total, a soma das folhas, caule, flores e vagens está representada na Figura 10, é possível notar o crescimento da planta até os 54 DAS e logo em seguida esse valor diminui, aos 61 DAS, porque a planta já chegou na maturidade fisiológica.

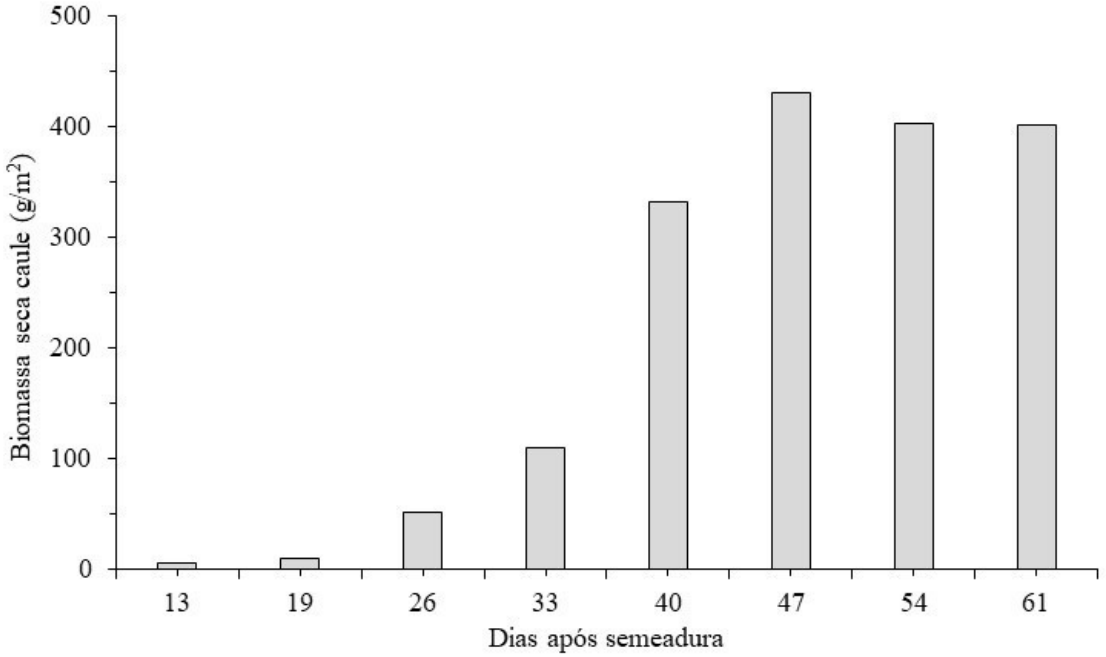

Figura 7. Biomassa seca do caule de feijão-caupi, cv BRS-Inhuma. Teresina, PI, 2022.

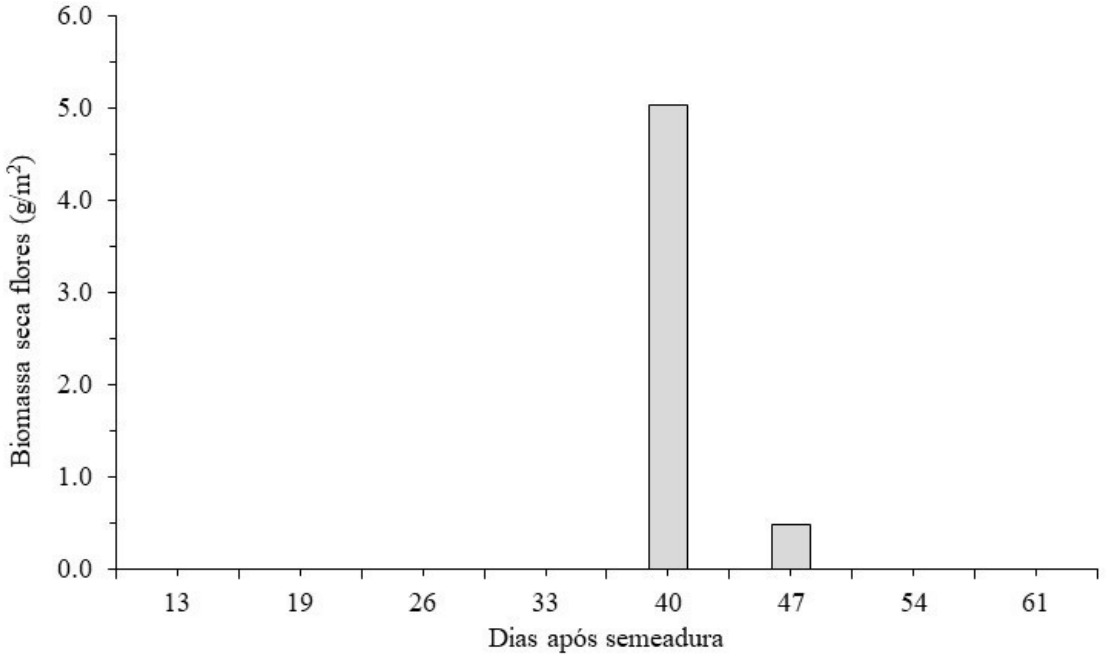

Figura 8. Biomassa seca das flores de feijão-caupi, cv BRS-Inhuma. Teresina, PI, 2022.

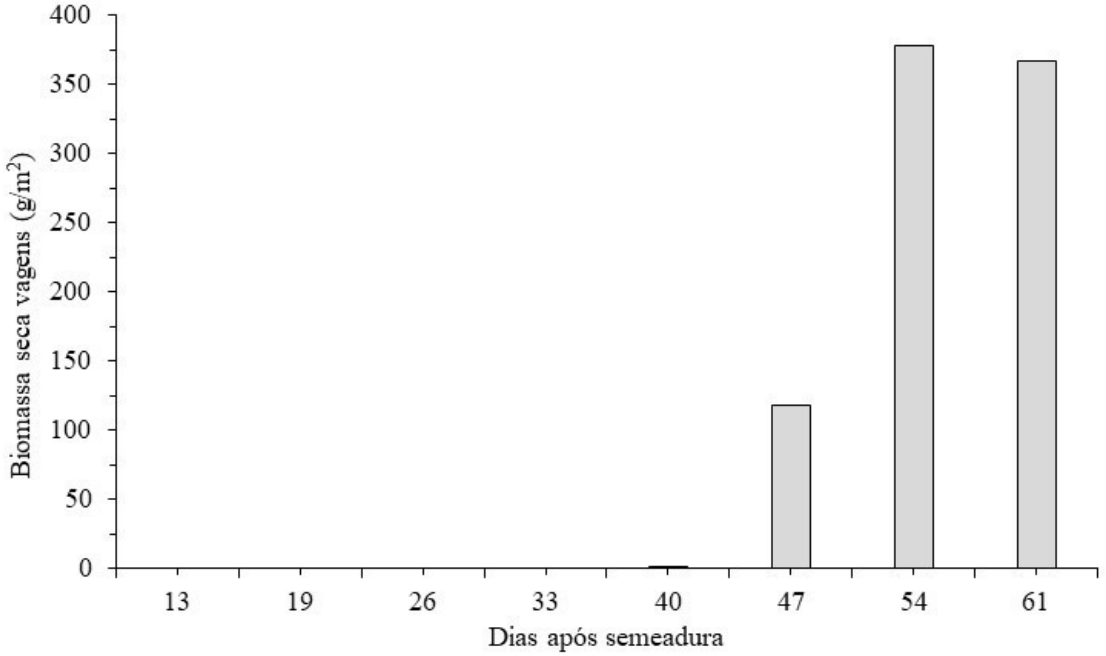

Figura 9. Biomassa seca das vagens de feijão-caupi, cv BRS-Inhuma. Teresina, PI, 2022.

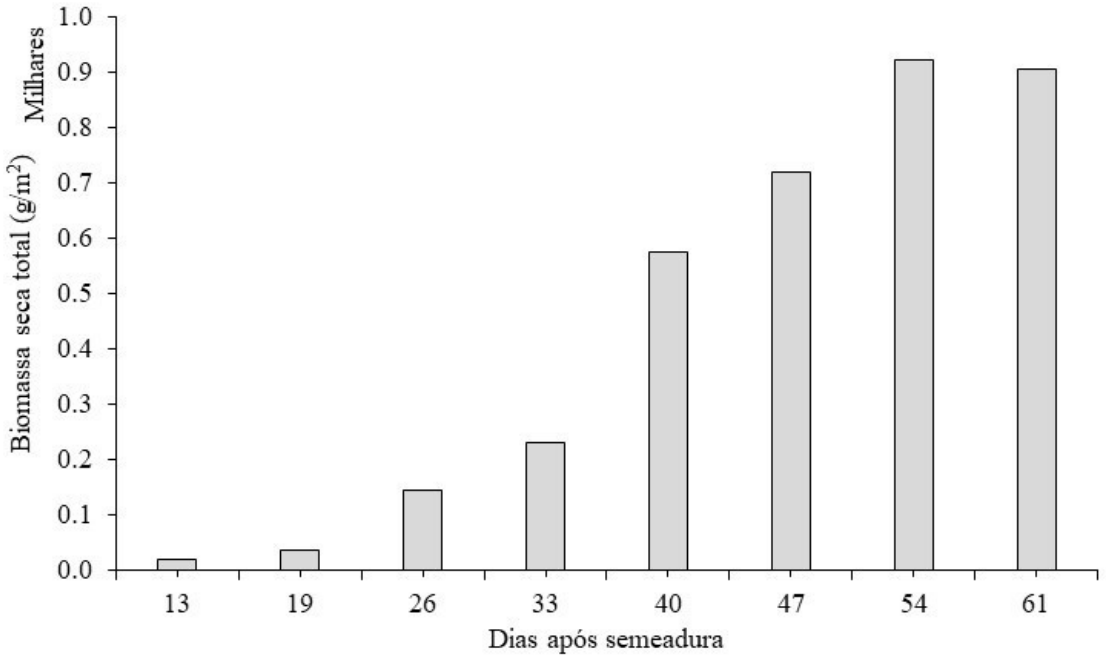

Figura 10. Biomassa seca total das plantas de feijão-caupi, cv BRS-Inhuma. Teresina, PI, 2022.

A Figura 11 representa uma partição da biomassa seca total das plantas de feijão-caupi ao longo do seu desenvolvimento, um comparativo entre o crescimento das folhas, caule e vagens. As folhas se mostram em maior proporção, porém tende a

diminuir logo aos 26 DAS, dando lugar para o aumento da biomassa do caule, que se mostra estável entre 40 e 47 DAS. As vagens aparecem aos 47 DAS e apresentam mais que o dobro aos 54 DAS e mantém uma estabilidade até os 61 DAS.

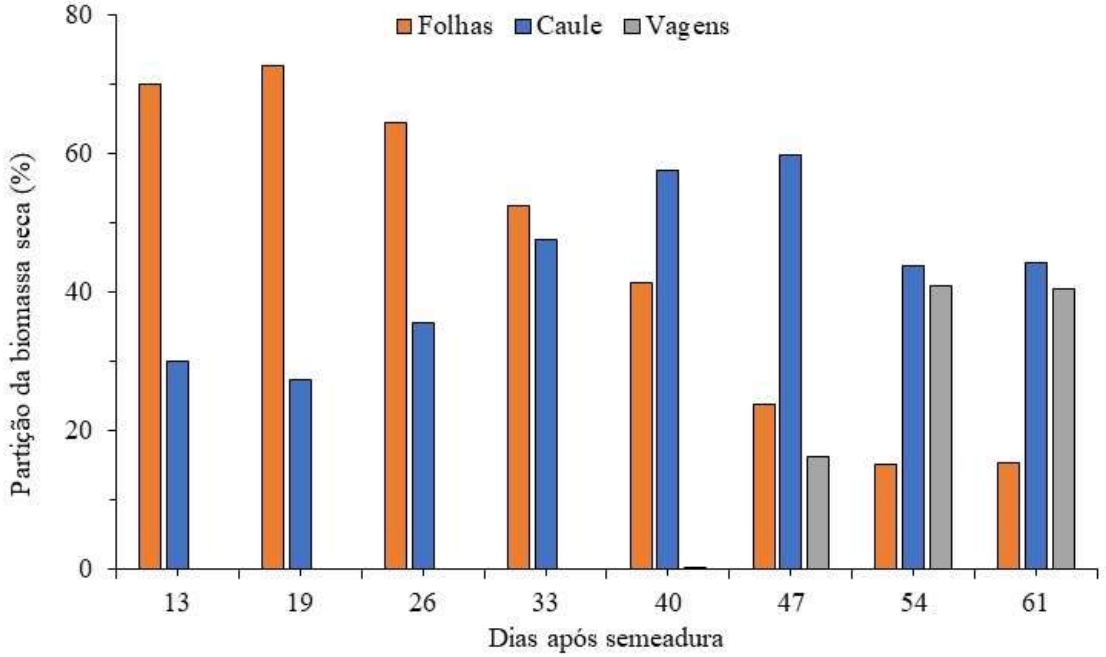

Figura11. Partição da biomassa seca total das plantas de feijão-caupi, cv BRS-Inhuma. Teresina, PI, 2022.

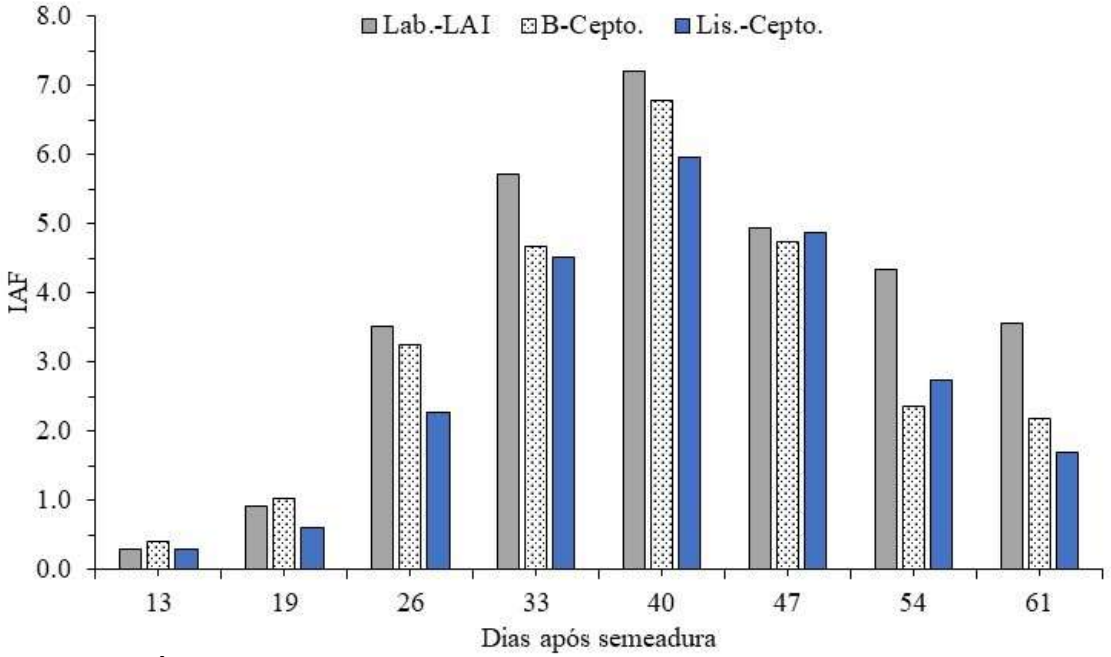

Figura 12. Índice de área foliar das plantas de feijão-caupi, cv BRS-Inhuma. Teresina, PI, 2022.

A Figura 12 mostra um comparativo entre a área foliar das plantas determinada no laboratório e as estimadas com o ceptômetro. Aos 13 DAS, as plantas se mostram com um valor de IAF bem próximo e logo foi se diferenciando, o IAF realizado em laboratório sempre mostra um valor mais elevado em relação ao ceptômetro, esse valor fica mais estável aos 47 DAS. As plantas de dentro dos lisímetros apresentam valores menores de área foliar, mais sempre próximo da área foliar das plantas da bordadura.

Na Tabela 3 apresenta a porcentagem das partes da planta em relação a biomassa total. Dia 19/09, aos 19 DAS, 72,2% das plantas eram constituídas de folhas, dia 17/10, aos 47 DAS, 59,8% das plantas eram constituídas de caule e dia 31/10, aos 61 DAS, 44,2% das plantas eram constituídas de vagens.

Tabela 3. Biomassa seca (g/m^2 e %) e Indice de área foliar (IAF)

Data	DAS	Biomassa seca (g/m^2)					Biomassa seca (%)			IAF		
		Folhas	Caule	Flores	Vagens	Total	Folhas	Caule	Vagens	Lab.	B-Cep.	Lis-Cep.
13/09/2022	13	4,03	1,73	0,00	0,00	5,76	70,0	30,0	0,0	0,29	0,40	0,30
19/09/2022	19	10,90	4,09	0,00	0,00	15,00	72,7	27,3	0,0	0,91	1,02	0,60
26/09/2022	26	43,12	23,80	0,00	0,00	66,92	64,4	35,6	0,0	3,51	3,25	2,27
03/10/2022	33	69,04	62,76	0,00	0,00	131,80	52,4	47,6	0,0	5,72	4,67	4,52
10/10/2022	40	115,72	160,88	2,44	0,52	279,56	41,4	57,5	0,2	7,20	6,79	5,95
17/10/2022	47	69,95	176,23	0,20	48,18	294,56	23,7	59,8	16,4	5,80	4,74	4,86
24/10/2022	54	51,28	147,32	0,00	138,16	336,76	15,2	43,7	41,0	4,35	2,37	2,74
31/10/2022	61	44,51	128,60	0,00	117,60	290,71	15,3	44,2	40,5	3,56	2,19	1,69

4.3 Disponibilidade de água

A disponibilidade de água para a cultura é representada na Figura 13, na qual é apresentada o valor total de água, irrigação e precipitação, que a planta recebeu em cada fase. Na fase inicial, o feijão-caupi recebeu uma lâmina de 21,5mm, houve registro de uma precipitação, na fase de desenvolvimento vegetativo, a lâmina foi de 73,7 mm, com o registro de duas precipitações. Na fase reprodutiva a cultura recebeu a maior lâmina, um total de 105,1 mm, sem ocorrência de precipitação, na maturação a lâmina foi de 73,6 mm, apenas de precipitação, sem irrigação. Durante todo o ciclo do feijão-caupi, ele recebeu um total de 79,2 mm de precipitação e 194,7 mm de irrigação.

Segundo Bastos et al. (2017), pode ocorrer uma variação de consumo hídrico do feijão-caupi entre 250 mm e 400 mm por ciclo. Logo, no presente trabalho foi fornecido água o suficiente para o desenvolvimento da cultura.

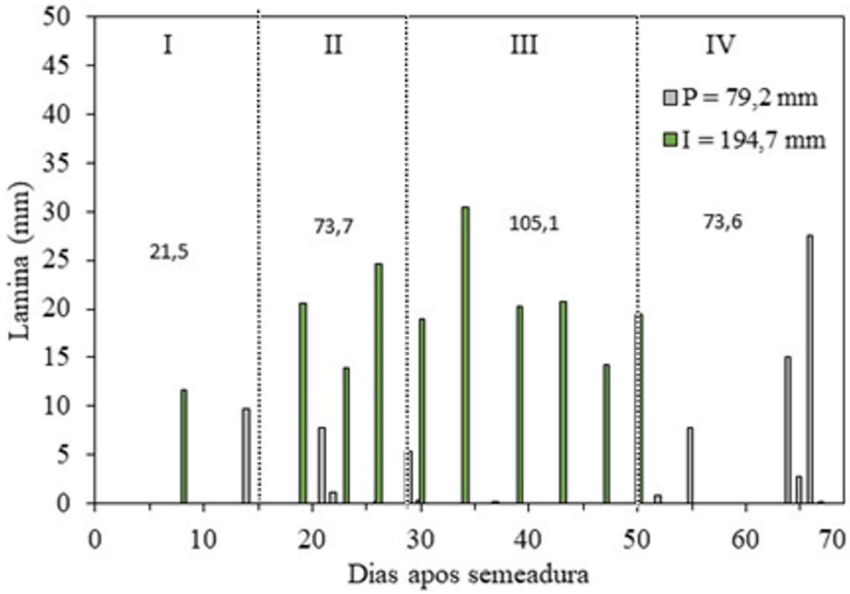

Figura 13. Lâminas de irrigação (mm) e precipitação (mm) durante o ciclo de cultivo do feijão-caupi, cv. BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022. Fases: I – inicial, II – desenvolvimento vegetativo, III – reprodutiva e IV – maturação. Os valores no gráfico correspondem a lâmina total aplicada em cada fase (P + I).

O conteúdo de água do solo e a disponibilidade de água estão representados na Figura 14. A água no solo sempre ficou disponível para a planta, abaixo da capacidade de campo e acima umidade crítica, ou seja, na capacidade real de água no solo, indicando que a cultura não sofreu estresse hídrico (ANDRADE JÚNIOR et al., 2018). Isso para a planta absorver a quantidade de água necessária para completar seu ciclo e assim obter resultados reais de Kc.

4.4 Evapotranspiração de referência (ETo), evapotranspiração da cultura (ETc) e coeficientes da cultura (Kc)

A Figura 15 apresenta os valores da evapotranspiração de referência e a evapotranspiração da cultura ao longo do ciclo do feijão-caupi. Na fase inicial e no desenvolvimento vegetativo a ETc foi inferior a ETo. Na fase reprodutiva, com um aumento da área foliar, surgimento dos órgãos reprodutivos (SOUZA et al., 2015), fase que a planta precisa absorver mais água para a formação de flores, vagens e enchimento dos grãos, a ETc foi maior que a ETo, assemelhando-se aos resultados

de Bastos et al, (2008). O consumo hídrico do feijão-caupi cresce desde um valor mínimo na germinação até um valor máximo para a floração e formação de vagens, reduzindo no início da maturação, como mostra na Figura 15.

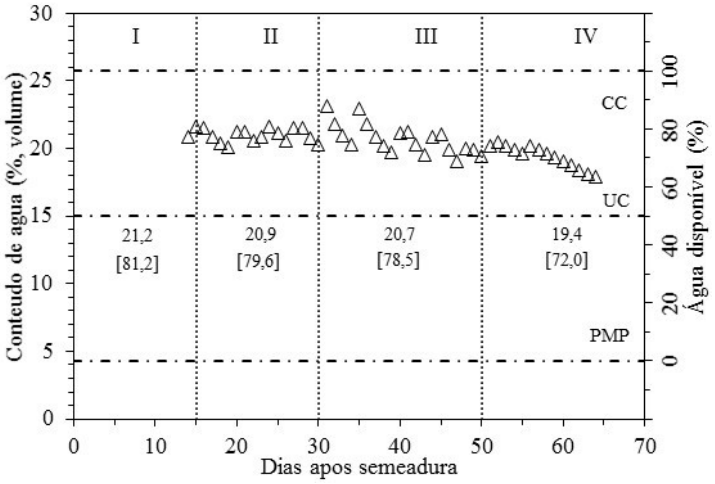

Figura 14. Conteúdo (Ɵ, %) e disponibilidade de água no solo (AD, %) no interior dos lisímetros de pesagem, na camada de 0-0,3 m, durante o ciclo de cultivo do feijão-caupi, cv. BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022. Fases: I – inicial, II – desenvolvimento vegetativo, III – reprodutiva e IV – maturação. Os valores no gráfico correspondem ao conteúdo e disponibilidade de água média no solo em cada fase (entre colchetes).

Aos 49 DAS até a colheita observa-se uma queda nos valores de evapotranspiração, devido à senescência da cultura e a diminuição da evaporação do solo ocasionada pela suspensão da irrigação (BASTOS et al., 2008). Durante todo o ciclo da cultivar BRS Inhuma, a ETc foi de 253,1 mm e a ETo foi de 342,5 mm. A ETc média diária ficou em torno de 2,7; 3,7; 5,6 e 2,3 mm, nas fases I, II, III e IV, respectivamente (Tabela 4).

O feijão-caupi alcançou valores maiores que 6mm na fase reprodutiva e valores menores que 3mm na fase inicial e na maturação, dificilmente o consumo de água por dia passa de 3 mm na fase inicial (BASTOS et al., 2017), com uma média diária de 2,34 mm dia^{-1}. Murga-Orrillo et al. (2016), realizaram uma pesquisa com feijão-caupi, cultivar BRS Novaera, em solo de cerrado, com e sem cobertura morta e encontrou valores de ETc superiores ao do presente trabalho, com médias entre 3,9 mm e 4,5 mm d^{-1}, em um ciclo de 88 dias. Em sistemas solteiros e consorciados foram encontrados valores de evapotranspiração para o feijão-caupi cultivar BRS pujante de 4,23 mm d^{-1} e 5,35 mm d^{-1} respectivamente, num ciclo de 70 dias (SOUZA et al., 2015).

Ciclos diferentes de feijão-caupi ocorrem devido a diferentes cultivares, a influência de elementos climáticos em regiões diferentes e principalmente a temperatura do ar (MURGA-ORRILLO et al. 2016). A cultivar BRS Itaim, de ciclo determinado e porte ereto, sob preparo convencional do solo, apresentou um valor de ETc de 130,8 mm, num período de 11 a 57 DAS, um período de demanda atmosférica baixa em Teresina-PI, o que contribuiu para a baixa exigência hídrica da cultura (ANDRADE JÚNIOR et al., 2018). Em um ensaio desenvolvido na Chapada do Apodi-RN a ETc foi de 400,31mm, para a cultivar Potiguar, em um ciclo de 78 dias (SILVA et al., 2016).

Na Amazônia Oriental, o consumo hídrico foi feijão-caupi foi de 246,98mm, 248,89mm e 306,98mm, em 2013,2014 e 2015, respectivamente (FARIAS et al., 2017). A literatura relata que a exigência hídrica do feijão-caupi é numa faixa entre 250mm e 300mm, ocorre uma variação de acordo com a época do ano, a cultivar, o manejo da água e o sistema de cultivo (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002).

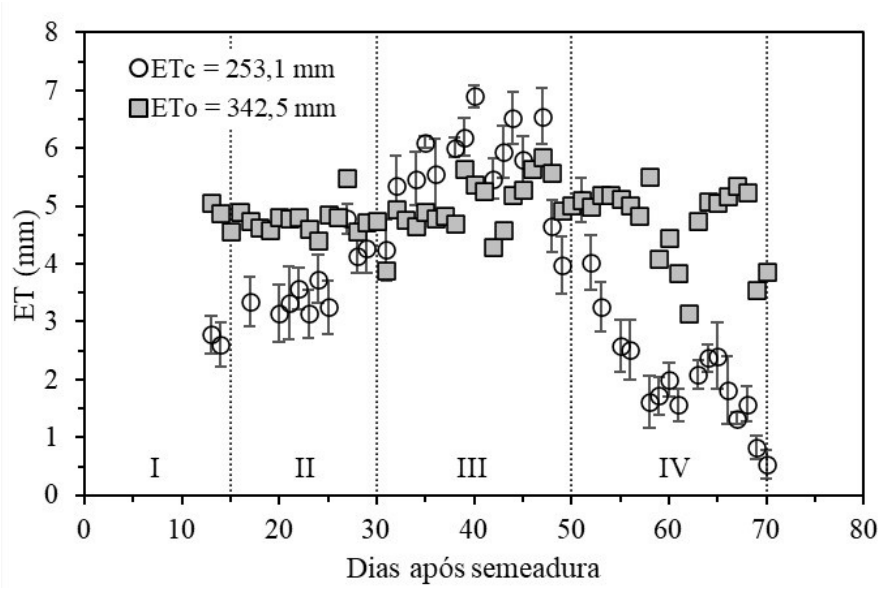

Figura 15. Evapotranspiração de referência (ETo) e da cultura (ETc) durante o ciclo de cultivo do feijão-caupi, cv BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022. Fases: I – inicial, II – desenvolvimento vegetativo, III – reprodutiva e IV – maturação.

A Tabela 4 apresenta de forma detalhada a evapotranspiração do feijão-caupi (ETc), e de referência (ETo) os coeficientes de cultura (Kc) em cada estágio fenológico da cultura e uma com outros resultados já existentes na literatura. Em todas as fases do feijão-caupi o valor de Kc se assemelhou a resultados encontrados por Allen et al. (1998), Bastos et al. (2008) e Murga-Orrillo et al. (2016). Bastos et al., (2008),

desenvolveu a pesquisa em Alvorada do Gurguéia-PI, utilizando lisímetros e a cultivar BR-17 Gurguéia, de porte semiprostrado ou prostrado, o feijão-caupi apresentou uma ETc de 288,5 mm, um valor médio de 4,1mm dia^{-1}, valores superiores ao do presente trabalho. Na fase IV, maturação da cultura, ocorre alterações morfológicas, como o amarelecimento e senescência das folhas, provocando uma diminuição nos valores de Kc (SOUZA et al., 2015) para 0,35.

Os valores de Kc são diretamente influenciados pela demanda evaporativa do local, pela disponibilidade de água no solo e pelo desenvolvimento da cultura (SILVA et al., 2016). Silva et al (2016) encontrou valores de Kc de 0,89; 0,96; 0,94 e 0,92 para a cultivar potiguar, sob as condições edafoclimáticas da Chapada do Apodi- RN, nas fases I, II, III e IV, respectivamente. A cultivar BRS Guariba, num ciclo de 90 dias, apresentou um valor mínimo de Kc de 0,40 e máximo de 1,30, nas condições edafoclimáticas de Dourados, MS (FIETZ et al., 2015), valores esses que se assemelham aos valores do presente trabalho.

Tabela 4. Evapotranspiração de referência (ETo), da cultura (ETc) e coeficiente de cultura (Kc), em períodos de cinco dias, durante o ciclo de cultivo do feijão-caupi, cv BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022.

Fases	Duração (DAS)	Períodos (DAS)	ETc (mm)	ETo (mm)	Kc	Kc FAO[1]	Kc Bastos[2]	Kc Murga-Orrillo[3]
I	S - 15	S - 15	2,7	5,0	0,54	0,4	0,8	0,3
II	16 - 30	16 - 20	3,2	4,8	0,68	0,4 - 1,15	0,8 - 1,1	0,73
		21 - 25	3,4	4,7	0,73			
		26 - 30	4,4	4,9	0,89			
III	31 - 50	31 - 35	5,3	4,6	1,15	1,15	1,1 - 1,4	1,46
		36 - 40	6,2	5,1	1,20			
		41- 45	5,9	4,8	1,23			
		46 - 50	5,1	5,5	0,93			
IV	51 - 70	51 - 55	3,7	5,1	0,73	0,35	1,4 - 0,3	0,56
		56 - 60	2,0	4,8	0,41			
		61 - 65	2,1	4,7	0,45			
		66 - 70	1,2	4,6	0,26			
Ciclo	**70**	**S - 70**	**253,1**	**342,5**	***	***	***	***

Fases: I – inicial, II – desenvolvimento vegetativo, III – reprodutiva e IV – maturação. 1 – Allen et al. (1998) (feijão seco e pulses), 2 – Bastos et al. (2008) (feijão-caupi, cv. BR 17 Gurgueia), 3 – Murga-Orrillo et al. (2016) (feijão-caupi, cv Novaera, com uso de cobertura morta no solo).

Os valores de Kc apresentam uma variação diária durante todo o ciclo da cultura, essa alteração de valores é compreensível, porque é provocada pela frequência das irrigações, na qual muda a taxa de evaporação do solo, consequentemente os valores de Kc, elementos meteorológicos, ETo e as medidas dos lisímetros (ALLEN et al., 1998). Na fase inicia, o Kc apresentou um valor médio de 0,54, esse valor é influenciado diretamente pela evaporação alta do solo, porque uma pequena parte do solo se encontra coberto pela cultura (BASTOS, et al., 2008)

À medida que a cultura vai se desenvolvendo os valores de Kc vão aumentando, atingindo um valor máximo de 1,13, corroborando com o resultado entrado por Bastos et al., (2008), que foi de 1,14. Na fase de maturação, estágio final, a partir do 51º DAS, é possível observar uma diminuição contínua nos valores de Kc, isso é provocado pela senescência das plantas e a suspenção da irrigação (BASTOS et al., 2008), encerrando com 0,26 na colheita, corroborando também com o resultado de Bastos et al., (2008) que foi de 0,3.

O modelo de curva do Kc e do IAF foi o mesmo durante o ciclo de 70 dias do feijão-caupi, como mostra na Figura 16. Os valores de Kc se mostram maiores desde a fase inicial até a maturação, porém, na fase reprodutiva os valores de Kc e IAF se encontram, chegando a ser os mesmos valores no ponto máximo das duas curvas. Essa estreita relação de Kc e IAF também foi encontrada por Farias et al. (2017), representando as mudanças fisiológicas da planta, alteração da área foliar e cobertura do solo ao longo do crescimento e maturação do feijão-caupi.

4.5 Produtividade de grãos e componentes de produção

Com uma ETc de 253,1 mm durante um ciclo de 70 dias, a produtividade do feijão-caupi BRS Inhuma, foi de 1078 kg ha^{-1}, na área de bordadura, e de 999 kg ha^{-1}, no interior dos lisímetros (Tabela 6). Bastos et al. (2008) obteve uma produtividade de 1300 kg ha^{-1} e 1728 kg ha^{-1}, na bordadura e dentro dos lisímetros, respectivamente, dentro das condições climáticas da região. Para as condições climáticas de Teresina a produtividade foi de 984,8, no sistema convencional e 1 238,1 no plantio direto, em condição de cultivo irrigado (ANDRADE JÚNIOR et al., 2018), valores esses que corroboram com os valores encontrados no presente trabalho.

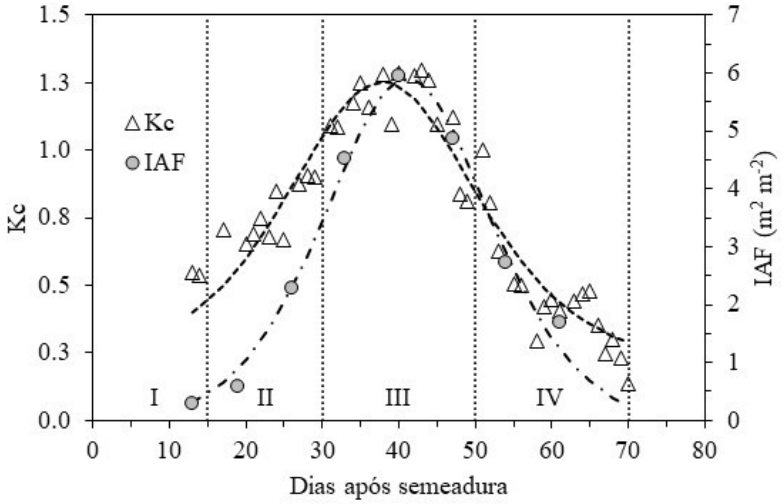

Figura 16. Relação entre o coeficiente de cultura (Kc) e o índice de área foliar durante o ciclo de cultivo do feijão-caupi, cv BRS Inhuma. Teresina, PI, 2022. Fases: I – inicial, II – desenvolvimento vegetativo, III – reprodutiva e IV – maturação

Tabela 5. Equações de ajuste da curva do coeficiente de cultura (Kc) e índice de área foliar (IAF) do feijão-caupi, cv BRS Inhuma, em função dos dias após semeadura (DAS), segundo modelo logístico.

Parâmetros	Coeficientes	Erro Padrão	Teste t	p > |t|	R2	Y-Max.	X-Max.
Coeficiente de cultura (Kc)							
a	0,20444	0,07335	2,78706	0,00810	0,9116	1,252	37,8
b	1,04806	0,06813	15,38348	0,00000			
c	37,83567	0,47604	79,48060	0,00000			
d	8,37002	0,82082	10,19710	0,00000			
Índice de área foliar (IAF)							
a	-0,21558	0,45489	-0,47392	0,66027	0,9877	5,905	41,1
b	6,12074	0,42831	14,29030	0,00014			
c	41,06412	0,49578	82,82666	0,00000			
d	7,40865	0,81126	9,13229	0,00080			

Pesquisas com feijão-caupi relatam produtividades de grãos entre 1275 e 1600 kg ha^{-1}, com uma lâmina de água de 157,3 a 390 mm (LOCATELLI et al.,2014). Segundo Cardoso et al. (2017), para o potencial produtivo do feijão-caupi ser bem explorado, depende diretamente da qualidade genética da semente, das práticas de manejo adotadas e do sistema de cultivo.

Tabela 6. Componentes de produção e produtividade de grãos do feijão-caupi, cv BRS Inhuma.

Cultura	Local	NP-m^2	PCG (g)	NVP	CV (cm)	NGV	PGC (kg ha^{-1})
Feijão-caupi	Bordadura	12,7	26,3	4,2	18,4	13,2	1078
	Lisímetros	15,6	25,5	3,9	19,6	15,4	999

Na região de Apodi, RN, a produtividade do feijão-caupi BRS Potiguar foi de 605 kg ha^{-1}, com uma ETc de 400,1 mm e 450 kg ha^{-1} para o cultivo sequeiro (SILVA et al, 2016) Já a cultivar BRS Guaribas, de porte semiereto, teve uma produtividade de 1075 kg ha^{-1} com um Kc mínimo e máximo de 0,40 e 1,10, respectivamente (FIETZ et al., 2015), o menor e maior Kc encontrado com o presente trabalho foi de 0,25 e 1,23, respectivamente.

O trabalho desenvolvido por Cardoso et al., (2018), na região de Teresina-PI, com feijão-caupi, com as cultivares BRS Itaim, de porte ereto e Pajeú, de porte semiprostrado, alcançou 101 vagens m^{-2} e 84,20 vagens m^{-2}, respectivamente. Mesmo a população de plantas sendo superior a do trabalho de Cardoso et al. (2018), os valores são superiores ao do presente trabalho, que foi de 53,34 (NP m^{-2} x NVP) na bordadura e 60,84 nos lisímetros.

Para uma população de 200 mil plantas h^{-1} com a cultivar BRS Inhuma, Cardoso et al. (2021), encontrou valores de 17,9 cm para CV, 15,6 para NGV e 26 para PCG, valores semelhantes aos do presente trabalho, mostrando que esses índices de produtividade foram elevados, porque a população de planta foi de 150 mil plantas h^{-1}. Já o NVP foi superior ao do presente trabalho, foi de 6,30, enquanto o do presente trabalho foi de 3,9 para os lisímetros e 4,2 para a bordadura, mostra que esse índice de produtividade foi baixo.

5. CONCLUSÕES

O cultivo do feijão-caupi, cv BRS Inhuma apresentou uma evapotranspiração da cultura (ETc) ao longo do ciclo 253,1 mm; com valores médios diários de 2,7; 3,7; 5,6 e 2,3 mm, respectivamente, nas fases inicial, de desenvolvimento, reprodutiva e de maturação. Esses dados são fundamentais para o manejo eficiente da irrigação, permitindo a aplicação precisa de água conforme a demanda hídrica em cada fase fenológica.

Os coeficientes de cultivo (Kc) determinados para as diferentes fases inicial, de desenvolvimento, reprodutiva e de maturação foram 0,54; 0,77; 1,13 e 0,46; respectivamente.

6. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A., MONTEIRO, M. M. S.; SILVA JÚNIOR, J. S. **Evapotranspiração e coeficiente de cultura do feijão-caupi sob sistema de cultivo convencional e plantio direto**. Agrometeoros, Passo Fundo, v.26, n.1, p.191-199, 2018.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H.; FRIZZONE, J. A.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B. **Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 6, n. 1, p. 17-20, 2002.

BASTOS, E. A.; FERREIRA, V.M.; SILVA, C.R.; ANDRADE JUNIOR, A.S. **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Gurguéia, Piauí**. Irriga, v. 13, n. 2, p. 182-190, 2008.

BASTOS, EA; ANDRADE JÚNIOR, AS; NOGUEIRA, CCP **Cultivo de Feijão-Caupi**. Disponível em: <Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161199/1/SistemaProducaoCaupiCapituloIrrigacao.pdf >. Acesso em: 05 jun. 2023

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (Noções básicas)** Jaboticabal: FUNEP, 1988. 41 p.

CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RIBEIRO, V. Q.; MELO, F. de B. **Arranjo de plantas de feijão-caupi, sob irrigação, em sistema de plantio direto no centro-norte piauiense**. 2018. 10 p.

CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V, Q.; MELO, F. de B., BASTOS, E. A.; SOBRINHO, C. A. **Rendimento de grãos de duas linhagens elites de feijão-Caupi em relação ao arranjo de plantas em Teresina, Piauí**. 2021. 12 p.

CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; SOBRINHO C. A.; MELO, F. de B. **Rendimento de grãos do feijão-caupi BRS Itaim em função da densidade de plantio em sistemas de semeadura convencional e direta com palhada do primeiro ano**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2017. 7 p. (Comunicado Técnico / Embrapa Meio-Norte, ISSN 0104-7647; 240).

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira – Grãos Safra 2021/22 6º levantamento**. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/41379_f737bf1c32e3b400126505b7e1e4055b. Acesso em: 23 mar. 2022.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). **Agricultura irrigada e sua importância na produção de alimento: nexo água-alimento**. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/71510678/artigo-agricultura-irrigada-e-sua-importancia-na-producao-de-alimento-nexo-agua-alimento. Acesso em: 09 fev. 2023.

EMBRAPA (Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária). **Tecnologia da Embrapa ajuda a manter ritmo das exportações de feijão-caupi**. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/79871978/tecnologia-da-embrapa-ajuda-a-manter--ritmo-das-exportacoes-de-feijao-caupi. Acesso em: 09 fev. 2023.

EMBRAPA (Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária). **Feijão-caupi, clima**. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao-caupi/pre-producao/caracteristicas-e-relacoes-com-o-ambiente/clima. Acesso em: 30 ago. 2024.

FERNANDES, E. J.; TURCO, J. E. P. **Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja**. Irriga, v. 8, n. 2, p. 132-141, 2018.

FIETZ, C. R.; COMUNELLO, E.; FLUMIGNAN, D. L.; CECCON, G. **Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do feijão-caupi nas condições climáticas de Mato Grosso do Sul**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 19., 2015, Lavras. Agrometeorologia no século 21: o desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros: Anais. Lavras: UFLA, 2015.

FIGUEIRÊDO, V. B.; MEDEIROS, J. F.; ZOCOLER, J.L.; SOBRINHO, J. E. **Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades**. Engenharia Agrícola, v. 29, n. 2, p. 231-240, 2009.

GOMIDE, R. L.; RIOS, S. de A.; ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. **Requerimento de água de culturas**. In: Irrigação: dos fundamentos ao manejo de sistemas. Brasília, DF: Embrapa, 2021. p. 135-162.

GONÇALVES, L J.; TAGLIEFERRE, C.; CASTRO FILHO, M. N. de C.; GUIMARÃES, D. U. G.; ROCHA, F. A. **Uso do irrigâmetro na estimativa da evapotranspiração da cultura em ambiente protegido**. Revista Caatinga, v. 32, n. 3, p. 778-785, 2019.

LIMA, C. C. de. **Influência de plantas de cobertura no balanço de água no solo sob rotação de culturas em plantio direto e preparo convencional**. 2020. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LOCATELLI, V. da E. R.; MEDEIROS, R. D. de; SMIDERLE, O. J.; ALBUQUERQUE, J. de A. A. de; ARAÚJO, W. F.; SOUZA, K. T. S. de. **Componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi no cerrado de Roraima**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 6, p. 574–580, 2014.

MELO, F. de B.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; PESSOA, B. L. de O. **Levantamento, zoneamento e mapeamento pedológico detalhado da área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI**. 2019. 14 p.

MONTANHA, L. E. V. **Desempenho das medidas de um lisímetro de lençol freático constante a partir do modelo de Penman-Monteith**. 2022. 33 p.

MURGA ORRILLO, H.; ARAÚJO, W. F.; ROCHA, P. R. R.; SAKAZAKI, R. T.; DIONISIO, L. F. S.; VARGAS, A. R. P. **Determinação da evapotranspiração (ETc) e coeficiente de cultivo (Kc) das culturas de feijão-caupi e milho no cerrado de Roraima**. 2015. 41 p.

MURGA ORRILLO, H.; ARAÚJO, W. F.; ROCHA, P. R. R.; SAKAZAKI, R. T.; DIONISIO, L. F. S.; VARGAS, A. R. P. **Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi cultivado em solo do cerrado submetido à cobertura morta**. Irriga, v. 21, n. 1, p. 172-172, 2016.

OLIVEIRA, RLL, MOREIRA, AR, COSTA, AVA, SOUZA, LCS, LIMA, LGS e SILVA, TL, 2015. Modelos de determinação não destrutiva de área foliar de feijão caupi Vigna unguiculata (L.). **Ciência e Tecnologia Globais**, vol. 8, p. 17-27.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin, taxonomy, and morphology of Vigna unguiculata (L.) Walp. **Advances in cowpea research**, p. 1, 1997.

PINHEIRO, F. da S.; LYRA, G. B.; ABREU, M. C.; ARTHUR JÚNIOR, J. C.; SILVA, L. D. B., LYRA, G. B.; SANTOS, E. O. **Área foliar de mudas de urucum (*Bixa orellana* L.) estimada por diferentes métodos: uma análise comparativa**. Ciência Florestal, v. 30, p. 885-897, 2020.

SALES, D. L. A.; ALVES JÚNIOR, J.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; SOUZA, J. M. F. **Estimativa de evapotranspiração e coeficiente de cultura do tomateiro industrial utilizando o algoritmo SAFER**. Irriga, v. 22, n. 3, p. 517-529, 2017.

FARIAS, V. D.; LIA, M. J. A.; NUNES, H. G. G. C.; SOUSA, D. P.; SOUZA, P. J. O. P. **Demanda hídrica, coeficiente de cultivo e fator de desacoplamento do feijão caupi na Amazônia Oriental**. Revista Caatinga, v. 30, n. 1, p. 190-200, 2017.

SILVA, A. C. S. L. **Consumo hídrico e calibração/validação do modelo AquaCrop para a cultura do feijão caupi cultivado no semiárido do nordeste do Brasil**. 2019. p 15.

SILVA, D. M. R.; SANTOS, J. C. C. dos; COSTA, R. N.; ROCHA, A. O.; LIMA, A. N. da S.; SANTOS, S, A.; SILVA, L. K. dos S. **Resposta do feijoeiro a lâminas de água aplicada em relação à evapotranspiração da cultura**. Revista Agropecuária Técnica, v. 38, n. 2, p. 71-77, 2017.

SILVA, E. M. P. da. **Determinação do coeficiente de cultura da melancia, em solo sob palhada e preparo convencional, na microrregião de Teresina, Piauí**. 2012. p 33.

SILVA, J. A. N.; SILVA, C. J.; SOUZA, C. M. A.; FONSECA, P. R. B. **Sistema de produção consorciada de feijão-caupi com pinhão-manso**. 2021. p 64.

SILVA, M. B. de O.; CARVALHO, A. J.; ROCHA, M. M.; BATISTA, P. S. C. SANTOA JÚNIOR, P. V. S.; OLOVEIRA, S. M. Desempenho agronômico de genótipos de feijão-caupi. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 4, pág. 1059-106, 2018.

SILVA, J. A. N.; SILVA, C. J.; SOUZA, C. M. A.; SILVA, P. R. B. F. Sistema de produção consorciada de feijão-caupi com pinhão-manso. **Engenharias, Ciências Exatas e da Terra: Pesquisas Básicas e Aplicadas**, pág 56-69, 2021.

SILVA, S.; NEVES, E. **Importância do manejo da irrigação**. Enciclopédia Biosfera, v. 17, n. 34, p. 211-225, 2020.

SILVA, V. de P.; SILVA, B. B.; BEZERRA, J. R. C.; ALMEIDA, R. S. R. **Consumo hídrico e viabilidade econômica da cultura do feijão caupi cultivado em clima semiárido**. Irriga, v. 21, n. 4, p. 662-672, 2016.

SOUZA, L. S. B. de; MOURA, M. S. B. de; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. da. **Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado**. Revista Caatinga, v. 28, p. 151-160, 2015.

VAZ, C. M. P.; MATSURA, E. E.; TORRADO, P.V.; BACCHI, O. O. S. **Validação de 3 Equipamentos de TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) para a Medida da Umidade de Solos**. São Carlos-SP: Embrapa, 2004, 4 p. (Comunicado Técnico / Embrapa, ISSN 1517-4786; 61).

WU, F. K. **Desenvolvimento de um lisímetro de pesagem eletrônica de baixo custo para medição da evapotranspiração em telhado verde extensivo**. 2023. (Orientadora: Alexandra Rodrigues Finotti; Coorientadora: Patrícia Kazue Uda).