



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: FITOTECNIA

LORENA JÚLIO GONÇALVES

**MORFOFISIOLOGIA DO FEIJÃO CAUPI SUBMETIDO A DIFERENTES
LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E DOSES DE ESTERCO BOVINO**

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA - BRASIL
2021

LORENA JÚLIO GONÇALVES

**MORFOFISIOLOGIA DO FEIJÃO-CAUPI SUBMETIDO A DIFERENTES
LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E DOSES DE ESTERCO BOVINO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. D.Sc. Cristiano Tagliaferre

Coorientadores: Prof. D.Sc. Adriano Valentim Diotto
Profa. D.Sc. Sylvana Naomi Matsumoto

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA – BRASIL
2021

G627m

Gonçalves, Lorena Júlio.

Morfofisiologia do feijão caupi submetido a diferentes lâminas de irrigação e doses de esterco bovino. / Lorena Júlio Gonçalves, 2021.

60f. : il.

Orientador (a): D. Sc. Cristiano Tagliaferre.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2021.

Inclui referência F. 52 - 60.

1. Feijão caupi - irrigação. 2. *Vigna unguiculata* (L.) Walp. 3. Condicionador de solo. 4. Déficit hídrico. I. Tagliaferre, Cristiano. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós- Graduação em Agronomia. T.III.

Catlogação na fonte: **Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890**

UESB – Campus Vitória da Conquista – BA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Área de Concentração em Fitotecnia

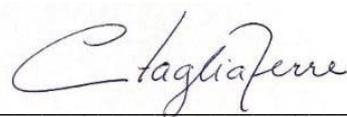
Campus de Vitória da Conquista, BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: Morfofisiologia do Feijão Caupi submetido a Diferentes Lâminas de Irrigação e Doses de Esterco Bovino.

Autora: Lorena Júlio Gonçalves

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela seguinte Banca Examinadora:



Cristiano Tagliaferre (UESB)
Presidente



Giovanni de Oliveira Garcia (UFES)



Leandro Dias da Silva (UESB)

Data de realização: 30 de abril de 2021.

Aos meus amados pais, Aluísio (*in memoriam*) e Rose, pelo esforço que fizeram para que eu chegasse até aqui. Aos meus avós maternos, Sigrilo (*in memoriam*) e Roseli; e à minha tia Andréia, por todo amor, carinho e confiança. Aos meus filhos, João e Lis, pela companhia e paciência. A todos os meus amigos, e não são poucos, pelo incentivo e apoio na dor e na delícia.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e às forças positivas do Universo que me deram a força necessária para cumprir essa etapa;

A mim, que mesmo diante de todas as dificuldades, e não foram poucas, construí uma força que nem mesmo sabia que tinha para seguir em frente;

Aos meus filhos, João e Lis, que me acompanharam nas aulas, nos experimentos, nas noites sem dormir, sempre curiosos e com sorriso no rosto, lembrando-me todos os dias o motivo pelo qual eu lutei tanto;

À minha mãe Rose, minha tia Andréia, meus avós Roseli e Sigrilo (in memoriam) que, mesmo distantes fisicamente, me apoiaram, acreditaram e construíram juntos comigo este sonho;

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e, em especial, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de capacitação profissional;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo;

Ao Professor D.Sc. Cristiano Tagliaferre, pela amizade, orientação e apoio, durante a realização deste trabalho; e sua esposa Rita Tagliaferre, pela paciência e compreensão ao longo desses anos;

À minha Coorientadora, D.Sc. Sylvana Naomi Matsumoto, pelo carinho, orientação e por não soltar minha mão, quando precisei;

Ao meu Coorientador, D.Sc. Adriano Valentim Diotto, pelo apoio, por me receber tão bem na UFLA e pela troca de conhecimentos;

Aos membros da banca examinadora, pela avaliação e sugestões para a melhoria da dissertação;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia;

Aos colegas e amigos do Laboratório de Hidráulica Agrícola: Bismarc Lopes, Genilson Lima e Rosilene Pinheiro, por estarem ao meu lado na dor e na delícia da pesquisa, pela amizade que levarei por toda a vida, pelo apoio na minha vida profissional e pessoal;

Ao Manoel Nelson, que muitas noites se dispôs a me ajudar, mesmo cansado, pela amizade ao longo desses anos e pelo carinho;

Às minhas amigas: Cecília Azevedo, Fernanda Quadros e Luisa Vasconcelos e suas famílias, por me apoiarem incondicionalmente, pelo suporte psicológico, pelas confraternizações, pelos puxões de orelha... sou muito grata pelos momentos que passei com vocês;

A Daniele Paula, Naira Oliveira, Raeli Assumpção, Tatyara Figueiro, Thaís Gusmão e Thárcia Brito, por me aguentarem por tantos anos, tantas histórias, choros, risos, brigas. Sou eternamente grata pelo presente que é a amizade de vocês;

Às minhas amigas: Grazielle Santana, Mayara Abreu e Paloma Laranjeira, pela amizade construída com muito afeto, empatia e empoderamento;

À minha companheira de todas as horas, Crislaine Ladeia, que cuidou de mim quando eu mesma não conseguia, pelas conversas, pelo apoio, pela amizade;

A Marina Merlo e Virgílio Nogueira da UFLA, pela recepção, carinho e ajuda;

Aos trabalhadores da DICAP/UESB, em especial, Duda, Dui, Evanilson e Manoelim, pelo auxílio na condução do experimento;

A todos que contribuíram direta e indiretamente para a concretização desta etapa tão importante na minha vida.

Muito obrigada!

RESUMO

GONÇALVES, L. J. **Morfofisiologia do feijão caupi submetido a diferentes lâminas de irrigação e doses de esterco bovino.** Vitória da Conquista – BA, UESB, 2021. 60 p. (Dissertação: Mestrado em Agronomia; Área de Concentração: Fitotecnia)*

Devido aos problemas de escassez hídrica, muito comum na região Semiárida do Nordeste brasileiro e, no intuito de mitigar os efeitos negativos dessa situação, tem-se buscado adotar práticas de manejo agrícola que promovam o melhor aproveitamento da água disponível no solo pelas plantas. Assim, objetivou-se com a realização do presente trabalho avaliar as características morfofisiológicas do feijão-caupi submetido a diferentes lâminas de irrigação e doses de esterco bovino. O experimento foi conduzido em vasos, dentro de ambiente protegido, na área experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *campus* de Vitória da Conquista. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, arranjos em esquema fatorial 5 x 5, sendo cinco lâminas de irrigação (20, 40, 60, 80 e 100%) da demanda hídrica da cultura, e cinco doses de esterco bovino (0, 15, 30, 45 e 60 t ha⁻¹). As lâminas de irrigação corresponderam a 88,96; 177,92; 266,88; 355,83; e 444,79 mm ciclo⁻¹ e foram obtidas por meio da pesagem dos vasos. Aos 47, 57 e 76 dias após a semeadura (DAS), foram avaliadas as características morfofisiológicas. Além disso, foram avaliadas ao final do ciclo (76 DAS) a produtividade da cultura e da água, densidade do solo e capacidade de armazenamento de água no solo. Para as características morfológicas, observou-se incremento no diâmetro do caule e comprimento da haste principal com o aumento das doses de esterco bovino e lâminas de irrigação. Para as características fisiológicas, verificou-se que, ao aumentar as doses de esterco, houve diminuição da condutância estomática, concentração interna e assimilação de CO₂ e transpiração na avaliação aos 47 DAS, e aumento nos valores médios dessas características à medida que se aumentou a lâmina de irrigação. A produtividade da cultura alcançou valores máximos com o aumento das doses de esterco e lâminas de irrigação. Obteve-se maior produtividade da cultura com uso de uma lâmina de irrigação de 293 mm ciclo⁻¹. Observou-se diminuição da densidade do solo com o aumento das doses de esterco, influenciando diretamente na capacidade de armazenamento de água do solo, que aumentou com o incremento da matéria orgânica do solo.

Palavras-chave: condicionador de solo, déficit hídrico, *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

*Orientador: Prof. Dr. Cristiano Tagliaferre, UESB e Coorientadores: Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto, UFLA e Profa. Dra. Sylvana Naomi Matsumoto, UESB.

ABSTRACT

GONÇALVES, L. J. **Morphophysiology of cowpea subjected to different irrigation depths and cattle manure rates.** Vitória da Conquista – BA, UESB, 2021. 60 p. (Dissertation: Master Science in Agronomy; Area of Concentration: Crop Science)*

Due to problems of water scarcity, very common in the semiarid region of northeastern Brazil, and to mitigate the negative effects of this condition, employing crop management practices to improve the use of soil water by plants has been sought. Thus, the objective of this work was to evaluate the morphophysiological characteristics of cowpea beans subjected to different irrigation depths and cattle manure rates. A pot experiment was carried out in a protected environment, in the experimental area of the State University of Southwest Bahia, campus of Vitória da Conquista, Brazil. The experimental design was in randomized blocks, arranged in a 5 x 5 factorial: five irrigation depths (20, 40, 60, 80, and 100%) of the crop's water demand, and five rates of cattle manure (0, 15, 30, 45, and 60 t ha⁻¹). The irrigation depths corresponded to 88.96; 177.92; 266.88; 355.83; and 444.79 mm cycle⁻¹ and were obtained by weighing the pots. At 47, 57 and 76 days after sowing (DAS), the morphophysiological characteristics were evaluated. In addition, at the end of the cycle (76 DAS), crop and water productivity, soil density and soil water storage capacity were evaluated. For the morphological characteristics, an increase in stem diameter and length of the main stem was observed with increasing cattle manure rates and irrigation depths. For the physiological characteristics, increasing manure rates was found to decrease stomatal conductance, internal concentration and assimilation of CO₂, and transpiration in the evaluation at 47 DAS, and to increase mean values of these characteristics as irrigation depths increase. Crop productivity reached maximum values with the increase of manure rates and irrigation depths. Greater crop productivity was obtained using an irrigation depth of 293 mm cycle⁻¹. A decrease in soil density was observed as manure rates increase. This directly influenced soil water storage capacity, which increased with increasing soil organic matter.

Keywords: soil amendment, water deficit, *Vigna unguiculata* (L.) Walp.

*Adviser: Prof. Dr. Cristiano Tagliaferre, UESB and Coadvisers: Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto, UFLA and Prof. Dra. Sylvana Naomi Matsumoto, UESB.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Variáveis climáticas medidas durante o período experimental	23
Figura 2 – Diâmetro do caule (DC, mm) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino ($t\ ha^{-1}$) (A) e a lâminas de irrigação (%ETc) (B), avaliado aos 47, 57 e 76 dias após a semeadura (DAS)	32
Figura 3 – Comprimento da haste principal (CHP, cm) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino ($t\ ha^{-1}$) (A) e a lâminas de irrigação (%ETc) (B), avaliado aos 47, 57 e 76 dias após a semeadura (DAS)	33
Figura 4 – Condutância estomática ($gs, mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino ($t\ ha^{-1}$) (A e C) e a lâminas de irrigação (% ETc) (B e D), avaliado aos 47 e 57 dias após a semeadura (DAS) (A e B), e aos 76 DAS (C e D)	37
Figura 5 – Concentração interna de CO_2 ($C_i, mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino ($t\ ha^{-1}$) (A e C) e a lâminas de irrigação (% ETc) (B e D), avaliado aos 47 dias após a semeadura (DAS) (A e B), e aos 57 e 76 DAS (C e D)	39
Figura 6 – Assimilação de CO_2 (A, $\mu moles\ fótons\ m^{-2}s^{-1}$) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino ($t\ ha^{-1}$) (A, C e E) e a lâminas de irrigação (% ETc) (B, D e F), avaliado aos 47, 57 e 76 dias após a semeadura (DAS)	41
Figura 7 – Transpiração ($E, mmol\ H_2O\ m^{-2}\ s^{-1}$) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino ($t\ ha^{-1}$) (A) e a lâminas de irrigação (% ETc) (B), avaliado aos 76 dias após a semeadura (DAS)	42
Figura 8 – Potencial hídrico (Ψ_w, MPa) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino ($t\ ha^{-1}$) (A) e a lâminas de irrigação (% ETc) (B), avaliado aos 47, 57 e 76 dias após a semeadura (DAS)	44
Figura 9 – Produtividade (PROD, $t\ ha^{-1}$) do feijão caupi submetido a diferentes doses de esterco bovino (A) e lâminas de irrigação (% ETc) (B), avaliado aos 47, 57 e 76 dias após a semeadura (DAS)	46
Figura 10 – Produtividade da água ($Y_a, kg\ mm^{-1}$) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino ($t\ ha^{-1}$) (A) e a lâminas de irrigação (% ETc) (B), avaliado aos 76 dias após a semeadura (DAS)	48
Figura 11 – Densidade aparente do solo ($ds, g\ cm^{-3}$) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino ($t\ ha^{-1}$) (A) e a lâminas de irrigação (% ETc) (B), avaliado aos 76 dias após a semeadura (DAS)	49

Figura 12 – Capacidade de armazenamento de água no solo (CA, mm cm⁻¹) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino (t ha⁻¹) (A) e a lâminas de irrigação (% ETc) (B), avaliado aos 76 dias após a semeadura (DAS)50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise física e química do solo.....	24
Tabela 2 – Análise química da matéria orgânica.....	25
Tabela 3 – Caracterização da água de irrigação	26
Tabela 4 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação das características diâmetro do caule (mm) (DC) e comprimento da haste principal (cm) (CHP) determinadas aos 47, 57 e 76 DAS em plantas de feijão caupi	31
Tabela 5 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação das características condutância estomática ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (<i>gs</i>), concentração interna de carbono ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (<i>Ci</i>), assimilação de CO_2 ($\mu\text{moles f\^otons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (<i>A</i>) e transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (<i>E</i>) determinadas aos 47, 57 e 76 DAS em plantas de feijão caupi	36
Tabela 6 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação da característica potencial hídrico foliar (MPa) (Ψ_w) determinada aos 47, 57 e 76 DAS em plantas de feijão caupi	43
Tabela 7 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação das características produtividade da cultura (t ha^{-1}) (PROD) e produtividade da água (g L^{-1}) (<i>Ya</i>) determinadas aos 76 DAS em plantas de feijão caupi	45
Tabela 8 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação das características densidade do solo (g cm^{-3}) (<i>Ds</i>) e capacidade de armazenamento de água no solo (mm cm^{-1}) (<i>CA</i>) determinada aos 76 DAS em plantas de feijão caupi	49

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

A	Taxa de assimilação de CO ₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
CA	Capacidade de armazenamento de água no solo (mm cm^{-1})
CC	Capacidade de Campo (%)
CHP	Comprimento da haste principal (cm)
<i>C_i</i>	Concentração interna de carbono ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
CV	Coeficiente de variação (%)
DAS	Dias após a semeadura
DC	Diâmetro do caule (mm)
Ds	Densidade aparente do solo (g cm^{-3})
<i>E</i>	Transpiração ($\text{mmol vapor d'água m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
ETc	Evapotranspiração da cultura (%)
FV	Fonte de variação
g	Gramas
GL	Grau de liberdade
<i>g_s</i>	Condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)
IRGA	Analisador de gases por radiação infravermelha
L	Litro
LI	Lâmina total de irrigação (L)
PMP	Ponto de Murcha Permanente (%)
PROD	Produtividade da cultura (t ha^{-1})
U _g	Umidade gravimétrica (g g^{-1})
V	Saturação por bases (%)
Y _a	Produtividade da água (g L^{-1})
WP4-T	Psicrômetro (<i>Water Potential Meter</i>)
Θ	Umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)
Ψ _w	Potencial hídrico foliar (MPa)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 Aspectos gerais do feijão caupi.....	17
2.2 Deficiência hídrica no feijão caupi.....	18
2.3 Uso da matéria orgânica como condicionador de solo.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 Caracterização das instalações experimentais.....	23
3.2 Delineamento experimental.....	24
3.3. Implantação do experimento.....	24
3.3.1 Preparo do substrato e enchimento dos vasos.....	24
3.3.2 Caracterização da água de irrigação.....	25
3.3.3 Determinação da quantidade de água a ser aplicada.....	26
3.3.4 Adubação, semeadura e tratos culturais.....	26
3.4 Características avaliadas.....	27
3.4.1 Parâmetros de crescimento: diâmetro do caule (DC) e comprimento da haste principal (CHP).....	27
3.4.2 Parâmetros fisiológicos: trocas gasosas, potencial hídrico foliar (Ψ_w).....	27
3.4.3 Produtividade da cultura (PROD).....	27
3.4.4 Produtividade da água (Y_a).....	28
3.4.5 Densidade do solo (D_s) capacidade de armazenamento de água no solo (CA).....	28
3.5 Análises estatísticas.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 Parâmetros de crescimento do feijão caupi.....	31
4.1.1 Diâmetro do caule (DC) e comprimento da haste principal (CHP).....	31
4.2 Parâmetros fisiológicos do feijão caupi.....	35
4.2.1 Trocas gasosas.....	35
4.2.2 Potencial hídrico foliar (Ψ_w).....	43
4.3.1 Produtividade da cultura (PROD).....	45

4.3.2 Produtividade da água (Ya).....	47
4.4 Características do solo.....	48
4.4.1 Densidade aparente do solo (Ds) e capacidade de armazenamento de água no solo (CA).....	48
5 CONCLUSÕES.....	51
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que, no Norte e Nordeste do Brasil, o feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) constitui um dos principais componentes da dieta alimentar da população, principalmente na zona rural (Wander, 2013), devido ao seu alto valor nutritivo. Ele se destaca também pelo seu valor comercial, representando uma das principais fontes de renda para as populações rurais (Públio-Júnior et al., 2017).

A maior representatividade no cultivo do feijão caupi é na Região Nordeste e em áreas com características mais áridas, como Centro-Oeste e Sudeste (particularmente Mato Grosso e Minas Gerais). Na primeira safra de 2020, foram semeados em mais de 388 mil ha com expectativa de produção de 170,3 mil toneladas, sendo que a Bahia e o Piauí juntos representam mais de 86% da estimativa de área cultivada por feijão caupi no país (Conab, 2021).

A produtividade média dessa cultura no Brasil é de 533 kg ha⁻¹ e, no Nordeste, é bastante incipiente, alcançando valor médio de 459 kg ha⁻¹ (Conab, 2021). Esses resultados em muitos locais estão atrelados ao déficit hídrico e à deficiência nutricional dos solos cultivados (Beltrão Júnior et al., 2012).

A região semiárida brasileira apresenta características peculiares, como a baixa precipitação, estiagens prolongadas, altas temperaturas, alta demanda climática e, muitas vezes, baixa fertilidade do solo. Além disso, a agricultura é, em sua maioria, de subsistência, praticada em áreas de sequeiro, sem aplicação de insumos agrícolas e com baixo nível tecnológico.

O estresse por deficiência hídrica é um dos fatores mais agravantes para a obtenção de baixa produtividade nessas regiões, pois provoca danos diretos às plantas, tais como: alterações morfológicas em nível de crescimento e desenvolvimento, alterações nas trocas gasosas foliares e potencial hídrico foliar, refletindo na produtividade final do vegetal (Freitas et al., 2017).

Uma forma de amenizar os efeitos da escassez hídrica é a utilização da irrigação e de condicionadores de solo, a exemplo do esterco bovino que, ao promover redução da evaporação da água, mantém o solo úmido por mais tempo. Dessa forma, o desenvolvimento das plantas não será afetado e a quantidade de água aplicada poderá ser menor, quando comparada às condições sem o uso de esterco.

Na agricultura irrigada, o fornecimento de água para satisfazer as necessidades hídricas das culturas é extremamente importante, uma vez que a falta ou o excesso pode limitar seu desenvolvimento. Além disso, o uso excessivo de água na irrigação pode elevar o custo de produção, devido ao aumento do consumo de energia, bem como ocasionar a lixiviação dos nutrientes. Devido aos problemas relacionados ao déficit hídrico em várias regiões do mundo, associado à melhoria no manejo da irrigação, estudos estão sendo realizados com uso de condicionadores de solo, visando tanto ao aspecto econômico, economia de água e nutrientes, quanto à qualidade final dos produtos.

A utilização do esterco bovino, além de fornecer nutrientes para as plantas, possibilita maior penetração das raízes no solo e aumenta a retenção de água e minerais na camada superficial do solo, causando redução na quantidade de água fornecida para as plantas e, com isso, gera economia nos custos com irrigação.

Portanto, a necessidade de aumentar a produção, aliada à escassez de recursos hídricos e solos mal estruturados e com baixa fertilidade, tem estimulado pesquisadores a buscarem técnicas alternativas para melhoria da produção em regiões que enfrentam períodos de seca ou com chuvas distribuídas de maneira desuniforme. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar as características morfofisiológicas do feijão caupi submetido a diferentes lâminas de irrigação e doses de esterco bovino.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma planta Dicotyledonea, da ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, secção Catyang, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata*, subdividida em quatro cultigrupos *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflora* e *Textilis*. No Brasil, são cultivados os cultigrupos *Unguiculata*, para produção de grão seco e feijão-verde; e *Sesquipedalis*, comumente chamado de feijão-de-metro, para produção de vagem (Freire Filho et al., 2011).

Planta de origem africana, que foi introduzida no Brasil pelos colonizadores portugueses, associado ao tráfico de escravos. Sua introdução ocorreu pelo Estado da Bahia, na segunda metade do século XVI (Freire Filho, 1988). Barracloug (1995), reforçando essa afirmação, relata que, desde a fundação da Bahia como Capital Administrativa do Brasil, em 1549, havia intenso comércio com o oeste da África, na faixa que ia de Guiné a Angola. Gandavo (2002) menciona que, em 1568, já tinha a indicação da existência de muitos feijões no Brasil. Em 1587, grande variedade de feijões e favas era cultivada na Bahia (Souza, 1974). A partir da Bahia, o feijão-caupi disseminou-se pelo país, acompanhando a colonização.

O feijão-caupi é conhecido por vários nomes populares. Alguns dos mais usados são: feijão-macassa e feijão-de-corda, na região Nordeste; feijão-de-praia, feijão-da-colônia e feijão-de-estrada, na região Norte; feijão-miúdo, na região Sul. Na região Norte, há ainda um tipo de feijão-caupi para a culinária local, chamado de manteiguinha, que tem grãos de cor creme, muito pequenos. O feijão-caupi é também chamado de feijão-gurutuba e feijão-catador em algumas regiões do Estado da Bahia e norte de Minas Gerais.

É uma das culturas mais importantes cultivadas em regiões tropicais e subtropicais do planeta (Carvalho et al., 2017). Fonte rica em compostos bioativos, tais como proteínas, peptídeos, amido resistente, fibras, antioxidantes e certos tipos de vitaminas e minerais que possuem efeitos benéficos à saúde humana (Jayathilake et al., 2018). Assim, é uma importante fonte de proteínas e outros componentes essenciais em regiões semiáridas da África subsaariana (Kyei-Boahen et al., 2017), bem como na

região semiárida brasileira da região Nordeste (Santos et al., 2012), por se adaptar bem às condições de déficit hídrico (Freitas et al., 2017).

O Brasil é o terceiro maior produtor de feijão-caupi do mundo, sendo cultivado principalmente no Norte e Nordeste do país (Oliveira et al., 2018). Essa cultura é também um componente importante do sistema agrícola tradicional, pois fixa nitrogênio e contribui para a melhoria da fertilidade do solo, especialmente para a agricultura familiar em que pouco ou nenhum fertilizante é aplicado (Kyei-Boahen et al., 2017).

Apesar da produção nacional atual ser alta, 720,9 mil t (Conab, 2021), há um déficit permanente de oferta nos estados do Nordeste, de acordo com Torres et al. (2015), uma vez que a produtividade média é extremamente baixa. Tal condição pode ser explicada por vários fatores, como o uso de cultivares com baixo potencial produtivo e não adaptadas à região, densidade inadequada de semeadura, o plantio em solos de baixa fertilidade e o cultivo de forma precária, sem uso de tecnologias apropriadas que promovam uma melhor produtividade por meio de um manejo mais adequado, pois há deficiência na assistência técnica e transferência de tecnologia (Pessoa et al., 2015; Nascimento et al., 2011).

A produção anual de feijão-caupi no Nordeste brasileiro sofre grande oscilação em consequência, principalmente, do déficit hídrico e da irregularidade na distribuição das chuvas (Barros et al., 2013). Lima et al. (2011) afirmam que, na fase reprodutiva, o déficit hídrico ocasiona redução na produtividade do feijão-caupi.

Outro fator é a pressão do feijão-caupi produzido na Região Centro-Oeste, principalmente em Mato Grosso, o qual, em sua maior parte, é dirigido ao mercado das Regiões Norte e Nordeste. Esse feijão-caupi é cultivado em larga escala, portanto, é produzido em quantidade, com boa qualidade e com baixo custo de produção. Tem sido ofertado aos compradores das Regiões Norte e Nordeste com regularidade, a um preço altamente competitivo. Isso reduz o poder de competição do produto local e, conseqüentemente, dificulta sua colocação no mercado (Freire Filho et al., 2011).

2.2 Deficiência hídrica no feijão-caupi

Predominantemente, o cultivo de feijão-caupi é realizado sob o regime de sequeiro, no qual a irregularidade de chuvas e as altas temperaturas têm contribuído consideravelmente para o déficit hídrico. Embora a cultura seja considerada tolerante a

estresses abióticos, como o hídrico, térmico e salino, há redução da sua produtividade, uma vez que a disponibilidade de água e nutrientes é um dos fatores que mais influenciam na produção das culturas (Nascimento et al., 2004; Bastos et al., 2012; Tagliaferre et al., 2013; Souza et al., 2016).

As respostas das plantas às condições de estresse por deficiência hídrica variam de acordo com a espécie, cultivar, tempo de exposição, fatores edáficos, entre outros. Não existe uma única variável fisiológica que, por si só, seja indicativa de tolerância à seca (Nascimento et al., 2011). Segundo Nogueira (2011), o ideal é avaliar mais de uma variável, tais como potencial hídrico, condutância estomática, e transpiração foliar, considerados importantes para mensurar as repostas das espécies vegetais ao estresse hídrico.

Em estudos com plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica, têm-se denotado reduções no potencial hídrico foliar, condutância estomática e transpiração, com aumento na resistência difusiva ao vapor de água, mediante o fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, em consequência, o suprimento de CO₂ para a fotossíntese (Souza et al., 2004; Silva et al., 2010).

A utilização de indicadores da eficiência do uso de água (produtividade da água) também é uma das formas de se analisar a resposta dos cultivos às diferentes condições de disponibilidade de água, pois relaciona a produção de biomassa seca ou a produção comercial com a quantidade de água aplicada ou evapotranspirada pela cultura (Puppala et al., 2005; Dutra et al., 2015). Blanco et al. (2011) avaliaram diferentes lâminas de irrigação para a produção de grãos verdes de feijão-caupi consorciado com o milho em Teresina, PI, e observaram eficiência do uso de água, com média de 5,7 kg ha⁻¹ mm⁻¹. Lacerda et al. (2009) verificaram eficiência de utilização de água em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina, de 3,0 a 5,8 kg MS mm⁻¹. Souza et al. (2011) observaram que a eficiência do uso de água máxima é de 3,1 kg ha⁻¹ mm⁻¹, aplicando-se uma lâmina de irrigação de 420,8 mm, quando avaliaram a eficiência do uso da água das culturas do milho e feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado, no semiárido brasileiro, para produção de grãos secos.

Embora o feijão-caupi se adapte razoavelmente bem às condições de solo, clima e sistemas de cultivo, em relação a outras leguminosas, ele nem sempre alcança bons níveis de produtividade. Altas produtividades de grãos, porém, têm sido registradas com o uso da irrigação (Mousinho et al., 2008; Benvindo et al., 2010).

A agricultura irrigada é uma das alternativas tecnológicas de grande importância para o desenvolvimento econômico e social da região Nordeste do Brasil, pois ela assegura adequada disponibilidade de água às culturas na quantidade e na época apropriada (Sousa et al., 2010). Locatelli et al. (2014) destacam que o emprego de tecnologias inovadoras e conservacionistas, aliadas à irrigação, pode levar a resultados economicamente satisfatórios para agricultores familiares e empresariais, garantindo emprego, renda e alimento à população.

2.3 Uso da matéria orgânica como condicionador de solo

A adubação orgânica pode ser um excelente condicionador de solo, e pode promover melhores condições ao desenvolvimento das culturas, por influenciar as características químicas, físicas e biológicas do solo. O esterco bovino é fonte de matéria orgânica, e geralmente está disponível nas pequenas propriedades onde a criação de animais complementa a renda familiar. Funciona como fonte de nutrientes, apresenta cargas de superfície que contribuem para o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo e, devido a sua alta reatividade, regula a disponibilidade de vários nutrientes, em especial, os micronutrientes, bem como a atividade de elementos potencialmente fitotóxicos, como Al^{3+} e Mn^{2+} , em solos ácidos, e com presença de metais pesados (Zandonadi et al., 2014).

Resíduos orgânicos, principalmente os dejetos de animais, têm sido aplicados nas lavouras com o objetivo de melhorar a fertilidade do solo e seu condicionamento físico. Os dejetos constituem uma excelente fonte de nutrientes, especialmente N, P e K e, quando manejados adequadamente, podem suprir, parcial ou totalmente, o fertilizante químico na produção de grãos e pastagens (Konzen, 2005).

Segundo Baver et al. (1973), a matéria orgânica é um agente aglutinador, sendo mais eficaz em solos que contêm pequenas quantidades de argila. Para os autores, existe uma alta correlação entre a matéria orgânica e a agregação em solos que contêm menos de 25% de argila, enquanto para os que contêm mais de 35%, a correlação é significativa, porém, não é tão alta. A argila e os colóides orgânicos causam a maior parte da agregação do solo, resultando em complexos argilo-orgânicos, quando interagem. Nos solos arenosos, a matéria-orgânica promove a aglutinação das partículas, firmando a estrutura e diminuindo o tamanho dos poros e,

consequentemente, aumentando a capacidade de retenção de água (Bertoni e Lombardi Neto, 2005).

Para Guerra (1995), solos com menos de 3,5% de matéria orgânica possuem agregados instáveis; contudo, para solos com menos de 2,0%, há baixa estabilidade de agregados. Quanto menores os teores de matéria orgânica, menor a resistência dos agregados ao impacto das gotas de chuva, quando estes são facilmente quebrados, formando crostas na superfície, dificultando a infiltração, aumentando o escoamento superficial e a perda de solo (Bertoni e Lombardi Neto, 2005).

A aeração e a drenagem interna do solo são melhoradas com a matéria orgânica. Os solos argilosos e de textura média são mal drenados enquanto que os arenosos têm excessiva aeração e drenagem. A aplicação de matéria orgânica melhora a agregação e a estruturação de ambos os solos, corrigindo consequentemente, a falta ou excesso de aeração e drenagem (Kiehl, 1985).

Dessa forma, a manutenção do teor adequado de matéria orgânica ao longo do tempo resulta em formação de agregados estáveis, diminuição da densidade do solo, aumento do índice de agregação e diminuição da resistência à penetração (Celik et al., 2010). Além disso, a aplicação de material orgânico se reflete no aumento da fertilidade e diminuição da erodibilidade do solo, prevenindo a perda de solo, nutrientes e água.

Em um estudo que durou quatro anos, Jiao et al. (2006) encontraram efeito benéfico do uso de composto bovino na agregação do solo, concluindo que a adoção do sistema de plantio direto e a aplicação de 30 Mg ha⁻¹ ano de composto bovino em solo franco arenoso aumentou a proporção de agregados estáveis em água. Hurisso et al. (2013), avaliando o mesmo dejetos, também obtiveram efeito significativo na agregação do solo na profundidade de 5-15 cm, observando um aumento de macroagregados e valores de DMP para as maiores doses do dejetos.

Wortmann e Shapiro (2007) determinaram como a agregação do solo é afetada pela incorporação ou aplicação superficial de esterco bruto ou composto (esterco de confinamento, dejetos líquido suíno e composto de esterco), observando grande aumento de agregados com diâmetro > 2 mm, com alta concentração de matéria orgânica.

Hati et al. (2007), pesquisando alterações nas propriedades físicas do solo utilizando adubação mineral e adubação mineral+estrupe, verificaram que as parcelas que receberam 100% de NPK + estrupe apresentaram maior DMP, agregados estáveis em água, porosidade total e microporosidade; e menor densidade do solo.

Em um estudo sobre os efeitos de fertilizantes minerais isolados ou combinados com estrume, Bandyopadhyay et al. (2010) observaram melhoras significativas nos atributos físicos em um Vertissolo na Índia Central com uso integrado de estrume e fertilizantes minerais. Foram verificados ainda aumento na condutividade elétrica, diminuição da densidade do solo e aumento na porcentagem de macroagregados estáveis em água.

Bhattacharyya et al. (2007), ao avaliarem o efeito da adubação mineral e orgânica (esterco), encontraram aumento na taxa de infiltração de água, na porcentagem de macroagregados e na densidade média de partículas (DMP), em todas as profundidades; e diminuição na densidade do solo e dos microagregados. Estudos apontam para uma mudança positiva nos atributos físicos do solo (Lakhdar et al., 2009; Huerta et al., 2010). Entretanto, existem estudos controversos na literatura (Silva e Mendonça, 2007) sobre a influência da matéria orgânica na retenção e disponibilidade de água às plantas, levando a necessidade de estudos mais aprofundados acerca do tema.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização das instalações experimentais

O experimento foi conduzido dentro de ambiente protegido, na área experimental da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *campus* de Vitória da Conquista, no período de 22 de outubro de 2020 (semeadura) a 07 de janeiro de 2021 (colheita). A área experimental está localizada sob coordenadas geográficas de 14° 51' 48'' de latitude sul e 40° 50' 22'' de longitude oeste de Greenwich, com altitude de 881 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é tropical de altitude (Cwb), com estação seca no inverno e verões quentes e úmidos. A estação chuvosa na região compreende os meses de novembro a março. O total pluviométrico anual é de cerca de 730 mm, e as médias térmicas mostram máximas de 26,4°C e mínimas de 16,1°C, com média anual de 20,2 °C. Os dados climáticos referentes à radiação e à temperatura do ar, para o período de condução do experimento dentro do ambiente protegido, estão apresentados na Figura 1.

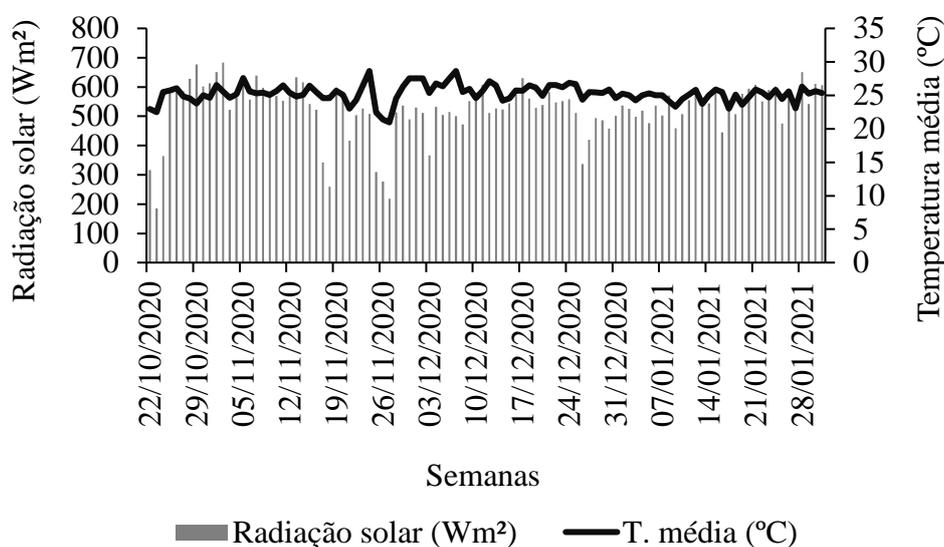


Figura 1 – Variáveis climáticas medidas durante o período experimental.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso (DBC), em esquema fatorial 5x5, com três repetições, totalizando 75 parcelas, sendo cada parcela composta por duas plantas. Os tratamentos foram constituídos por cinco doses de esterco bovino em base seca (0, 15, 30, 45 e 60 t ha⁻¹), que corresponderam a 0; 0,180; 0,360; 0,540 e 0,720 kg vaso⁻¹, respectivamente; e cinco lâminas de irrigação, obtidas de acordo com a evapotranspiração diária da cultura (ETc) (20, 40, 60, 80 e 100%) que, ao final do cultivo do feijão caupi, corresponderam a 88,96; 177,92; 266,88; 355,83 e 444,79 mm ciclo⁻¹. Os tratamentos com diferentes lâminas de irrigação começaram aos 25 dias após a semeadura (DAS), para garantir o pegamento das mudas.

3.3. Implantação do experimento

3.3.1 Preparo do substrato e enchimento dos vasos

Para o cultivo das plantas em vaso, foi utilizada terra de subsolo, classificado como Latossolo Amarelo Distrófico típico, a qual foi destorroada, passada em peneira com malha de quatro milímetros e, posteriormente, homogeneizada. Foi retirada uma amostra e encaminhada para o Laboratório de Análises de Solo da UESB para realização das análises químicas e físicas (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise física e química do solo

Análise física (%)									
Areia			Silte				Argila		
72,5			4,5				23		
Análise química									
pH	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺	Na ⁺	H + Al	M. O.
(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)								g dm ⁻³
5,1	5	0,1	0,7	0,3	0,4	2,4	-	2,8	10

Fonte: Laboratório de Química do Solo da UESB, 2020.

A calagem foi realizada 60 dias antes da semeadura, de acordo com as recomendações técnicas da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (Ribeiro et al., 1999), elevando-se o valor de V (saturação de bases) de 28% para 65%.

Utilizou-se o calcário dolomítico na dosagem de 4 t ha⁻¹ e, ao longo dos 60 dias, o solo foi umedecido e homogeneizado para otimização na neutralização da acidez trocável.

Os vasos utilizados no experimento possuíam capacidade para 20 L, sendo perfurados no fundo e preenchidos com 1 kg de brita tipo 1 (malha de 9,5 mm a 19 mm) para facilitar a drenagem. Esses vasos foram preenchidos com solo usando a mesma massa para todos, alcançando-se um peso de 24 kg do solo corrigido.

O esterco bovino utilizado como condicionador de solo, oriundo da unidade de bovinocultura da UESB, foi previamente curtido e uma amostra foi enviada para caracterização química no Laboratório de Análises de Solo de Viçosa Ltda (Tabela 2). Foi realizado um levantamento histórico do esterco, a fim de garantir a ausência de herbicidas no lote utilizado. Os vasos foram preenchidos com a quantidade de esterco bovino correspondente a cada tratamento.

Tabela 2 – Análise química da matéria orgânica (esterco bovino)

Análise química da matéria orgânica							
N	P	K	Ca	Mg	S	CO	C/N
(%)							
1,26	0,3	2,08	0,39	0,34	0,17	19,34	15,34
Zn	Fe	Mn	Cu	B	pH	Na	
ppm					(H ₂ O)	(%)	
82,9	13640,5	209,0	11,7	17,1	8,6	0,1	
Teores de umidade (%)							
Ao ar				Estufa 75°C			
0				6,49			

Fonte: Laboratório de Análises de Solo Viçosa Ltda, 2020.

3.3.2 Caracterização da água de irrigação

A água de irrigação utilizada ao longo do cultivo foi proveniente de poço artesiano presente no *Campus*, onde uma amostra foi retirada e enviada para o Laboratório de Solos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, para determinação das características químicas, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Análise da água de irrigação

Análise da água de irrigação							
pH	CE	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	RAS	USSL
-	micromhos/cm		meq/L			-	-
6,4	230	0,2	0,2	0	3,5	7,9	C1S1

Fonte: Laboratório de Solos UESB, 2020.

3.3.3 Determinação da quantidade de água a ser aplicada

Os vasos foram sobrepostos em tijolos, saturados, cobertos e deixados em repouso, por três dias, para estabilização da massa na Capacidade de Campo. Após a semeadura, todas as parcelas foram irrigadas nos primeiros 20 (DAS), mantendo-se a umidade do solo próxima à Capacidade de Campo; posteriormente, iniciou-se a aplicação dos tratamentos com base na variação do peso do vaso. Utilizou-se o tratamento de 0 t ha⁻¹ e a lâmina 100% da ETc como testemunha, em um intervalo de dois dias, quando se calculou a ETc que serviu de referência para aplicação dos demais tratamentos.

3.3.4 Adubação, semeadura e tratos culturais

A adubação de fundação foi realizada de acordo com a necessidade da cultura (Embrapa, 2004) que, no caso do fósforo, utilizou-se 4 g vaso⁻¹ de Superfosfato Simples (18% P₂O₅); e, para o potássio, foi usado 0,8 g vaso⁻¹ de Cloreto de Potássio (60% K₂O).

Para a adubação nitrogenada de cobertura, utilizou-se a ureia (45% N) aos 20 e 40 dias após emergência (DAE), na quantidade de 0,27 g vaso⁻¹, em cada adubação.

A cultivar de feijão-caupi escolhida foi a BRS Guariba por se adaptar melhor às condições edafoclimáticas da região. As sementes foram tratadas previamente com CAPTAN e semeadas numa quantidade de cinco sementes em cada vaso, fazendo-se o desbaste aos 15 DAS, mantendo-se duas plantas por vaso.

Os tratos culturais foram realizados de acordo com a necessidade da cultura ao longo do cultivo, por meio dos quais as plantas daninhas foram controladas com arranque manual. Utilizou-se Vertimec para controle da larva minadora (*Liriomyza huidobrensis*) e do pulgão (*Aphis spp.*). Para o controle do oídio (*Oidium sp.*), aplicou-

se Cercobim. As dosagens usadas foram de acordo com as recomendações do fabricante, especificada no rótulo do produto, para a cultura.

As avaliações foram realizadas em três estágios da cultura: vegetativo, reprodutivo e de enchimento de grãos, correspondendo aos 47, 57 e 76 DAS.

3.4 Características avaliadas

3.4.1 Parâmetros de crescimento: diâmetro do caule (DC) e comprimento da haste principal (CHP)

Foi medido o diâmetro do caule (DC) em mm, na região do colo da planta, com paquímetro digital com precisão de 0,01 mm; e o comprimento da haste principal (CHP) em cm, a partir do colo da planta até o meristema apical, com auxílio de régua graduada.

3.4.2 Parâmetros fisiológicos: trocas gasosas, potencial hídrico foliar (Ψ_w)

As avaliações referentes às trocas gasosas (condutância estomática, concentração interna de carbono, assimilação de CO_2 e transpiração) foram realizadas utilizando-se um sistema portátil aberto de análise de gases por infravermelho (IRGA), LCpro, ADC BioScientific Ltd., UK, com ponto de saturação luminosa de $1300 \text{ mmol f\u00f3tons m}^{-2}\text{s}^{-1}$, entre o horário das 7h00 às 12h00 horas.

A leitura do potencial hídrico foliar (Ψ_w) foi realizada com auxílio de uma câmara de pressão (PMS Instrument Company, EUA), de acordo com Scholander et al. (1965), às sete horas da noite, na primeira folha totalmente expandida do terço superior da planta.

3.4.3 Produtividade da cultura (PROD)

A produção de cada vaso com duas plantas foi obtida usando-se a massa total de grãos, com umidade corrigida para 13% e convertida em produtividade, utilizando-se a seguinte Equação:

$$PROD = \frac{m}{A} \quad (1)$$

Em que:

PROD = Produtividade da cultura, em t ha⁻¹;

m = Massa dos grãos, em g; e

A = Área, em ha.

3.4.4 Produtividade da água (Ya)

A produtividade da água foi calculada de acordo com a Equação 2:

$$Ya = \frac{Pg}{LI} \quad (2)$$

Em que:

Ya = Produtividade da água, em g L⁻¹;

Pg = Peso total dos grãos colhidos, em g; e

LI = Lâmina total de irrigação, em L.

3.4.5 Densidade do solo (Ds) capacidade de armazenamento de água no solo (CA)

Foram coletadas amostras indeformadas de solo aos 76 DAS em anéis de aço com borda cortante e volume interno aproximado de 100 cm³. Os anéis foram pesados e medidos suas dimensões previamente para cálculo da densidade do solo. As amostras foram saturadas com água destilada, por um período de 24 horas, colocando-se atilhos em cada anel para evitar o escape de solo durante a saturação. Após a saturação, as amostras foram pesadas em balança, com precisão de 0,01g, e submetidas à tensão de 0,01MPa até a drenagem do excesso de água. Posteriormente, as amostras foram pesadas, levadas à estufa, por 24 horas a 105°C, e pesadas novamente.

Para determinação da umidade gravimétrica, utilizou-se a Equação 3:

$$Ug = \left(\frac{a-b}{b} \right) \quad (3)$$

Em que:

U = Umidade gravimétrica, g g⁻¹;

a = Massa da amostra após ser submetida à pressão utilizada, g; e

b = Massa da amostra seca a 105°C, g;

Com o peso do conjunto (massa do solo seco + anel + atilho), determinou-se a densidade do solo, de acordo com a Equação 4.

$$D_s = \frac{m_s}{v} \quad (4)$$

Em que:

D_s = Densidade do solo, g cm⁻³;

m_s = Massa do solo seco, g; e

v = Volume do anel, cm³.

Para determinação da umidade do solo na tensão de -1,5 Mpa, utilizou-se o método do psicrômetro WP4-T, que permite a medição do potencial da água na faixa de 0 a -300 MPa e de 3 a 6,5 pF (saturação para secagem) com uma precisão de 0,1 MPa. O equipamento foi devidamente calibrado com solução de KCl, antes de ser utilizado.

As amostras de solo foram retiradas dos anéis e uma porção de aproximadamente 5 g foi colocada em latinhas previamente pesadas. Foi estabelecido um limite de valor de leitura do potencial matricial do solo no aparelho, entre -1,0 e -2,0 MPa, sendo as amostras umedecidas com água destilada ou secas, de acordo com a leitura do equipamento, dentro do limite pré-estabelecido para atender ao valor de ponto de murcha permanente (-1,5 MPa). Posteriormente, as amostras foram pesadas em balança, com precisão de 0,001 g, levadas à estufa por 24 horas a 105°C e pesadas novamente.

A umidade gravimétrica dentro do limite de tensão estabelecido foi obtida pela Equação 5:

$$U_g = \frac{m_u - m_s}{m_u} \quad (5)$$

Em que:

U_g = Umidade gravimétrica, g g⁻¹;

m_u = Massa da amostra úmida, g; e

m_s = Massa da amostra seca a 105°C, g.

Para determinação da umidade volumétrica, utilizou-se a Equação 6:

$$\theta = U_g \times D_s \quad (6)$$

Em que:

Θ = Umidade volumétrica, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

U_g = Umidade gravimétrica, g g^{-1} ; e

D_s = Densidade do solo; g cm^{-3} .

A capacidade de armazenamento de água no solo (CA) foi calculada de acordo com a Equação 7.

$$CA = (\theta_{0.01\text{MPa}} - \theta_{-1.5\text{MPa}}) \times 10 \quad (7)$$

Em que:

CA = Capacidade de armazenamento de água no solo, mm cm^{-1} ;

$\Theta_{0.01\text{MPa}}$ = Umidade volumétrica na tensão 0.01MPa, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$; e

$\Theta_{-1.5\text{MPa}}$ = Umidade volumétrica na tensão -1.5MPa, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

3.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade (Lilliefors), homogeneidade de variâncias (Cochran e Bartlett), para posterior análise de variâncias. Após o estudo da análise de variância, para as características que tiveram interação significativa, foi realizado o desdobramento. Em seguida, realizou-se a análise de regressão, cujos modelos foram definidos pela significância ($p < 0.05$), pelo maior valor do coeficiente de determinação (R^2) e na resposta biológica para cada característica avaliada. Para realização das análises estatísticas, utilizou-se o programa R, versão 4.1.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parâmetros de crescimento do feijão caupi

O resumo das análises de variância para as características diâmetro do caule (DC, mm) e comprimento da haste principal (CHP, cm), determinadas nos estágios vegetativo, reprodutivo e de enchimento de grãos (47, 57 e 76 DAS) em plantas de feijão-caupi, está apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação das características DC (mm) e CHP (cm) determinadas aos 47, 57 e 76 DAS em plantas de feijão-caupi

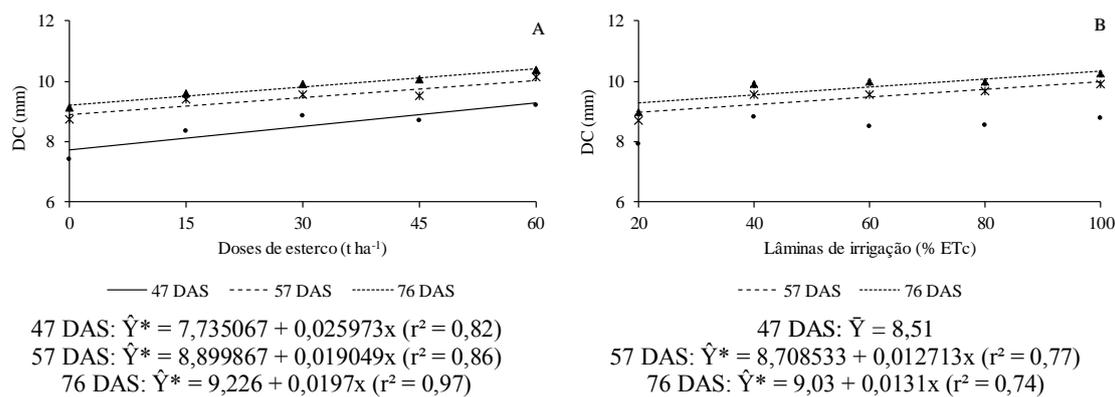
FV	GL	Quadrados médios					
		DC (mm)			CHP (cm)		
		47 (DAS)	57 (DAS)	76 (DAS)	47 (DAS)	57 (DAS)	76 (DAS)
Blocos	2	2,66 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1263,40*	1392,86*	1490,70*
Doses (D)	4	6,93*	4,40*	3,33*	986,37*	479,39*	512,54*
Lâmina (L)	4	1,96 ^{ns}	3,72*	3,45*	370,99*	685,68*	717,01*
D*L	16	0,84 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,24 ^{ns}	82,97 ^{ns}	90,21 ^{ns}	77,73 ^{ns}
Resíduo	48	0,94	0,80	0,98	74,9	77,98	71,22
CV (%)		11,40	9,40	10,06	23,74	17,87	16,53

*significativo ($p \leq 0,05$) pelo teste F.

Para as três épocas de avaliação (47, 57 e 76 DAS), observou-se efeito significativo das doses de esterco e, para as lâminas de irrigação apenas aos 57 e 76 DAS no diâmetro do caule do feijão caupi e em todas as épocas para o comprimento da haste principal (CHP), sendo que não ocorreu efeito de interação entre os fatores. Houve diferença significativa para fatores isolados para CHP, indicando que tanto as doses de esterco quanto os níveis de deficiência hídrica aplicados no solo influenciaram o crescimento do feijão caupi.

4.1.1 Diâmetro do caule (DC) e comprimento da haste principal (CHP)

A relação entre o diâmetro do caule e os tratamentos empregados foi definida pelo modelo linear, caracterizado por acréscimos nos fatores independentes (doses de esterco e lâminas de irrigação), conforme Figura 2.



Significativo, a 5% de probabilidade pela análise de variância da Regressão.

Figura 2 – Diâmetro do caule (DC, mm) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino ($t\ ha^{-1}$) (A) e a lâminas de irrigação (% ETc) (B), avaliado aos 47, 57 e 76 dias após a semeadura (DAS).

Na primeira avaliação (47 DAS), o maior valor médio de DC (9,21 mm) foi obtido com a aplicação do esterco na dose máxima ($60\ t\ ha^{-1}$), o que representa um incremento de 23,96%, quando comparado com a testemunha (7,43 mm). Todavia, quando analisada a relação entre DC e lâminas de irrigação, a maior efetividade deste fator foi verificada aos 57 e 76 DAS, com valores médios de 9,9 e 10,26 mm, respectivamente (Figura 2). Constata-se que, no início do desenvolvimento, a matéria orgânica influenciou mais o DC do que a lâmina de irrigação.

Pereira et al. (2013), em um estudo no qual avaliaram o crescimento e rendimento de feijão vigna submetido à adubação orgânica, obtiveram ganho de 12,44% no DC de plantas adubadas com 4 kg de esterco bovino, por cova, em relação às plantas com a ausência do adubo.

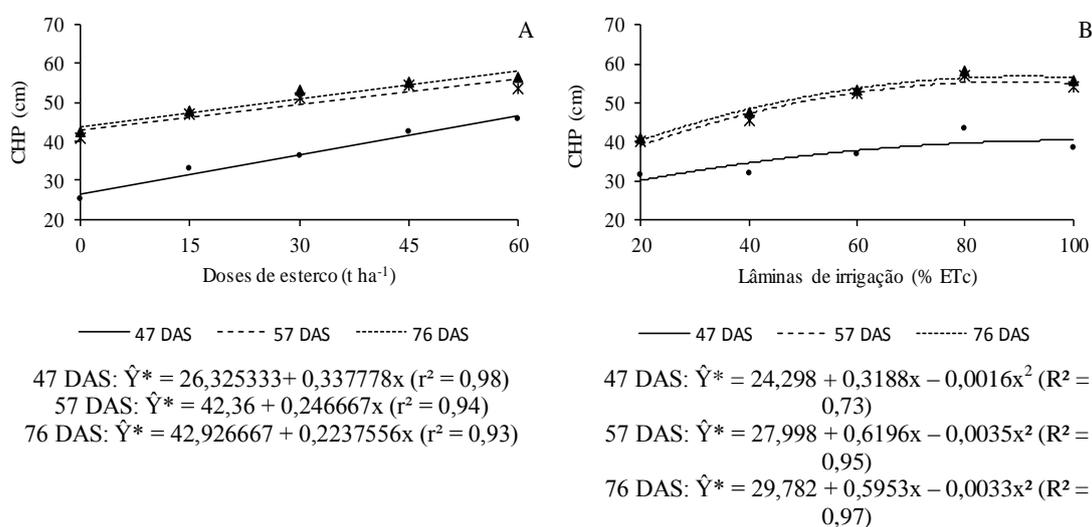
Não foi observada diferença significativa no diâmetro do caule aos 47 DAS para lâminas de irrigação, entretanto, mesmo as médias não diferindo estatisticamente, houve aumento do valor médio, à medida que se aumentou o aporte hídrico de 20% da lâmina (7,91 mm) para 100% da lâmina (8,79 mm), demonstrando que, sob condição de déficit hídrico, a expansão celular pode sofrer limitações.

Silva et al. (2017), em um estudo sobre a resposta do feijoeiro à lâmina de irrigação aplicada e evapotranspiração da cultura (ETc), constataram que lâminas de irrigação inferiores a 100% da ETc afetaram negativamente o desenvolvimento e crescimento da planta.

Os resultados demonstraram que o DC aumentou proporcionalmente às lâminas de água aplicada, sendo observado nas plantas que receberam 100% da ETc. Resultados

semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2012) e Deuner et al. (2011) na cultura do feijão, na qual o efeito do déficit hídrico é observado pelo menor crescimento do diâmetro do caule. Esse mesmo efeito ocorre em outras culturas, como girassol e eucalipto (Pereira et al., 2008; Araújo et al., 2012).

Na Figura 3 está representada a variação do CHP do feijão-caupi para diferentes doses de esterco e lâminas de irrigação, respectivamente. Observou-se que o incremento no CHP foi mais acentuado em relação às doses de esterco do que às lâminas de irrigação, quando comparados na mesma época de avaliação (47 DAS), em que as plantas de feijão caupi, cultivadas no tratamento com a maior dose de esterco, obtiveram CHP 82,22% maior do que a testemunha (Figura 3A). No tratamento com diferentes lâminas de irrigação, plantas irrigadas com 80% da ETc aumentaram em 22,7% o CHP, quando comparadas com a menor lâmina (Figura 3B).



Significativo, a 5% de probabilidade pela análise de variância da Regressão.

Figura 3 - Comprimento da haste principal (CHP, cm) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino (t ha⁻¹) (A) e a lâminas de irrigação (% ETc) (B), avaliado aos 47, 57 e 76 dias após a semeadura (DAS).

Comportamento semelhante foi observado nos resultados aos 57 e 76 DAS para os dois fatores, com uma diferença de aproximadamente 30% no CHP das plantas para ambos.

Turk e Hall (1980) e Hiler et al. (1972) relataram que, quando plantas de feijão caupi são submetidas à deficiência hídrica, apresentam baixa transpiração devido à redução da abertura estomática, como um ajuste à desidratação, refletindo diretamente na redução de altura de plantas. Para Leite et al. (1999), como a planta depende da

exportação de fotoassimilados da folha para outros órgãos, o estresse hídrico compromete essa exportação, causando redução no crescimento e produção do feijão caupi.

Nascimento et al. (2004), ao avaliarem o efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes, observaram reduções no CHP de 26% e 48% para os níveis de 60% e 40% de água disponível no solo.

Quando a turgescência da planta é reduzida e, conseqüentemente, há limitação da expansão celular, o alongamento do caule e das folhas é comprometido, e a indisponibilidade de água restringe a translocação de fotoassimilados, o que está diretamente ligado ao crescimento das plantas. Esse comportamento foi observado tanto nos tratamentos com doses de esterco, com ajuste linear crescente do modelo, quanto nas lâminas de irrigação, que se ajustou ao modelo quadrático.

O aumento do CHP, na medida em que houve um incremento de doses de esterco, pode ser explicado por dois fatores: maior disponibilidade de nutrientes pela aplicação do esterco e/ou maior disponibilidade de água para as plantas, visto que a matéria orgânica, além de agir como fertilizante, aumenta a capacidade de retenção de água. Fato constatado nos resultados obtidos para capacidade de armazenamento de água no solo (Figura 10A), nos quais se observou ajuste linear crescente para doses de esterco. Da mesma forma, a maior disponibilidade hídrica para planta conferiu maior crescimento das mesmas.

O aumento do teor de matéria orgânica, promovido pela adição de esterco, pode aumentar a disponibilização de nutrientes, atendendo às exigências nutricionais das plantas e, ainda, contribuir para a melhoria da capacidade de armazenamento de água no solo e da sua capacidade de troca de cátions, proporcionando melhor aproveitamento pela cultura dos nutrientes, originalmente presentes no solo (Borchardt et al., 2011).

As plantas, quando submetidas a algum tipo de estresse, neste caso, o déficit hídrico, inicialmente sofreram efeito negativo nas características fisiológicas, como foi observado neste estudo. Com a redução da lâmina de irrigação de 100% para 20% da ETc diária, houve um decréscimo gradativo da condutância estomática, e as plantas diminuíram sua transpiração para evitar a perda de água para a atmosfera. Esse mecanismo de defesa da planta afetou diretamente o processo fotossintético, influenciado pela redução do influxo de CO₂. Ainda, menor quantidade de água no

interior das células significa menor pressão de turgor, que é responsável pelo alongamento celular. Diante disso, os resultados das análises morfológicas indicaram que a irrigação deficitária afetou negativamente, tanto o DC quanto o CHP, mas que possivelmente este efeito foi mitigado pela adição de matéria orgânica no solo, visto que a capacidade de armazenamento de água foi aumentada (Figura 10A).

4.2 Parâmetros fisiológicos do feijão caupi

4.2.1 Trocas gasosas

O resumo das análises de variância para as trocas gasosas (condutância estomática (g_s , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de carbono ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (C_i), assimilação de CO_2 ($\mu\text{moles f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (A) e transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (E)), determinadas aos 47, 57 e 76 DAS em plantas de feij\u00e3o-caupi, est\u00e1 apresentado na Tabela 5.

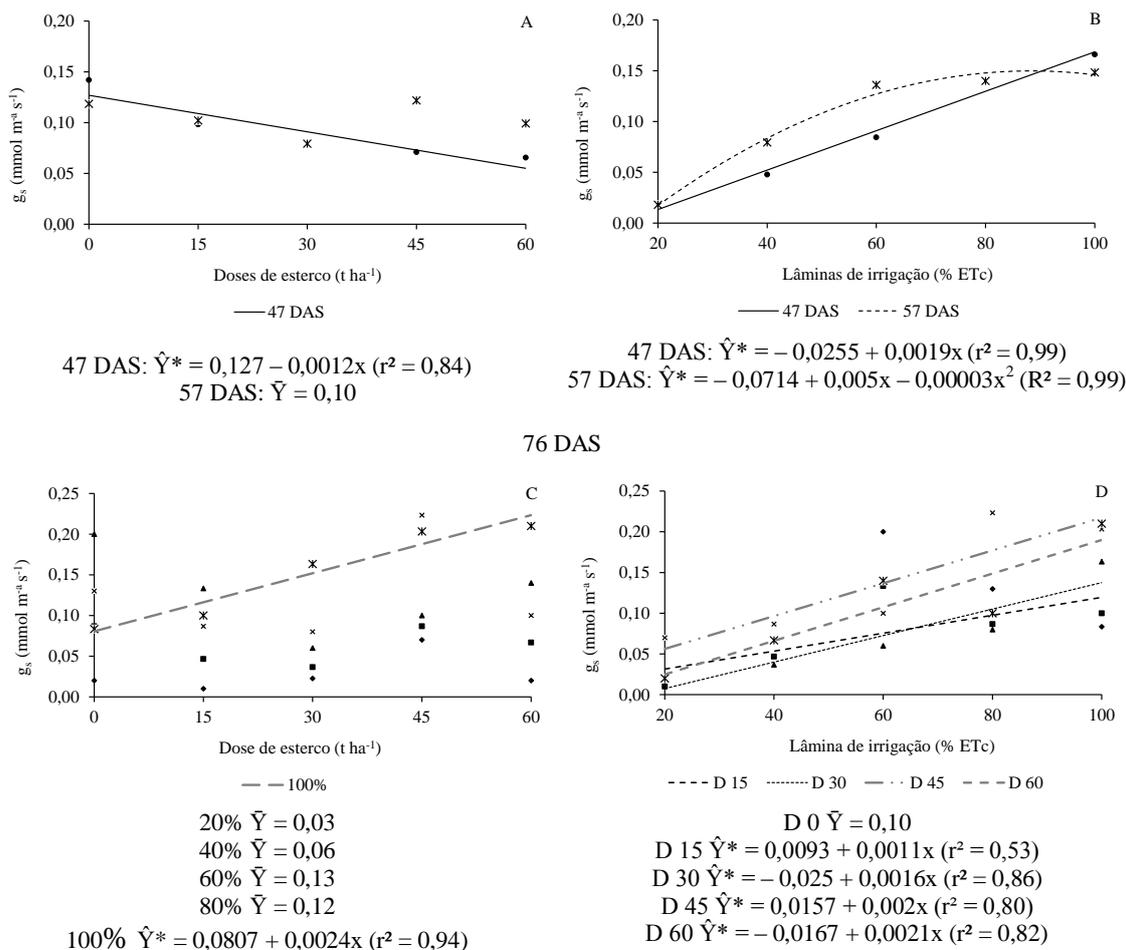
Tabela 5 - Resumo da an\u00e1lise de vari\u00e2ncia e coeficientes de varia\u00e7\u00e3o das caracter\u00edsticas condut\u00e2ncia estom\u00e1tica (g_s , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentra\u00e7\u00e3o interna de carbono (C_i , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), assimila\u00e7\u00e3o de CO_2 (A , $\mu\text{moles f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e transpir\u00e7\u00e3o (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) determinadas aos 47, 57 e 76 DAS em plantas de feij\u00e3o-caupi.

		Quadrados m\u00e9dios					
FV	GL	$g_s(\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1})$			$C_i(\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1})$		
		47 (DAS)	57 (DAS)	76 (DAS)	47 (DAS)	57 (DAS)	76 (DAS)
Blocos	2	0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,08 ^{ns}	6970,72*	3487,70 ^{ns}	7671,08*
Doses (D)	4	0,14*	0,04 ^{ns}	0,07 ^{ns}	7068,85 ^{ns}	4695,40 ^{ns}	3065,41 ^{ns}
L\u00e2minas (L)	4	0,57*	0,46*	0,13*	1672,83 ^{ns}	1827,50 ^{ns}	6247,13*
D*L	16	0,03 ^{ns}	0,021 ^{ns}	0,11*	4978,05*	4415,80 ^{ns}	3836,67 ^{ns}
Res\u00edduo	48	0,02	0,016	0,023	951,87	2401,26	2179,87
CV (%)		53,23	38,49	46,65	19,53	24,75	21,83
		Quadrados m\u00e9dios					
FV	GL	$A(\mu\text{moles f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1})$			$E(\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1})$		
		47 (DAS)	57 (DAS)	76 (DAS)	47 (DAS)	57 (DAS)	76 (DAS)
Blocos	2	42,86*	41,41*	0,56 ^{ns}	3,87*	3,77*	8,24*
Doses (D)	4	110,75*	26,84*	62,84*	2,10*	1,62 ^{ns}	4,06 ^{ns}
L\u00e2minas (L)	4	126,57*	98,24*	70,36*	12,96*	22,46*	18,22*
D*L	16	32,32*	21,86*	31,74*	0,58 ^{ns}	1,10 ^{ns}	1,58 ^{ns}
Res\u00edduo	48	15,41	7,36	26,22	0,49	0,43	0,91
CV (%)		27,57	23,98	51,66	45,82	26,88	40,26

*significativo ($p \leq 0,05$) pelo teste F.

Analisando os dados da Tabela 5, verificou-se diferença significativa para fatores isolados aos 47 DAS, exceto para concentração interna de carbono para doses de esterco. Aos 57 e 76 DAS, as variáveis analisadas não foram significativas para doses de esterco, exceto para assimilação de CO₂. Quanto à lâmina de irrigação, apenas a concentração interna de carbono não foi significativa na avaliação ocorrida aos 57 dias. Para condutância estomática, observou-se interação significativa aos 76 DAS; para concentração interna de carbono, aos 47 DAS; e assimilação de CO₂ em todas as épocas.

Observou-se redução na abertura estomática com o aumento das doses de esterco aos 47 DAS (Figura 4A) e comportamento contrário para lâminas de irrigação aos 47 DAS, com ajuste linear crescente (Figura 4B). Aos 57 DAS, houve ajuste quadrático do modelo, à medida que se aumentou as lâminas de irrigação, de acordo com a Figura 4B. Convém mencionar que, aos 57 DAS, esse aumento estabilizou após o seu ponto de máximo (83,33 % da ETc), ou seja, o aumento da disponibilidade de água não refletiu em ganhos na condutância estomática a partir desse ponto.



Significativo, a 5% de probabilidade pela análise de variância da Regressão.

Figura 4 - Condutância estomática (g_s , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino (t ha^{-1}) (A e C) e a lâminas de irrigação (% ETC) (B e D), avaliado aos 47 e 57 dias, após a semeadura (DAS) (A e B), e aos 76 DAS (C e D).

Aos 76 DAS, houve efeito significativo da interação, sendo assim, foi feito o estudo do desdobramento da g_s (Figura 4C e D), que aumentou linearmente com o aumento das doses de esterco para a lâmina de 100%, assim como para as dosagens de esterco em função das lâminas de irrigação.

Observou-se aos 47 DAS que as plantas de feijão caupi reduziram linearmente a abertura estomática com o aumento das doses de esterco. Sabe-se que a matéria orgânica pode reter até 20 vezes sua massa em água, mas que parte dessa água fica retida na estrutura interna (Stevenson, 1994). Assim, uma hipótese a ser levantada é que, apesar do esterco bovino reestruturar o solo, permitindo maior retenção de água, a fração da água que deveria ser disponibilizada para as plantas foi reduzida, provocando estresse por deficiência hídrica, fazendo com que os estômatos diminuíssem sua

abertura. Esse comportamento decrescente da reta foi observado também para E (Figura 7A), ou seja, menos estômatos abertos confere menor perda de água da planta para a atmosfera.

O menor valor médio observado ($0,02 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na lâmina de 20% da E_{Tc} , para as avaliações aos 47 e 57 DAS, justificam os resultados obtidos para assimilação de CO_2 e transpiração para as mesmas épocas avaliadas, mostrando que, ao aumentar o suporte hídrico, a condutância estomática saiu do valor crítico mencionado acima e atingiu o valor médio máximo de 0,17 e 0,15 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na lâmina de 100% para as respectivas épocas avaliadas. Uma vez que o g_s é responsável por quase todas as atividades dos fatores internos e externos da planta relacionados com déficit hídrico, é um fator altamente integrador do efeito global do estresse hídrico sobre as características fisiológicas (Singh e Reddy, 2011; Silva et al., 2014).

Quanto às relações hídricas e trocas gasosas, sabe-se que o influxo de CO_2 ocorre necessariamente através dos estômatos, ocorrendo também o efluxo de água, por meio da transpiração, sendo o movimento estomático o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores (Silva et al., 2015). Dessa forma, a redução da condutância estomática pode acarretar prejuízos às plantas, como diminuição da atividade fotossintética (Cavatte et al., 2012), o que pode ser observado nos resultados deste estudo.

A redução da condutância estomática é explicada por Kerbauy (2009), que relata que, quando a planta se encontra em estresse hídrico, tende a fechar seus estômatos para reduzir a perda de água e preservar seu turgor (maior potencial de água) em algumas espécies, constituindo-se numa importante característica de tolerância à seca (Mendes et al., 2007).

Em um estudo sobre a eficiência da fotossíntese e produção de diferentes cultivares de feijão caupi submetidas ao déficit hídrico, Melo et al. (2018) indicaram efeitos negativos de lâminas inferiores a 80% da E_{Tc} , pois, devido à redução da abertura estomática, as plantas obtiveram decréscimo acentuado na assimilação de CO_2 .

A concentração interna de CO_2 apresentou interação significativa entre os fatores avaliados aos 47 DAS. Assim sendo, realizou-se o desdobramento da interação em que o fator lâminas de irrigação, dentro das doses de esterco bovino, não apresentou ajuste de modelo. Para o fator doses de esterco dentro das lâminas de irrigação, foi observado maior acúmulo de gás ($229,4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) nas plantas irrigadas com 20%

da ETc, com pontos de mínimo de 71,0% da ETc (D15), 64,80% da ETc (D45) e 73,68% da ETc (D60), conforme Figura 5.

47 DAS

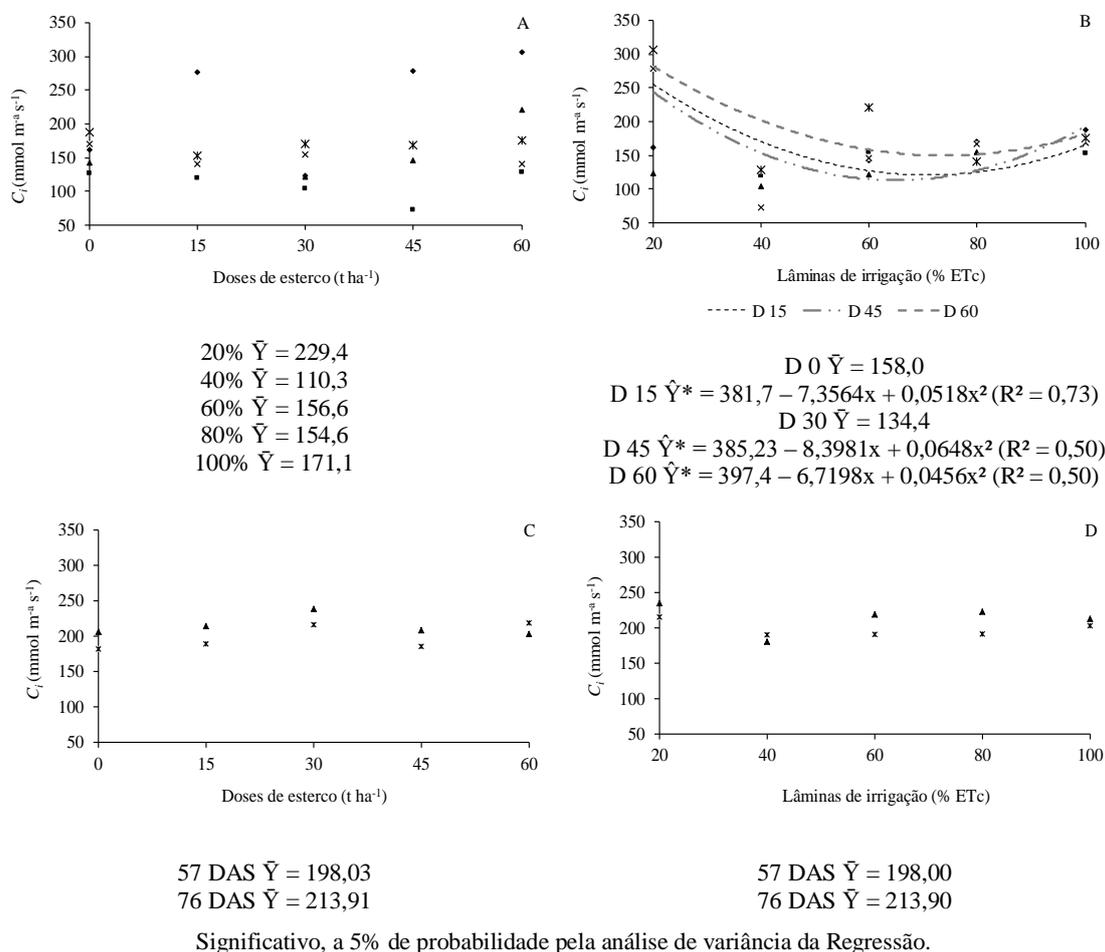


Figura 5 - Concentração interna de CO₂ (C_i, mmol m⁻² s⁻¹) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino (t ha⁻¹) (A e C) e a lâminas de irrigação (% ETc) (B e D), avaliado aos 47 dias, após a semeadura (DAS) (A e B), e aos 57 e 76 DAS (C e D).

A ocorrência desses resultados revela uma tendência de redução da fotossíntese líquida em plantas sob condição de déficit hídrico, ou seja, menor fixação de CO₂ e, conseqüentemente, maior acúmulo de carbono na câmara subestomática.

Meloni et al. (2003) afirmam que a redução ou acúmulo de C_i depende do nível de estresse ao qual a planta foi submetida. Para Prado et al. (2001), a diminuição nos valores de C_i está relacionada com a redução do influxo de CO₂ causada pelo decréscimo de estômatos abertos. Segundo Nascimento et al. (2009), a redução na abertura dos estômatos é o principal fator limitante para a assimilação de CO₂, pois

quanto maior a condutância estomática, maior a difusão de CO₂ para a câmara subestomática.

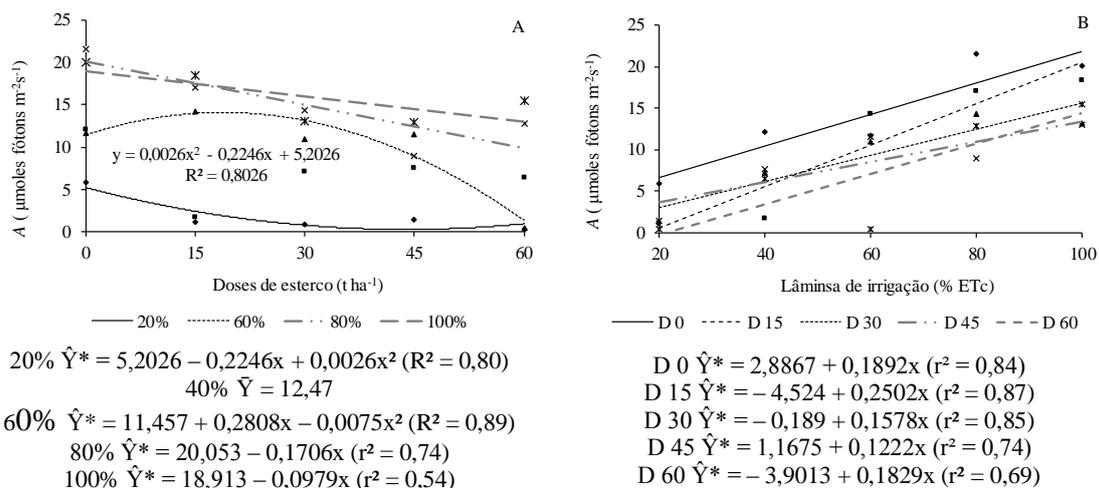
A assimilação de carbono é o processo pelo qual a planta sintetiza compostos orgânicos a partir de água e gás carbônico sob a presença de luz. Com relação a esta característica, constata-se que o comportamento foi muito variável ao longo do ciclo da cultura, mesmo apresentando significância nos fatores isolados e na interação. Aos 47 DAS, a assimilação de CO₂ diminuiu com o aumento das doses de esterco para as lâminas de irrigação de 80 e 100% da ETc. Para as lâminas de irrigação, houve um aumento linear crescente da assimilação em todas as dosagens de esterco.

Na Figura 6A, verifica-se que, para as lâminas de 80 e 100% da ETc, dentro das doses de esterco, foram encontrados maiores valores médios de *A*, havendo redução linear à medida que se aumentou as doses de esterco, comportamento semelhante foi observado para *g_s* e *E*. Para a lâmina de irrigação de 60% da ETc, a dose de esterco 18,72 t ha⁻¹ proporcionou a maior assimilação do carbono. A lâmina de 20% da ETc apresentou comportamento decrescente, com ponto de inflexão para a dose de 43,19 t ha⁻¹. Na Figura 6B, observa-se que, para todas as doses, houve comportamento crescente linear com o aumento das lâminas de irrigação, sendo o maior valor médio encontrado na dose de 0 t ha⁻¹.

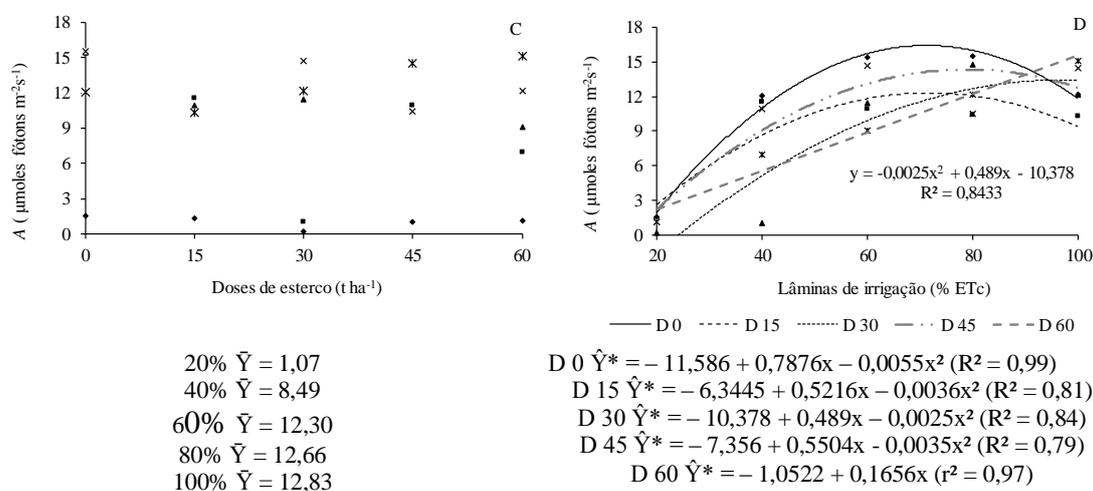
Na avaliação aos 57 DAS, houve comportamento linear apenas para a dose de 60 t ha⁻¹, com incremento de 13,25 fótons m⁻²s⁻¹ entre a menor e a maior lâmina (Figura 6D). Para as outras doses, o melhor modelo ajustado foi o quadrático, com pontos máximos de 71,60% da ETc (D0), 72,44% da ETc (D15), 97,80% da ETc (D30) e 78,63% da ETc (D45).

Já aos 76 DAS, a assimilação do carbono para a lâmina de irrigação de 100% foi linear crescente com o aumento da dose de matéria orgânica. Isso também ocorreu em função do aumento da lâmina de irrigação (Figura 6E e F).

47 DAS



57 DAS



76 DAS

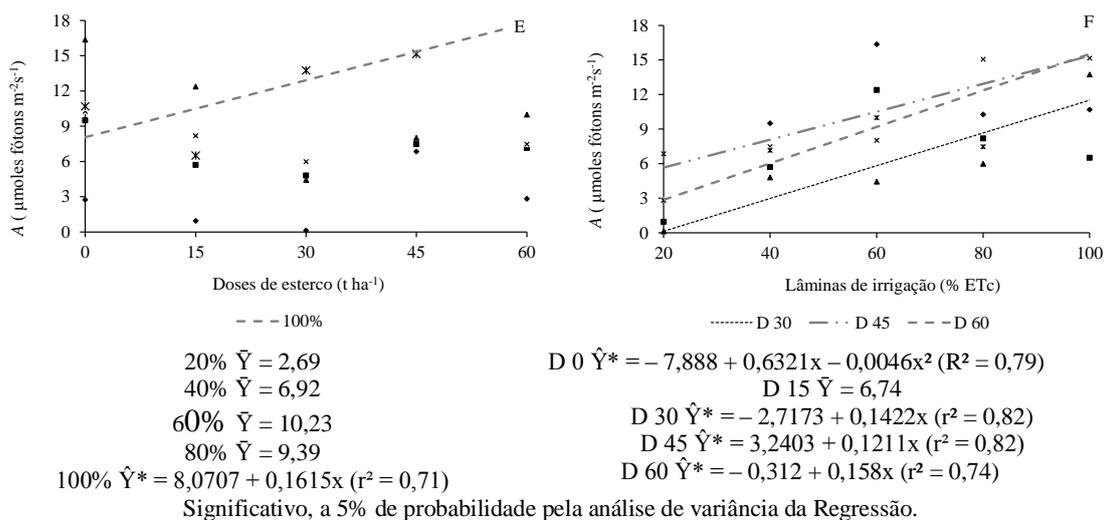
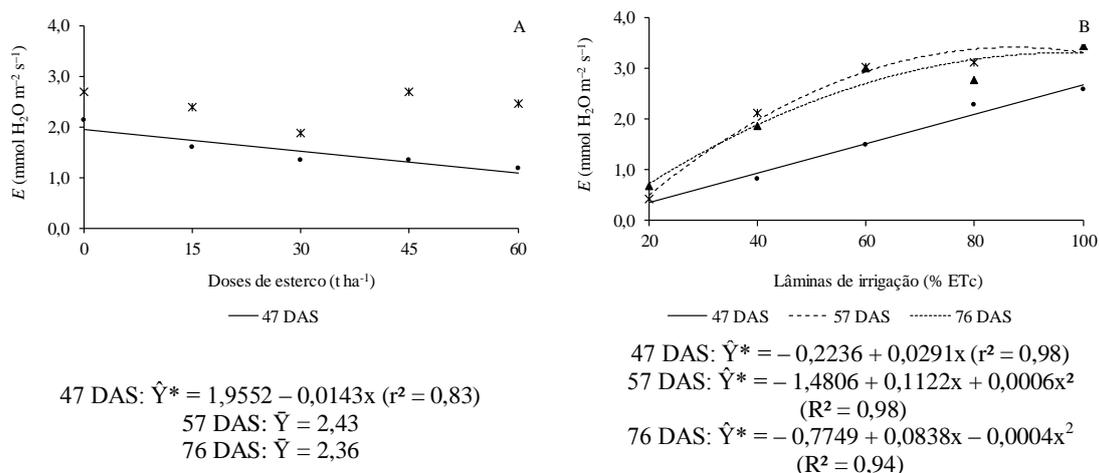


Figura 6 - Assimilação de CO₂ (A, μmoles fótons m⁻²s⁻¹) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino (t ha⁻¹) (A, C e E) e a lâminas de irrigação (% ETC) (B, D e F), avaliado aos 47, 57 e 76 dias após a semeadura (DAS).

Estudos indicam que a biomassa de leguminosas pode ser prejudicada por déficit hídrico moderado e severo (Farooq et al., 2017). Plantas com déficit hídrico apresentam alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas que afetam seu crescimento, pois a diminuição da disponibilidade hídrica reduz o teor de água nos tecidos vegetais, aumentando a temperatura do dossel, com redução no teor de clorofila e, conseqüentemente, menor atividade fotossintética (Kumar et al., 2016; Karim et al., 2018).

Para transpiração (E), houve efeito significativo para as doses de esterco aos 47 DAS, quando a transpiração decresceu linearmente à medida que se aumentou as doses de esterco, corroborando os resultados obtidos para g_s no mesmo período avaliado.

Para as lâminas de irrigação, a transpiração aumentou significativamente em todas as avaliações com o aumento das lâminas de irrigação, com ajuste linear aos 47 DAS e quadrático aos 57, obtendo-se ponto máximo de 93,5% da ET_c ; e, para 76 DAS, obteve-se o ponto máximo na lâmina de 100% da ET_c .



Significativo, a 5% de probabilidade pela análise de variância da Regressão.

Figura 7 - Transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino (t ha^{-1}) (A) e a lâminas de irrigação (% ET_c) (B), avaliado aos 76 dias após a semeadura (DAS).

É importante ressaltar que existe uma relação direta entre transpiração e condutância estomática, tendo em vista que há diminuição do fluxo de vapor d'água para a atmosfera e, conseqüentemente, da transpiração, na medida em que se fecham os estômatos (Gonçalves et al., 2010).

As plantas de feijão-caupi com maior estresse por deficiência hídrica mostraram menor atividade estomática e, por conseguinte, redução na proporção de trocas gasosas; por outro lado, as plantas sem limitação hídrica permaneceram com os estômatos abertos, demonstrando que o feijão-caupi, mesmo com toda a sua rusticidade, apresentou melhor desempenho biológico à medida que o fornecimento de água aumentou.

Durante o estresse por déficit hídrico, os danos à maquinaria fotossintética ocorrem, principalmente, a partir da diminuição da condutância estomática, impulsionada pela baixa disponibilidade hídrica no solo (Hlaváčová et al., 2018), resultando em um mecanismo para evitar a perda de água pelos estômatos, por meio da diminuição da transpiração da planta. Em contrapartida, ocorre restrição à produção, devido à limitação na fixação de CO₂, inibindo, assim, seu crescimento e desenvolvimento (Rivas et al., 2016).

4.2.2 Potencial hídrico foliar (Ψ_w)

O resumo da análise de variância para o potencial hídrico foliar, determinado aos 47, 57 e 76 DAS em plantas de feijão-caupi, está apresentado na Tabela 6. O potencial hídrico foliar não diferiu estatisticamente para o fator doses de esterco, apresentando diferenças significativas para o fator lâminas de irrigação em todas as épocas avaliadas.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância e coeficientes de variação da característica potencial hídrico foliar (MPa, Ψ_w) determinada aos 47, 57 e 76 DAS em plantas de feijão-caupi

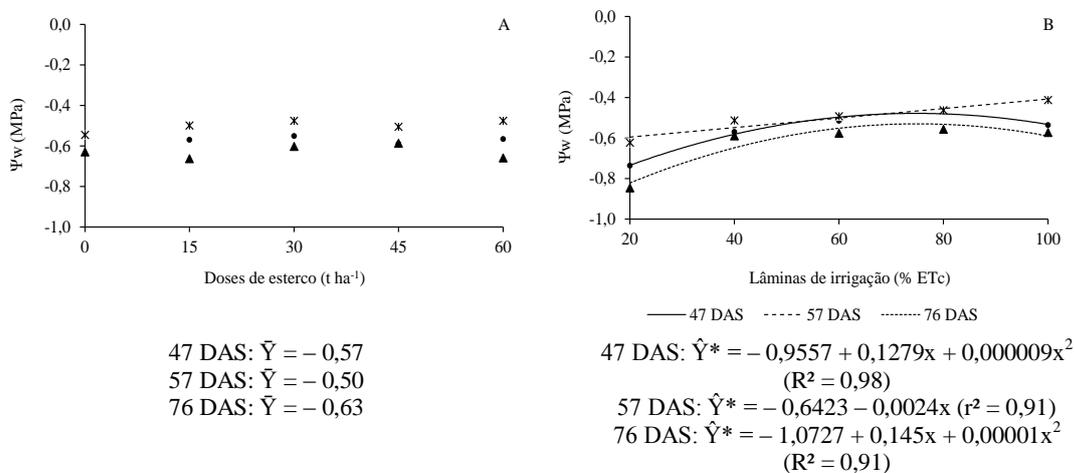
FV	GL	Quadrados médios		
		Potencial hídrico foliar (MPa)		
		47 (DAS)	57 (DAS)	76 (DAS)
Blocos	2	0,14*	0,23 ^{ns}	0,82 ^{ns}
Doses (D)	4	0,43 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Lâminas (L)	4	0,16*	0,91*	0,22*
D*L	16	0,17 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,20 ^{ns}
Resíduo	48	0,28	0,11	0,28
CV (%)		29,37	21,21	26,64

*significativo ($p \leq 0,05$) pelo teste F.

Aos 47 e 76 DAS, as equações se ajustaram ao modelo quadrático, obtendo-se ponto máximo em 71,11 e 72,5% da ETc, respectivamente e, aos 56 DAS a equação

ajustou-se ao modelo linear. Houve déficit hídrico imposto pelos tratamentos, em que a redução das lâminas de 444,79 mm ciclo⁻¹ da irrigação plena para a menor lâmina de 88,96 mm ciclo⁻¹ provocou valores médios mais negativos (-0,85 MPa) no potencial hídrico foliar, quando as plantas foram avaliadas aos 76 DAS (Figura 8).

Essa variação no potencial hídrico com relação às lâminas de irrigação é uma resposta da planta à demanda evaporativa da atmosfera (transpiração) e também à redução da disponibilidade de água no solo. O déficit hídrico causa redução na abertura estomática e transpiração, sendo que essas reduções estão acompanhadas paralelamente pela queda no potencial hídrico foliar.



Significativo, a 5% de probabilidade pela análise de variância da Regressão.

Figura 8 - Potencial hídrico (Ψ_w) (MPa) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino (t ha⁻¹) (A) e a lâminas de irrigação (% ETc) (B), avaliado aos 47, 57 e 76 dias após a semeadura (DAS).

Nenhum dos tratamentos sob deficiência hídrica alcançou valores de Ψ_w inferiores a -2,5 MPa que, segundo Kozłowski (1968), é considerado um limite letal para o feijão caupi. Plantas com potenciais hídricos foliares entre -1,0 e -2,0 MPa indicam uma deficiência hídrica moderada e relativa tolerância à seca, segundo afirmam Taiz e Zeiger (2004). Os tratamentos utilizados mostraram-se eficazes na manutenção e disponibilidade da água no solo, que será utilizada pela cultura para manter sua turgescência, não indicando uma falta de água à cultura, o que evidencia que a planta é tolerante ao déficit hídrico.

4.3 Características produtivas do feijão caupi e da água

O resumo da análise de variância para a produtividade da cultura (PROD, t h⁻¹) do feijão-caupi e produtividade da água (Ya, kg mm⁻¹) está apresentado na Tabela 7. Ambas as características diferiram estatisticamente apenas para os fatores isolados.

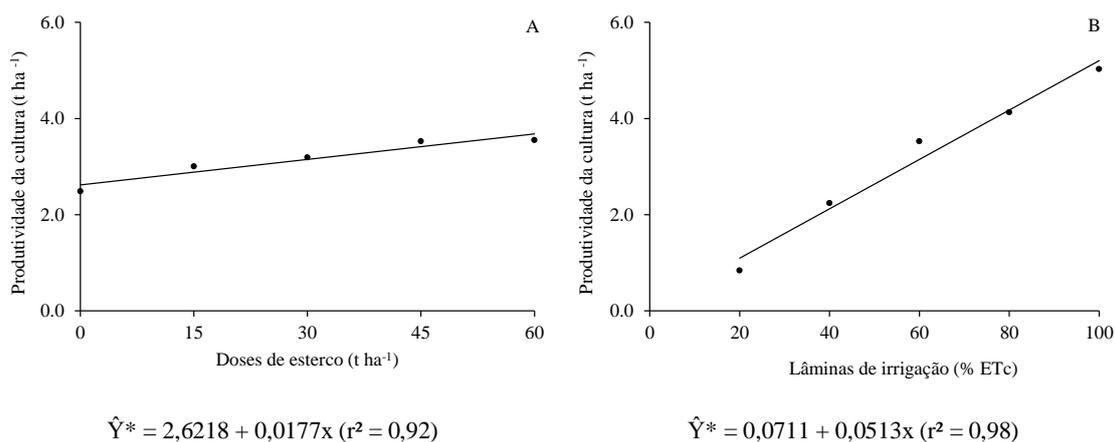
Tabela 7 - Resumo da análise de variância e coeficientes de variação da característica produtividade da cultura (PROD, t ha⁻¹) e produtividade da água (Ya, kg mm⁻¹) determinadas aos 76 DAS em plantas de feijão-caupi

FV	GL	Quadrados médios	
		PROD (t ha ⁻¹)	Ya (kg mm ⁻¹)
Blocos	2	16093,47 ^{ns}	0,036208 ^{ns}
Doses (D)	4	2860442,04*	0,795150*
Lâminas (L)	4	40488642,55*	0,316873*
D*L	16	453594,21 ^{ns}	0,178857 ^{ns}
Resíduo	48	731468,63	0,11425
CV (%)		27,14	29,09

*significativo ($p \leq 0,05$) pelo teste F.

4.3.1 Produtividade da cultura (PROD)

A produtividade de grãos da cultura apresentou um comportamento linear crescente em função dos tratamentos doses de esterco e lâminas de irrigação (Figura 12A). Para doses de esterco, a produtividade aumentou em 29,86% da ausência da matéria orgânica para a maior dose (60 t ha⁻¹). Para as lâminas de irrigação, o rendimento médio dos grãos sofreu forte influência da redução no suprimento hídrico, causando uma queda na produtividade de 377,5% da irrigação plena em relação à testemunha (Figura 12B). Isso evidencia que o fornecimento de água é mais importante para a cultura do feijão-caupi do que o uso de matéria orgânica, não sendo descartada também a sua utilização. Isso também pode evidenciar que, pelo curto período de ciclo da cultura, a matéria orgânica presente no esterco não foi plenamente decomposta e, assim, não exerceu sua influência no aporte de nutrientes.



*Significativo, a 5% de probabilidade pela análise de variância da Regressão.

Figura 9 – Produtividade do feijão caupi submetido a diferentes doses de esterco bovino (A) e lâminas de irrigação (% ETc) (B), avaliado aos 47, 57 e 76 dias após a semeadura (DAS).

Ao analisar o efeito dos níveis de água na produtividade do feijão-caupi, constatou-se que os menores valores de produtividade ocorreram em virtude do estresse hídrico imposto pelas menores lâminas. Esse resultado corrobora os encontrados por Oliveira et al. (2015) que, ao submeterem plantas de feijão-caupi a diferentes lâminas de irrigação, observaram redução nos componentes de produção e na produtividade da cultura nas menores lâminas.

À medida que as plantas de feijão-caupi foram submetidas ao estresse por deficiência hídrica, provocado pela redução das lâminas ao longo do ciclo de 444,79 para 88,96 mm ciclo⁻¹, o potencial hídrico foliar atingiu valores mais negativos (Figura 8B), principalmente aos 76 DAS, quando as plantas estavam na fase de enchimento dos grãos, diminuindo a condutância estomática e transpiração. Como a água atua como regulador térmico nas plantas, o aumento da temperatura foliar pode causar danos, como aumento da atividade respiratória, diminuição da eficiência catalítica da Rubisco, aumento das irradiâncias de compensação e saturação da fotossíntese e redução da eficiência fotossintética, e tudo isso está relacionado à translocação de fotoassimilados que resulta em uma menor produtividade (Figura 9B).

Segundo Santos et al. (2000), tradicionalmente o caupi é cultivado em regime de sequeiro, porém, nessas condições, a produtividade média alcançada no âmbito dos produtores é da ordem de 300 kg ha⁻¹ de grãos e, em condições irrigadas, pode atingir 1.520 kg ha⁻¹ de grãos. Fazendo uma relação desses dados com os observados no presente estudo, pode-se afirmar que, apesar do feijão caupi ter sido submetido ao

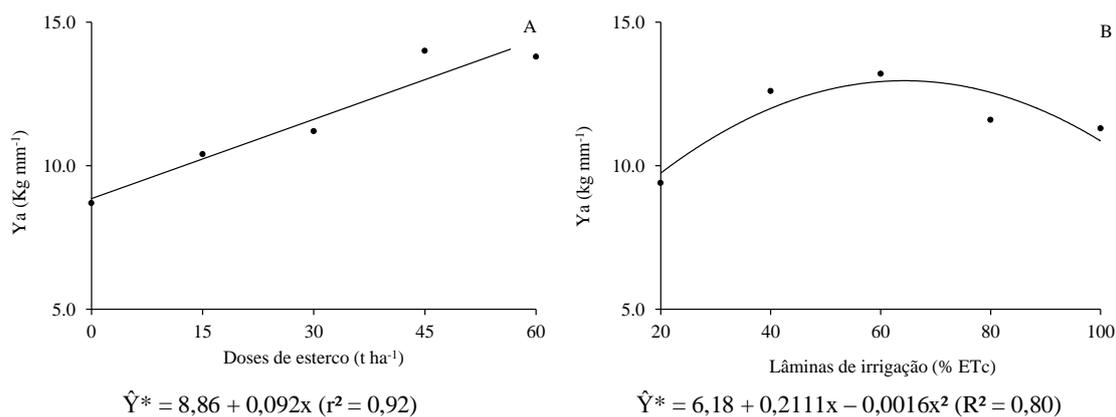
déficit hídrico, obteve-se valores médios de produtividade na menor lâmina, durante o ciclo (88,96 mm) de 840 kg ha^{-1} , demonstrando que a cultivar possui alta rusticidade.

Os rendimentos encontrados foram maiores do que a média do Nordeste, que é de 465 kg ha^{-1} (Conab, 2021) para o tratamento com a dose máxima de esterco (60 t ha^{-1}), apresentando o maior valor médio de $3,55 \text{ t ha}^{-1}$ e de 4 t ha^{-1} para o tratamento com irrigação plena (100% ETc). Esses valores também superam os valores médios encontrados por Andrade Júnior et al. (2002), para a cultivar ‘BR17 Gurguéia’ (2.809 kg ha^{-1}), submetida a diferentes lâminas de irrigação; e por Teixeira et al. (2010), para ‘BRS Guariba’ (2.221 kg ha^{-1}), ‘BR17 Gurguéia’ (2.196 kg ha^{-1}) e ‘BRS Marataoã’ (1.392 kg ha^{-1}). No entanto, Ramos et al. (2014), ao avaliarem a produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos, encontraram valor de produtividade média de $2.927,3 \text{ kg ha}^{-1}$ com lâmina de irrigação de $354 \text{ mm ciclo}^{-1}$ para cultivar BRS Guariba.

4.3.2 Produtividade da água (Ya)

A produtividade da água, em função das doses de esterco, se ajustou ao modelo linear, havendo acréscimo de 58,62% da testemunha para a maior dose de esterco aplicada (60 t ha^{-1}), de acordo com a Figura 13A. Este resultado foi influenciado pela maior capacidade de armazenamento de água no solo, que obteve o mesmo ajuste em relação ao aumento das doses de esterco. Assim, a quantidade de água utilizada pela planta foi otimizada pela adição da matéria orgânica.

A produtividade da água para a produtividade de grãos verdes, em função das lâminas de irrigação, se ajustou ao modelo quadrático, com ponto máximo em 65,97% da ETc (Figura 13B), o que correspondeu a uma lâmina de $293 \text{ mm ciclo}^{-1}$, corroborando os resultados encontrados por Ramos et al. (2014), nos quais a máxima eficiência de uso da água para a produtividade de grãos, para a cultivar BRS Guariba, foi observada com lâmina de $231 \text{ mm ciclo}^{-1}$. Isso indica que nem sempre a máxima produtividade da água é alcançada na produtividade máxima da cultura.



Significativo, a 5% de probabilidade pela análise de variância da Regressão.

Figura 10 – Produtividade da água (Ya) (kg mm⁻¹) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino (t ha⁻¹) (A) e a lâminas de irrigação (% ETc) (B), avaliado aos 76 dias após a semeadura (DAS).

Locatelli et al. (2014) encontraram valor médio de máxima produtividade da água de 9,74 kg mm⁻¹, para BRS Guariba, na lâmina de 30% da ETc (107,3 mm ciclo⁻¹), atingindo produtividade da cultura de 1190,67 kg ha⁻¹. Segundo Andrade Júnior et al. (2002), a aplicação das lâminas visando à máxima produção de grãos, no nível obtido com a lâmina mais eficiente, evita o desperdício de água. A disponibilidade de água é um fator relevante a ser considerado, quando se espera ganhos na produção do feijão-caupi, e o manejo adequado da irrigação pode promover a máxima produtividade da água.

4.4 Características do solo

4.4.1 Densidade aparente do solo (Ds) e capacidade de armazenamento de água no solo (CA)

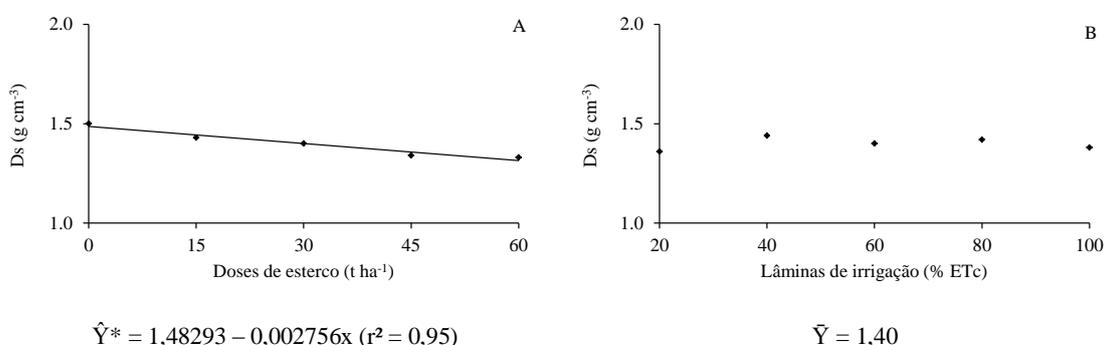
O resumo da análise de variância para a densidade do solo (Ds, g cm⁻³) e capacidade de armazenamento de água no solo (CA, mm cm⁻¹) está apresentado na Tabela 8. As duas características avaliadas diferiram estatisticamente apenas para o fator dose de esterco.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância e coeficientes de variação das características densidade do solo (Ds, g cm⁻³) e capacidade de armazenamento de água no solo (CA, mm cm⁻¹) determinadas aos 76 DAS em plantas de feijão-caupi

FV	GL	Quadrados médios	
		Ds (g cm ⁻³)	CA (mm cm ⁻¹)
Blocos	2	0,014009 ^{ns}	0,396412 ^{ns}
Doses de esterco (D)	4	0,067032 [*]	0,671629 ^{**}
Lâminas de irrigação (L)	4	0,0014509 ^{ns}	0,022755 ^{ns}
D*L	16	0,031827 ^{ns}	0,283266 ^{ns}
Resíduo	48	0,022100	0,155598
CV%		10,62	34,11

*significativo ($p \leq 0,05$) pelo teste F.

A densidade do solo (Ds) diminuiu com o aumento das doses de esterco com ajuste linear, sendo o menor valor médio (1,33 g cm⁻³) obtido na dose máxima de 60 t ha⁻¹, indicando uma redução de 12,78%, quando comparada com a testemunha. A diminuição da Ds (Figura 11A) está relacionada com o aumento da macroporosidade, no diâmetro médio de partículas do solo, e na diluição de materiais de menor densidade presentes no esterco bovino, que, quando misturados ao solo com materiais de maior densidade, resulta em menor massa por unidade de volume de solo.

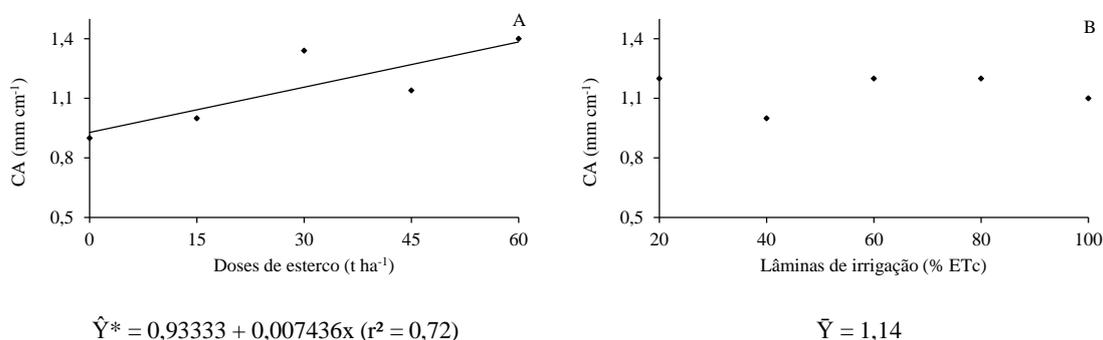


Significativo, a 5% de probabilidade pela análise de variância da Regressão.

Figura 11 – Densidade aparente do solo (ds) (g cm⁻³) em feijão-caupi submetido a doses de esterco bovino (t ha⁻¹) (A) e a lâminas de irrigação (% ETc) (B), avaliado aos 76 dias após a semeadura (DAS).

Observou-se um ajuste linear do modelo da CA ao aumentar as doses de esterco bovino (Figura 12A). O incremento de matéria orgânica no solo também contribui para a retenção de água pelo solo. Sendo ele, associado a menor intensidade de revolvimento, melhora substancialmente sua estrutura, o que favorece o desenvolvimento radicular,

aumentando, assim, o tamanho do reservatório de água disponível (Araújo et al., 2004; Franchini et al., 2009).



Significativo, a 5% de probabilidade pela análise de variância da Regressão.

Figura 12 – Capacidade de armazenamento de água no solo (CA) (mm cm⁻¹) em feijão caupi submetido a doses de esterco bovino (t ha⁻¹) (A) e a lâminas de irrigação (% ETC) (B), avaliado aos 76 dias após a semeadura (DAS).

A água é fator limitante para o crescimento e desenvolvimento do feijão-caupi e afeta diretamente a produtividade da cultura, neste caso, é de suma importância que haja uma “reserva de água”, de maneira que a demanda atmosférica seja balanceada com esse abastecimento no solo, no entanto, o grande impasse é que a demanda evaporativa é praticamente constante e o regime de chuvas, principalmente na região Nordeste, é desuniforme e deficitário na maioria das vezes. Diante disso, o incremento de matéria orgânica no solo pode minimizar os efeitos negativos do déficit hídrico, onde ela pode reter até 20 vezes a sua massa em água, formando unidades estruturais mais estáveis, com aumento na permeabilidade da água e no armazenamento de água no solo.

5 CONCLUSÕES

O aumento das doses de esterco proporcionou maiores valores médios nas características morfológicas do feijão-caupi, possivelmente pelo incremento de esterco bovino no solo e aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas.

As maiores taxas fisiológicas foram encontradas com lâmina de 100% da ETc, evidenciando que, biologicamente e agronomicamente, o feijão-caupi cultivar BRS Guariba responde bem à irrigação plena.

A produtividade da cultura aumentou linearmente com a adição de esterco bovino no solo e com as lâminas de irrigação. A relação entre a produtividade da cultura com a quantidade de água utilizada, durante todo o ciclo, atingiu seu ponto máximo, quando foi utilizada uma lâmina de 66% da ETc.

A adição de esterco bovino diminuiu a densidade do solo e aumentou a capacidade de armazenamento de água. Entretanto, estudos mais aprofundados deverão ser conduzidos, pois, devido ao ciclo curto do feijão-caupi, essas características não influenciaram na redução da lâmina de irrigação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade Júnior, A.S.; Rodrigues, B.H.N.; Frizzone, J.A.; Cardoso, M.J.; Bastos, E.A.; Melo, F.B. Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.17-20, 2002.
<https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000100004>
- Araújo, M.A.; Tormena, C.A.; Silva, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000200012>.
- Araújo, T.V.O.; Lima, A.D.; Marinho, A.B.; Duarte, J.M.L.; Azevedo, B.M.; Costa, S. C. Lâminas de irrigação e coberturas do solo na cultura do girassol, sob condições semiáridas. **Irriga**, v. 17, n. 2, p. 126, 2012.
<https://doi.org/10.15809/irriga.2012v17n2p126>
- Bandyopadhyay, K.K.; Misra, A.K.; Ghosh, P.K.; Hati, K.M. Effect of integrated use of farmyard manure and chemical fertilizers on soil physical properties and productivity of soybean. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 115-125, 2010.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2010.07.007>
- Barraclough, G. (Ed.). **Atlas da história do mundo da Folha de São Paulo/Times**. 4. ed. rev. São Paulo: Folha da Manhã, 1995. p. 154-157
- Barros, M. A.; Rocha, M.M.; Gomes, R.L.F.; Silva, K.J.D.; Neves, A.C. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi de porte semiprostrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.48, n.4, p.403-410, 2013.
<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000400008>
- Bastos, E. A.; Ramos, H. M. M.; Andrade Júnior, A. S.; Nascimento, F. N.; Cardoso, M. C. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v.1, p.31-37, 2012.
- Baver, L.D.; Gardner, W.H.; Gardner, W.R. Física de Suelos. John Wiley & Sons Ltda, 1973.
- Beltrão Júnior, J.A.; Cruz, J.S.; Souza, E.C.; Silva, L.A. Rendimento do feijão-caupi adubado com diferentes doses de biofertilizante orgânico produzido através da biodegradação acelerada de resíduos do coqueiro no município de Trairí - CE. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, v.1, n.1, p.423-437, 2012.
<https://doi.org/10.15809/irriga.2012v1n01p423>
- Benvindo, R. N.; Silva, J. A. L. Da; Freire Filho, F. R.; Almeida, A. L. G. de; Oliveira, J. T. S.; Bezerra, A. A. de C. Avaliação de genótipos de feijão-caupi de porte semi-prostrado em cultivo de sequeiro e irrigado. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 1, n. 1 p. 23-28, 2010.

- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. **Conservação dos Solos**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005.
- Bhattacharyya, R.; Kundu, s.; Prakash, V.; Gupta, h. s. Sustainability under combined application of mineral and organic fertilizers in a rainfed soybeanwheat system of the Indian Himalayas. **European Journal of Agronomy**, v. 28, n. 01, p. 33-46, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.04.006>
- Blanco, F.F.; Cardoso, M.J.; Freire Filho, F.R.; Veloso, M.E.Da C.; Nogueira, C.C.P.; Dias, N. da S. Milho verde e feijão-caupi cultivados em consórcio sob diferentes lâminas de irrigação e doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 5, p. 524-530, maio, 2011.
- Borchardt, L.; Silva, I. F.; Santana, E.O.; Souza, C.; Ferreira, L.E. Adubação orgânica da batata com esterco bovino no município de Esperança. **Revista Ciência Agrônômica**, v.42, n.2, p.482- 487, 2011.
- Carvalho, B. L.; Ramalho, M. A. P.; Vieira Junior, I. C.; Abreu, A. F. B. New strategy for evaluating grain cooking quality of progenies in dry bean breeding programs. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 115-123, 2017. <https://doi.org/10.1590/1984-70332017v17n2a18>
- Cavatte, P.C.; Oliveira, A.A.; Morais, L.E.; Martins, S.C.; Sanglard, L.M.; Damatta, F. M. Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee? A morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, v. 144, n. 2, p. 111-122, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2011.01525.x>
- Celik, I.; Gunal, H.; Budak, M.; Akpinar, C. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions. **Geoderma**, v. 160, p. 236-243, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.09.028>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v.6 - Safra 2020/21 - Décimo levantamento, Brasília, p.1-113, fev. 2021. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acessado em: 27/02/2021.
- Deuner, C.; De Souza Maia, M.; Deuner, S.; Da Silva Almeida, A.; Meneghello, G. Viabilidade e atividade antioxidante de sementes de genótipos de feijão-miúdo submetidos ao estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 33, n. 4, p. 711 - 720, 2011.
- 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 Agrárias**. Recife, v.10, n.2, p.189-197, 2015. <https://doi.org/10.5039/agraria.v10i2a3912>

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Cultivo de Feijão-Caupi**. Embrapa Meio-Norte, 2ª ed., 2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1071735/1/SistemaProducaoCaupiCapituloSolosAdubacao.pdf>. Acesso em julho de 2021.

Farooq, M.; Gogoi, N.; Barthakur, S.; Baroowa, B.; Bharadwaj, N.; Alghamdi, S. S.; Siddique, K. H. M. Estresse hídrico em leguminosas de grão durante a reprodução e enchimento de grãos. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 203, n. 1, p. 81-102, 2017. <https://doi.org/10.1111/jac.12169>

Franchini, J.C.; Debiasi, H.; Sacoman, A.; Nepomuceno, A.L.; Farias, J.R.B. **Manejo do solo para redução das perdas de produtividade pela seca**. Documentos, Embrapa Soja, Londrina, 2009.

Freire Filho, F. R. Origem, evolução e domesticação do caupi. In: ARAÚJO, J. P. P. de; WATT, E. E. (Org.). O caupi no Brasil. Brasília, DF: IITA: EMBRAPA, 1988. p. 26-46.

Freire Filho, F. R. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. 1. ed. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011.

Freitas, R.; Dombroski, J.L.D.; Freitas, F.C.L.D.; Nogueira, N.W.; Pinto, J.R.D.S. Physiological Responses of Cowpea Under Water Stress and Rewatering In No-Tillage and Conventional Tillage Systems. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 559-567, 2017. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n303rc>

Gandavo, P. de M. **Tratado da terra do Brasil**. Tratado Segundo. Das coisas que são gerais por toda Costa do Brasil. Capítulo Quarto. Dos mantimentos da terra. [Rio de Janeiro]: Ministério da Cultura. Fundação Biblioteca Nacional. Departamento Nacional do Livro. Criado em: 10 jun. 2002. Disponível em: http://objdigital.bn.br/Acervo_Digital/livros_eletronicos/tratado.pdf. Acesso em: 13 jan. 2011.

Gonçalves, E.R.; Ferreira, V.M.; Silva, J.V.; Endres, L.; Barbosa, T.B.; Duarte, W.G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 378 – 386, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000400006>

Guerra, A.T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S. B. (Orgs.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Bertrand Brasil: Rio de Janeiro, 1995, p.149-209.

Hati, K. M.; Mandal, K. G.; Misra, A. K.; Ghosh, P. K.; Bandyopadhyay, K. K. Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in Vertisols of Central India. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 97, n.16, p.2182-2188, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.09.033>

- Hiler, E.A.; Van Bavel, C.H.M.; Hossain, M.M.; Jordan, W.R. Sensitivity of southern peas to plant water deficit at three growth stages. **Agronomy Journal**, v.64, p.60-64, 1972. <https://doi.org/10.2134/agronj1972.00021962006400010020x>
- Hlaváčová, M.; Klem, k.; Rapantová, B.; Novotná, k.; Urban, O.; Hlavinka, P.; Smutná, P.; Horáková, V.; Škarpa, P.; Pohanková, E.; Wimmerová, M.; Orság, M.; Jurečka, F.; Trnka, M. Interactive effects of high temperature and drought stress during stem elongation, anthesis and early grain filling on the yield formation and photosynthesis of winter wheat. **Field Crops Research. Holanda**, v. 221, p. 182–195, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.022>
- Huerta, E.; Vidal, O.; Jarquin, A.; Geissen, V.; Gomez, R. Effect of vermicompost on the growth and production of amashito pepper, interactions with earthworms and rhizobacteria. **Compost Science and Utilization**, v. 18, p. 282–288, 2010.
- Hurisso, T.T.; Davis, J.G.; Brummer, J.E.; Stromberger, M.E.; Mikha, M.M.; Haddix, M.L.; Booher, M.R.; Paul, E.A.; Rapid changes in microbial biomass and aggregate size distribution in response to changes in organic matter management in grass pasture. **Geoderma**, v. 193–194, p. 68-75, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.016>
- Jayathilake, C.; Visvanathan, R.; Deen, A.; Bangamuwage, R.; Jayawardana, B.C.; Nammi, S.; Liyanage, R. Cowpea: an overview on its nutritional facts and health benefits: nutritional and health properties of cowpea. **J. Sci. Food Agric.** v. 98, p. 4793–4806. 2018. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9074>.
- Jiao, Y.; Whalen, J.K.; Hendershot, W.H. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. **Geoderma**, v. 134, n. 1–2, p. 24-33, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.08.012>
- Karim, T.D.A.; Sanoussi, A.T.T.A.; Inoussa, M.M.; Falalou, H.; Yacoubou, B. Efeito do déficit hídrico em diferentes estágios de desenvolvimento sobre os componentes da produção de genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp). **African Journal of Biotechnology**, v. 17, n. 9, p. 279-287, 2018. <https://doi.org/10.5897/AJB2017.16347>
- Kerbauy, G.B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 452 p. 2009.
- Kiehl, E.J. **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba: Ceres, 1985.
- Konzen, E.A.; Alvarenga, R.C. **Manejo e utilização de dejetos animais**: aspectos agrônômicos e ambientais. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, Circular técnica, 63, 2005.
- Kozłowski, T.T. (ed.) **Water deficits and plant growth**. New York: Academic Press, v.4, p.154-191, 1968.

Kumar, M. Impacto das mudanças climáticas no rendimento das culturas e papel de modelo para alcançar a segurança alimentar. **Monitoramento e Avaliação Ambiental**, 188 (465): 1-14, 2016.

Kyei-Boahen, S.; Savala, C. E. N.; Chikoye, D.; Abaidoo, R. Growth and Yield Responses of Cowpea to Inoculation and Phosphorus Fertilization in Different Environments. **Frontiers in Plant Science**. v. 8, n. 646, p. 1-13, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00646>

Lacerda, C.F.; Neves, A.L.R.; Guimarães, F.V.V.; Silva, F.L.B.; Prisco, J.T.; Gheyi, H.R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, p.221-230, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000200005>

Lakhdar, A.; Rabhi, M.; Ghnaya, T.; Montemurro, F.; Jedidi, N.; Abdelly, C. 2009. Effectiveness of compost use in salt-affected soil. **Hazardous Materials**, 171, 29–37.

Leite, M.L.; Rodrigues, J.D.; Mischán, M.M.; Virgens Filho, J.S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp], cv. EMAPA-821. II - Análise de Crescimento. **Revista de Agricultura**. Piracicaba, v.74, n.3, p.351-370, 1999.

Lima, J.R.S.; Antonino, D.A.C.; Lira, C.A.B.O.; Souza, E. S.; Silva, I. F. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão caupi sob condições de sequeiro. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.42, n.1, p.65-74, 2011.

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, n. 6, p. 574-580, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000600002>

Melo, A.S. de.; Silva, A. R.F. da; Dutra, A. F.; Dutra, W.F.; Brito, M. E.B.; Sá, F.V. da S. Photosynthetic efficiency and production of cowpea cultivars under deficit irrigation. **Revista Ambiente & Água**, v.13, n.5,p.1-8, 2018. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2133>

Meloni, D.A.; Olive, M.A.; Martinez, C.A; Cambraia, J. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 49, p. 69-76, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(02\)00058-8](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00058-8)

Mendes, R.M.S.; Tavora, F.J.A.F.; Pitombeira, J.B.; Nogueira, R.J.M.C. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agrônômica**, v.38, n. 1, p. 95-103, 2007.

Mousinho, F.E.P.; Andrade Júnior, A. S.; Frizzone, J.A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no Estado do Piauí. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, p. 139-145, 2008. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i1.1165>.

- Nascimento, J.L. **Crescimento e assimilação de carbono em plantas jovens de *Attalea funifera* Mart. submetidas ao sombreamento e ao estresse hídrico**. 2009, 110p. (Dissertação Mestrado). Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA.
- 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**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 174-177, junho, 2004.
<https://doi.org/10.1590/S0102-05362004000200002>
- Nascimento, S.P.N.; Bastos, E.A.; Araujo, E.C.E.; Filho, F.R.F.; Silva, E.M. Tolerância ao deficit hídrico em genótipos de feijão - caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.8, p.853-860, 2011.
<https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000800013>
- Nogueira, R.J.M.; Moraes, J.A.P.V. de.; Burity, H.A.; Bezerra Neto, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, p. 75-87, 2001.
<https://doi.org/10.1590/S0103-31312001000100009>
- Oliveira, G.A.; Araújo, W.F.; Cruz, P.L.S.; Silva, W. L. M. da; Ferreira, G. B. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400008>
- Pereira, M.R.R.; Klar, A.E.; Melhorança Filho, A.L.; Rodrigues, A.C.P.; Silva, M.R. Influência de solos de diferentes texturas no desenvolvimento de plantas de *Eucalyptus urograndis* submetidas a déficit hídrico. **Irriga**, v. 13, n. 2, p. 249-260, 2008.
<https://doi.org/10.15809/irriga.2008v13n2p249-260>
- 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**, Pombal, PB, v. 8, n. 3, p. 91-96, 2013.
- Pessôa, U.C.M.; Terceiro, E.N.S.; Souza, A.S.; Filho, A.A.S.; Pimenta, T.A. Interferência de tiririca (*Cyperus rotundus* L.) e da compactação do solo no crescimento do feijão-caupi. **Revista Verde**, Pombal, v.10, n.5, p.61-69, 2015.
<https://doi.org/10.18378/rvads.v10i5.4068>
- Prado, C.H.B.A, Passos, E.E.M., Moraes, J.A.P.V. Photosynthesis and water relations of six tall genotypes of *Cocosnucifera* in wet and dry seasons. **South African Journal of Botany**, v. 67, p.169-176, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)31116-9](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)31116-9)
- R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2021. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.

- Públio Júnior, E.; Morais, O. M.; Rocha, M.M.; Públio, A.P.P.B. Bandeira, A. da S. Características agronômicas de genótipos de feijão-caupi cultivados no sudoeste da Bahia. **Científica**, Jaboticabal, v.45, n.3, p.223-230, 2017. <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n3p223-230>
- Puppala, N.; Fowler, J. L.; Jones, T.L.; Gutschick, V.; Murray, L. Evapotranspiration, yield, and water-use efficiency responses of *Lesquerella fendleri* at different growth stages, **Industrial Crops and Products**, v. 21, n. 1, p. 33-47, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.12.005>
- Ramos, H. 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. 683-694. 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000400008>.
- Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. (Ed.). **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.
- 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**. África do Sul, v. 103, p. 101–107, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2015.08.008>
- Santos, C.A.F.; Araujo, F.P.; Menezes, E.A. Comportamento produtivo de caupi em regimes irrigado e de sequeiro em Petrolina e Juazeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 11, p. 2.229-2.234, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000001100015>
- Santos, M.A.S.; Rebello, F.K. Perfil socioeconômico e tecnológico dos pequenos produtores de feijão-caupi do município de Primavera, Nordeste do Pará – Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 5, p. 72-82, 2012.
- Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Hemmingsen, E.A.; Bradstreet, E.D. Hydrostatic pressure and osmotic potential in leaves of mangroves and some other plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 52, n. 1, p. 119, 1965. <https://10.1073/pnas.52.1.119>
- Silva, I.R.; Mendonça, E. S. Matéria orgânica do solo. *In*: NOVAIS et al., **Fertilidade do Solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1017p., 2007.
- Silva, C.D.S.; Santos, P.A.A.; Lira, J.M.S.; Santana, M.C.; Silva Júnior, C.D. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas a deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v.23, n.4, p.7-13, 2010.

- Silva, W.G. da.; Carvalho, J.De A.; Oliveira, E.C.; Rezende, F.C.; Lima Junior, J.A. De.; 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**, Campina Grande, PB, v. 16, n. 9, p. 978-984, 2012.
- Silva, L.A.S.; Brito, M.E.B.; Sá, F.V.S.; Moreira, R.C.L. M.; Soares Filho, W.S. Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. S1–S7, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsupps1-s7>
- Silva, F.G.; Dutra, W.F.; Dutra, A.F.; Oliveira, I.M.; Filgueiras, L.; Melo, A.S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 10, p. 946–952, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p946-952>
- Silva, D.M.R.; Santos, J.D.; Costa, R.N.; Lima, A.D.S.; Santos, S.A.; Santos Silva, L. D.S. Resposta do feijoeiro a lâminas de água aplicada em relação à evapotranspiração da cultura. **Revista Agropecuária Técnica**, Areia-PB, v. 38, n. 2, p. 71-77, 2017. <http://dx.doi.org/10.25066/agrotec.v38i2.33362>
- Singh, S.K.; Reddy, K.R. Regulation of photosynthesis, fluorescence, stomatal conductance and water-use efficiency of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) under drought. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 105, p. 40-50, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2011.07.001>
- Sousa, I. F.; Silva, V.P.R.; Sabino, F.G.S.; Netto, A.O.A.; Silva, B.K. N.; Azevedo, P. V. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.6, p.633-644, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000600010>
- Souza, G. de. Em que se apontam os legumes que se dão na Bahia. *In*: SOUZA, G. de. **Notícias do Brasil**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 1974. p. 94-95.
- Souza, R.P.; Machado, E.C.; Silva, J.A.B.; Lagoa, A.M.M.A.; Silveira, J.A.G. Photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence and some associated metabolic changes in cowpea (*Vigna unguiculata*) during water stress and recovery. **Environmental and Experimental Botany**, v.51, n.1, p.45-56, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(03\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(03)00059-5)
- Souza, L.S.B.De; Moura, M.S.B.De; S.; Gilberto, C.; Silva, T.G.F. da. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.3, p. 715-721, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000300030>
- Souza, T.M.A. de; Souza, T.A.; Souto, L.S.; Sá Silva, F.V. da.; Paiva, E.P. de; Mesquita, E.F. de. Água disponível e cobertura do solo sob o crescimento inicial do feijão-caupi cv. BRS Pujante. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 3, p. 598-604, 2016. <https://doi.org/10.7127/rbai.v10n300345>

Stevenson, F.J. **Humus chemistry: Genesis, composition and reactions**. 2 ed, New York, John Wiley & Sons, 443p, 1994.

Tagliaferre, C.; Santos, T.J.; Santos, L.C.; Santos Neto, I.J.; Rocha, F.A.; Paula, A. Características agronômicas do feijão caupi inoculado em função de lâminas de irrigação e de níveis de nitrogênio. **Revista Ceres**, v.60, n.2, p.242-248, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000200013>

Taiz, L.; Zeiger, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

Teixeira, I. R.; Silva, G. C.; Oliveira, J. P. R.; Silva, A. G.; Pelá, A. Desempenho agronômico e qualidade de sementes de cultivares de feijão-caupi na região do cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.2, p.300-307, 2010.

Torres, F.E.; Teodoro, P.E.; Sagrilo, E.; Ceccon, G.; Correa, A.M. Interação genótipo x ambiente em genótipos de feijão-caupi semiprostrado via modelos mistos. **Bragantia**, Campinas, v.74, n.3, p.255-260, 2015. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0099>

Turk, K.J.; Hall, A.E. Drought adaptation of cowpea. III. Influence of drought on plant growth and relations with seed yield. **Agronomy Journal**, v.72, p.428-433, 1980. <https://doi.org/10.2134/agronj1980.00021962007200030006x>

Wander, A.E.O. **Feijão-Comum no Brasil Passado, Presente e Futuro**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão, 63p. (EMPRAPA- CNPAF. Documento 287), 2013.

Wortmann, C.S.; Shapiro C.A. The effects of manure application on soil aggregation. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 80, p. 173–180, 2007. <http://doi.org/10.1007/s10705-007-9130-6>

Zandonadi, D.B.; Santos, M.P.; Medici, L.O.; Silva, J. Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v.32, n.1, p.14-20, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0102-05362014000100003>