



INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PIRANHAS
CURSO SUPERIOR EM BACHARELADO EM ENGENHARIA
AGRONÔMICA

CARLA SABRINA DA SILVA

USO ECONÔMICO DA ÁGUA NO CULTIVO DO FEIJÃO CAUPI IRRIGADO
NO SEMIÁRIDO ALAGOANO

PIRANHAS, AL

2022

CARLA SABRINA DA SILVA

**USO ECONÔMICO DA ÁGUA NO CULTIVO DO FEIJÃO CAUPI IRRIGADO
NO SEMIÁRIDO ALAGOANO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Superior em Bacharelado em Engenharia Agrônoma do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Piranhas como requisito final para a obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Silva

PIRANHAS, AL

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Piranhas
Biblioteca Tabelaia Cacilda Damasceno Freitas

S586u Silva, Carla Sabrina da.

Uso econômico da água no cultivo do feijão caupi irrigado no semiárido alagoano. / Carla Sabrina da Silva.–2022.

1CD-ROM: il., col. (1 arquivo, 1,886 KB).

CD-ROM contendo o arquivo no formato PDF do trabalho acadêmico com 44 folhas, acondicionado em caixa acrílica (12,5 cm x 14 cm).

Trabalho de Conclusão de curso (graduação em Engenharia Agrônômica) - Instituto Federal de Alagoas, *Campus Piranhas*, Piranhas, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Samuel Silva

1.Gotejamento. 2.Vigna unguiculata. 3. Receita líquida. I. Título.

CDD:631.586

Fabio Fernandes Silva
Bibliotecário – CRB- 4/2302

**USO ECONÔMICO DA ÁGUA NO CULTIVO DO FEIJÃO CAUPI IRRIGADO
NO SEMIÁRIDO ALAGOANO**

Aprovado em: 16/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br SAMUEL SILVA
Data: 16/02/2022 15:50:28-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. Samuel Silva (Orientador)
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

Prof. Dr. Randerson Cavalcante Silva
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

Documento assinado digitalmente
gov.br JOSÉ MADSON DA SILVA
Data: 17/02/2022 11:33:12-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Prof. Dr. José Madson da Silva
Instituto Federal de Alagoas – IFAL



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
SISTEMA INTEGRADO DE PATRIMÔNIO, ADMINISTRAÇÃO E
CONTRATOS

FOLHA DE ASSINATURAS

Emitido em 16/02/2022

COMPROVANTE DE APROVAÇÃO DO PROPOSTO EM EVENTO Nº 9/2022 - CPIR-CTAE (11.07.02.08)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 17/02/2022 15:56)
RANDERSON CAVALCANTE SILVA
COORDENADOR DE CURSO - TITULAR
CPIR-CTAP (11.07.02.14)
Matrícula: 2361103

(Assinado digitalmente em 17/02/2022 12:38)
SAMUEL SILVA
PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO
CPIR-CTAE (11.07.02.08)
Matrícula: 2290906

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.ifal.edu.br/documentos/> informando seu número: 9, ano: 2022, tipo: COMPROVANTE DE APROVAÇÃO DO PROPOSTO EM EVENTO, data de emissão: 17/02/2022 e o código de verificação: cc349ba55c

Aos meus avós

Manoel e Aurora

Aos meus pais

José Carlos e Maria do Socorro

Ao meu irmão

Eduardo

Ao meu companheiro de vida

Samuel

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo sustento e força, até aqui o Senhor tem me ajudado;

Ao Ifal/Piranhas pela oportunidade de realização desta etapa em minha formação acadêmica;

Ao meu orientador, professor Dr. Samuel Silva, pelos conhecimentos transmitidos, respeito, confiança, dedicação e estímulo nos estudos;

Aos professores doutores José Cícero e José Madson, por terem aceitado o convite para fazer parte da banca examinadora;

Aos colegas do laboratório de Agrometeorologia e Irrigação do Ifal/Piranhas: Amanda, Isabela, Frankli, Ane Caroline, Mônica, Gustavo, Vitor e José Lucas pela importante contribuição na condução do experimento em campo;

Aos amigos de turma que levo para a vida: Daniele, Edmaíris, Évillyn, Fernanda, Ivan e Willyane pela amizade, respeito, carinho, companheirismo e pelos melhores momentos compartilhados;

Ao corpo docente do curso de Engenharia Agrônoma do Ifal/Piranhas, pela contribuição na minha formação profissional;

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela disponibilização dos dados meteorológicos;

A todos os que acreditaram em mim e me ajudaram, de forma direta e indireta, a concluir este trabalho.

Meus sinceros agradecimentos!

“No fim, tudo dá certo.”

José Madson da Silva

USO ECONÔMICO DA ÁGUA NO CULTIVO DO FEIJÃO CAUPI IRRIGADO NO SEMIÁRIDO ALAGOANO

RESUMO

A irrigação na agricultura permite dar condições para que o material genético expresse em campo todo o seu potencial de produção, mas são necessários estudos científicos para otimizar o uso da água em regiões de difícil acesso à mesma, como é o caso das regiões semiáridas. Diante disso, o presente trabalho teve por objetivo determinar a lâmina econômica de irrigação para a cultura do feijão caupi na região do Sertão Alagoano. Foi utilizada uma variedade crioula tipo fradinho comumente cultivada pelos agricultores da região, a qual foi submetida a cinco lâminas de irrigação (30, 60, 90, 120 e 150% da evapotranspiração da cultura-ET_c). O experimento foi desenvolvido no Instituto Federal de Alagoas/Campus Piranhas, durante os meses de fevereiro a maio de 2018. A cultura foi irrigada por gotejamento, em que os custos da irrigação mais os custos de plantio e tratos culturais foram utilizados para determinar o nível econômico de água, através da análise da produtividade de grãos. A produtividade agrícola diferiu estatisticamente entre as lâminas aplicadas, conforme o teste F ($p < 0,05$). A cultura do feijão caupi de natureza genética crioula apresenta baixa resposta à irrigação, em que a lâmina econômica independe do preço de venda do grão e está próxima da lâmina que proporciona a máxima produtividade física.

Palavras-chave: Gotejamento. *Vigna unguiculata*. Receita Líquida.

ECONOMIC USE OF WATER IN THE CULTIVATION OF IRRIGATED CAUPI BEANS IN THE SEMI-ARID REGION OF ALAGOAS

ABSTRACT

Irrigation in agriculture allows conditions for genetic material to express its full production potential in the field, but scientific studies are needed to optimize the use of water in regions of difficult access to it, such as semi-arid regions. Therefore, the present study aimed to determine the economic irrigation depth for cowpea cultivation in the Sertão Alagoano region. A creole variety commonly cultivated by farmers in the region was used, which was subjected to five irrigation depths (30, 60, 90, 120 and 150% of crop evapotranspiration-ETc). The experiment was developed at the Federal Institute of Alagoas/Campus Piranhas, during the months of February to May 2018. The culture was irrigated by drip, in which irrigation costs plus planting costs and cultural treatments were used to determine the economic level of water, through the analysis of grain productivity. Yield differed statistically between the slides applied, according to the F test ($p < 0.05$). The culture of cowpea of creole genetic nature has a low response to irrigation, in which the economic depth is independent of the selling price of the grain and is close to the depth that provides maximum physical yield.

Keywords: Drip. *Vigna unguiculata*. Net income.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estádios de desenvolvimento da planta do feijoeiro (Fonte: Embrapa).	15
Tabela 1. Médias de dias e graus dias por estádios e acumulados necessários para atingir cada fase fenológica do feijão caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) em Fortaleza-CE, adaptado de MENDONÇA <i>et al.</i> , 2015.	16
Figura 2. Área experimental de plantio do feijão caupi no Ifal/Piranhas (Fonte: Google Earth).	23
Figura 3. Croqui do experimento em campo com detalhes e dimensões (Fonte: Autora).	24
Figura 4. Montagem do experimento, sistema de irrigação, plantio e desbaste do feijão caupi no Ifal/Piranhas.	25
Tabela 2. Custo do milímetro de água para irrigação por gotejamento na cultura do milho.	27
Figura 5. Valores diários de chuva, evapotranspiração de referência e tratamentos de lâminas aplicadas (L1, L2, L3, L4 e L5) durante o cultivo de feijão caupi no período de fevereiro a maio de 2018, na região de Piranhas-AL.	29
Figura 6. Valores diários da capacidade de água disponível no solo (CAD), limite da água facilmente disponível (AFD), armazenamento de água no solo (ARM) e evapotranspiração real (ET _r) diária e acumulada da cultura para tratamentos com diferentes lâminas de irrigação (A-L1, B-L2, C-L3, D-L4 e E-L5) durante o ciclo de cultivo do feijão caupi no período de fevereiro a maio de 2018, na região de Piranhas-AL.	31
Tabela 4. Resumo da análise de variância pelo teste F para avaliação produtiva realizada no cultivo de feijão caupi com NVP – número de vagens por planta, NGV – número de grãos por vagem e PROD – produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) em função de diferentes lâminas de água aplicadas na região de Piranhas-AL.	32
** significativo ($p \leq 0,01$), * significativo ($p \leq 0,05$) e ^{ns} não significativo pelo teste F 32	
Figura 7. Produtividade agrícola do feijão caupi em função de diferentes lâminas de irrigação na região de Piranhas-AL.	33
Figura 8. Margens de contribuição agrícola pelo feijão para os preços de 3,00; 4,67; 6,33 reais kg ⁻¹ em cultivo irrigado na região de Piranhas-AL.	34
Figura 9. Eficiência no uso da água pelo feijão caupi em função de lâminas de irrigação (30, 60, 90, 120 e 150% da ET _c) mais a precipitação efetiva no município de Piranhas-AL.	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias de dias e graus dias por estádios e acumulados necessários para atingir cada fase fenológica do feijão caupi (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp.) em Fortaleza-CE, adaptado de MENDONÇA <i>et al.</i> , 2015.	16
Tabela 2. Custo do milímetro de água para irrigação por gotejamento na cultura do milho.....	27
Tabela 3. Cenários de cotação da saca (60 kg) e do kg de feijão utilizados na análise econômica conforme preços de venda do site da Agrolink, levando em conta uma margem de R\$ 100,00 acima e abaixo do preço real (consulta em fevereiro de 2022)..	27
Tabela 4. Resumo da análise de variância pelo teste F para avaliação produtiva realizada no cultivo de feijão caupi com NVP – número de vagens por planta, NGV – número de grãos por vagem e PROD – produtividade de grãos (kg ha ⁻¹) em função de diferentes lâminas de água aplicadas na região de Piranhas-AL.....	32

Sumário

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	OBJETIVOS.....	13
3.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
3.1.	A cultura do feijão caupi	14
3.2.	Irrigação na cultura do feijão caupi	18
3.3.	Eficiência no uso da água - EUA.....	19
3.4.	Produtividade de máxima eficiência econômica.....	20
4.	METODOLOGIA.....	22
4.1.	Descrições da área experimental.....	22
4.2.	Delineamento, tratamentos e unidade experimental.....	23
4.3.	Instalação e condução do experimento.....	24
4.4.	Variáveis agronômicas.....	26
4.5.	Análise econômica	27
4.6.	Análises estatísticas	28
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1.	Variáveis agrometeorológicas e balanço de água no solo	28
5.2.	Produtividade agrícola e análise econômica	31
5.3.	Eficiência no uso da água pelo feijão caupi.....	35
6.	CONCLUSÕES.....	35
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
	APÊNDICE A	44

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido como feijão verde/macassar/de corda, é uma cultura alimentar que faz parte da dieta do brasileiro desde meados do século XVI (COSTA, 2020). No Brasil, a cultura apresenta grande importância socioeconômica, garantindo segurança alimentar e nutricional de grande parte da população brasileira, principalmente das regiões Norte e Nordeste, onde é mais cultivado e consumido (ARAÚJO, 2020). Além disso, é um importante gerador de postos de ocupação econômica e de trabalho formal, suprindo uma cadeia produtiva que se estende do agricultor familiar e de grandes empreendimentos agrícolas, passando por diversos atores da área de processamento, do comércio atacado e de varejo até o consumidor, nas pequenas e médias cidades e nos grandes centros urbanos.

A produção de feijão caupi no Brasil é de 712,6 mil t, com a contribuição de 476,9 mil t da região Nordeste, em que o estado de Alagoas é responsável por 0,7%. O Brasil possui uma área plantada de 1.307,8 mil ha de feijão caupi na qual o Nordeste possui 83,3% desse total com uma produtividade de 438 Kg ha⁻¹, enquanto que Alagoas possui 6,3 mil ha de área plantada com produtividade de 562 Kg ha⁻¹ (CONAB, 2020). No entanto, apesar de ser a maior produtora e consumidora de feijão-caupi do país, a região Nordeste apresenta rendimento médio abaixo de 400 kg ha⁻¹, índice aquém das regiões Norte e Centro-Oeste, demais produtoras da cultura no país (EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2020). Tal cenário é atribuído ao sistema de produção tradicional utilizado pelos agricultores familiares e a falta de assistência técnica e uso de técnicas e tecnologias que auxiliam na otimização do sistema, como o uso da irrigação.

Apesar da sua boa adaptabilidade a condições adversas, para que a cultura produza satisfatoriamente, deve-se disponibilizar água em quantidade adequada, sendo este um dos principais fatores que pode interferir no seu rendimento (AZEVEDO *et al.*, 2011). O conhecimento da necessidade hídrica da cultura é de grande importância para o manejo adequado da mesma, bem como o entendimento da relação entre o consumo de água e a produtividade (NASCIMENTO, PEDROSA e TAVARES SOBRINHO, 2004). Para isso, é necessário o conhecimento da demanda atmosférica e das características físico-hídricas do solo para então, determinar a lâmina econômica de irrigação para a cultura.

O manejo adequado da irrigação, através do uso da lâmina econômica de água é o caminho mais simples para se garantir resultados de produtividade satisfatórios, além de otimizar o sistema de produção. O uso eficiente da água (EUA) é essencial, sobretudo em regiões em que há escassez desse recurso, para se garantir a sua conservação,

contribuindo para o desenvolvimento sustentável. Precipuaente na região do Sertão Alagoano, em que os perímetros irrigados às margens do rio São Francisco e o andamento da construção do canal do sertão desperta o interesse em estudar esta planta e o uso eficiente da água.

A quantidade de precipitação da região do município de Piranhas-AL atende à demanda hídrica da cultura do feijão caupi, no entanto, devido à sua distribuição irregular, a cultura passa por períodos de estresse hídrico. A água é um recurso não renovável e seu uso na agricultura deve ser feito de forma racional, visto que 90% do uso de água doce no mundo é feito somente na agricultura irrigada, sendo este um recurso essencial para o bom desenvolvimento das culturas. Assim, reforçam-se ainda mais a necessidade do uso eficiente de água na produção agrícola, oportunizando maiores lucros para os produtores da região. Ademais, a cultura do feijão caupi é produzida principalmente por agricultores familiares, classe que necessita de assistência e informação técnica para aperfeiçoar o sistema de produção.

2. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Determinar a lâmina econômica de irrigação para a cultura do feijão caupi na região do Sertão Alagoano.

Objetivos Específicos

Estimar a evapotranspiração real da cultura em cada tratamento;

Realizar balanço de água no solo para cada tratamento;

Medir a produtividade de grãos;

Calcular a eficiência no uso da água pela cultura em cada tratamento;

Determinar a lâmina de irrigação que proporciona o maior rendimento de grãos e a maior eficiência econômica.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. A cultura do feijão caupi

O feijão-caupi, feijão-de-corda ou feijão-macassar (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma cultura de origem africana, introduzida no Brasil na segunda metade do século XVI pelos colonizadores portugueses no Estado da Bahia. É uma excelente fonte de proteínas (23%-25% em média) e apresenta todos os aminoácidos essenciais, carboidratos (62%, em média), vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura (teor de óleo de 2%, em média) e não conter colesterol. Representa alimento básico para as populações de baixa renda do Nordeste brasileiro. Apresenta ciclo curto, baixa exigência hídrica e rusticidade para se desenvolver em solos de baixa fertilidade e, por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium* tem a habilidade para fixar nitrogênio do ar (JUNIOR, *et al.* 2002).

No Brasil, o feijão-caupi é cultivado predominantemente no sertão do Semiárido da região Nordeste e em pequenas áreas da região Norte. Mais atualmente vem sendo cultivado nas regiões Sul e Centro-Oeste, onde a produtividade ultrapassa o rendimento das regiões com maiores produção e consumo da cultura. Os maiores produtores no Nordeste são os Estados do Ceará (144,9 mil t), Bahia (109,6 mil t), Piauí (87,5 mil t), Pernambuco (48,2 mil t) e Paraíba (33 mil t), os quais também apresentam as maiores áreas plantadas (CONAB, 2020).

Pelo seu valor nutritivo, o feijão-caupi é cultivado principalmente para a produção de grãos, secos ou verdes, para o consumo humano, in natura, na forma de conserva ou desidratado. Além disso, o caupi também é utilizado como forragem verde, feno, ensilagem, farinha para alimentação animal e, ainda, como adubação verde e proteção do solo (JUNIOR, *et al.* 2002).

Considerando as estimativas obtidas em 2015, a cultura do feijão-caupi foi responsável pela geração de 961.993 empregos no Brasil, com o valor de produção estimado em mais de 643 milhões de reais, tendo produzido suprimento alimentar para mais de 26 milhões de pessoas (ROCHA *et al.*, 2017).

Possivelmente, em razão da grande variabilidade genética existente na própria espécie (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e nas espécies silvestres geneticamente mais próximas, houve uma grande dificuldade para a classificação da espécie domesticada. Desse modo, o feijão-caupi inicialmente foi classificado nos gêneros *Phaseolus* e *Dolichos*, até ser classificado no gênero *Vigna*, o qual foi estabelecido 1894.

Houve muitas classificações na espécie, até que se chegasse à atual. Desse modo, a classificação cientificamente aceita é que 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.

O feijoeiro apresenta quatro tipos principais de hábito de crescimento: Tipo I (ereto), de hábito determinado, e os tipos II (semiereto), III (prostrado) e IV (trepador) de hábitos indeterminados. O principal fator que diferencia os tipos de crescimento da planta é o porte, que é influenciado pelo comprimento e o ângulo entre o ramo principal e os secundários (OLIVEIRA, *et al.*, 2018; FREIRE FILHO *et al.*, 2005). A arquitetura da planta de feijão-caupi é resultado da interação dos caracteres como hábito de crescimento e caracteres morfológicos. Em cultivos tradicionais a arquitetura da planta não é tão importante, devendo ser dada preferência a cultivares semiprostradas. Diferentemente para cultivos irrigados, em que a arquitetura possui maior importância, em que se recomenda cultivares de portes mais eretos e compactos, o que também permite a colheita mecanizada. Além disso, plantas de portes mais eretos permitem o aumento da densidade populacional, o que contribui para um incremento no rendimento médio por área (ROCHA, *et al.*, 2017). A figura 1 apresenta um esquema do desenvolvimento do feijoeiro da germinação à maturação. É essencial saber identificar cada fase fenológica da cultura, pois as exigências em água e nutrientes são distintas, o que auxilia na tomada de decisões dos produtores e técnicos (OLIVEIRA, *et al.*, 2018).

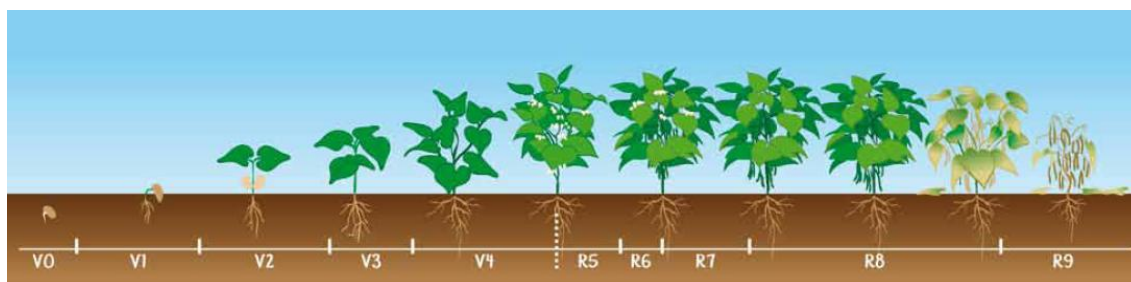


Figura 1. Estádios de desenvolvimento da planta do feijoeiro (Fonte: Embrapa).

As cultivares de feijão-caupi podem ser classificadas em seis tipos levando em consideração o ciclo de maturação da planta (FREIRE FILHO *et al.*, 2005), desde a emergência até a maturação fisiológica.

- Ciclo superprecoce: maturação em até 60 dias;

- Ciclo precoce: maturação entre 61 e 70 dias;
- Ciclo médio: maturação entre 71 e 90 dias;
- Ciclo médio-precoce: maturação entre 71 e 80 dias;
- Ciclo médio-tardio: maturação entre 81 e 90 dias;
- Ciclo tardio: maturação acima de 90 dias.

As plantas exigem o acúmulo de certa quantidade de calor para completar cada estágio fisiológico do ciclo de vida, sendo este acúmulo a soma térmica acima da temperatura basal das culturas ou índice de graus-dia (SCHÖFFEL & VOLPE., 2002). A determinação dos graus-dia é imprescindível para a avaliação da duração do ciclo fenológico das culturas dado que, considerando somente o tempo cronológico, variações podem ocorrer em função das condições meteorológicas o que muda de local para local. Ademais, o conhecimento das exigências térmicas de determinada cultura contribui para a definição antecipada do planejamento das atividades, sendo uma ferramenta importante no processo de diminuição de riscos climáticos.

Mendonça *et al.* (2015), observaram em um estudo realizado na região de Fortaleza-CE, que a cultura do feijão caupi necessitou de 1.049°C de acúmulo térmico até a colheita, e que foram necessários 52 dias para atingir a fase de colheita de grãos (Tabela 1).

Tabela 1. Médias de dias e graus dias por estádios e acumulados necessários para atingir cada fase fenológica do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) em Fortaleza-CE, adaptado de MENDONÇA *et al.*, 2015.

Fase	Duração			
	Dias		Graus dias (° C)	
	Est.	Acum.	Est.	Acum.
VE	-	3	-	78
VC	1	4	19	97
V1	5	9	88	185
V2	3	12	52	237
V3	4	16	80	317
V4	3	19	59	376
V5	3	22	52	428
V6	4	26	67	495
V7	3	29	83	578

V8	4	33	50	629
R1	1	34	18	647
R2	4	38	87	734
R3	3	41	58	791
R4	3	44	57	848
R5	4	48	71	919
Colheita	6	52	130	1.049

Em que: (VE) emergência dos cotilédones; (VC) primeiro nó com folhas unifolioladas; (V1) segundo nó do ramo principal com folíolos completamente abertos; (V2) terceiro nó do ramo principal com folíolos completamente abertos; (V3) quarto nó do ramo principal com folíolos completamente abertos; (V4) quinto nó do ramo principal com folíolos completamente abertos; (V5) sexto nó do ramo principal com folíolos completamente abertos; (V6) sétimo nó do ramo principal com folíolos completamente abertos; (V7) oitavo nó do ramo principal com folíolos completamente abertos; (V8) nono nó do ramo principal com folíolos completamente abertos; (R1) surgimento dos primórdios florais - pré-floração; (R2) surgimento da primeira flor aberta - floração; (R3) surgimento da primeira vagem - pré-frutificação; (R4) início do enchimento dos grãos - frutificação e (R5) vagens com grãos desenvolvidos.

De acordo com Bastos *et al.* (2008), a planta do feijão caupi requer ao menos 300 mm de chuva para que se produza de maneira satisfatória, sem a necessidade de empregar técnicas de irrigação. Ainda no estudo, foi constatado que as regiões das quais as distribuições de chuvas variem de 250 e 500 mm anuais são consideradas hábeis para a implantação da cultura. No entanto, a limitação em termos hídricos reside mais na distribuição do que na quantidade total de chuvas ocorridas no período. Visto que é conhecido que a demanda hídrica é maior na fase de enchimento de grãos (SILVA *et al.*, 2017), e que a ocorrência estresse hídrico próximo e anterior ao florescimento pode acarretar severa redução do desenvolvimento vegetativo da planta, limitando a produção (ELLIS *et al.*, 1994).

O bom desenvolvimento da cultura ocorre na faixa de temperatura de 18 a 34°C e a temperatura basal, abaixo da qual cessa o crescimento, varia com o estágio fenológico. Para a semeadura do feijão recomenda-se ambientes com temperatura a partir de 25°C (COSTA, *et al.*, 2019). O regime de temperatura de 24,8 (mínima) - 30,8 (média) - 37,8 °C (máxima) favorece o desenvolvimento inicial de plantas de feijão-caupi no Submédio do Vale do São Francisco (BARROS, *et al.*, 2018). Conforme Farias *et al.* (2015), a temperatura basal inferior e superior para o feijão caupi são de 8,6 °C e 38 °C, respectivamente, enquanto os graus-dia acumulados para o período que se estende da germinação até a maturação fisiológica é em média 1.053.

Na região Meio-Norte do Brasil, limitações térmicas para o caupi podem existir em locais onde o florescimento coincida com períodos de temperatura acima de 35°C. Bastos *et al.* (2000) constataram por meio de simulações que, em Teresina, o plantio de

caupi para o cultivo irrigado deve se restringir até o mês de julho. Quando o plantio do feijão-caupi ocorre a partir de meados do mês de agosto, há uma redução significativa da produtividade de grãos, devido ao abortamento de flores, pela ocorrência de elevada temperatura do ar durante o florescimento.

Existem cultivares de feijão-caupi sensíveis e outras insensíveis ao fotoperíodo, cujo crescimento vegetativo, arquitetura da planta e desenvolvimento reprodutivo são principalmente determinados pela interação de genótipos com a duração do dia e temperaturas do ar. As cultivares de feijão-caupi de dias curtos são sensíveis ao fotoperíodo, que têm o seu florescimento atrasado quando o fotoperíodo é maior que o fotoperíodo crítico, ou seja, quando recebem luz solar por mais tempo do que necessitam para seu desenvolvimento (AGEITEC, 2016).

A incidência do vento constante em lavouras de feijão pode aumentar a demanda de água por parte da planta, tornando-a mais suscetível a períodos curtos de estiagem, afetando o desempenho da cultura (CARDOSO, *et al.*, 2017).

A radiação solar pode ser considerada um fator de grande importância para o crescimento e desenvolvimento vegetal, pois influencia diretamente na fotossíntese das plantas. De acordo com Phogat *et al.* (1984), a interceptação da energia luminosa no feijão-caupi geralmente é alta devido às folhas glabras e de coloração verde escura.

A radiação solar influencia diretamente no processo fotossintético da planta e na produção de carboidratos (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2017). Quando a planta está sob condições favoráveis de solo e clima e as pragas e doenças deixam de ser fatores limitantes, a radiação solar é um dos principais fatores determinantes da máxima produtividade da cultura (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2017). Níveis satisfatórios de radiação solar, em termos de interceptação, contribuem para o melhor desenvolvimento e crescimento da planta, além de aumentar a quantidade de pigmentos foliares e contribuir para a fixação das vagens (ALBÁN, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2017).

3.2. Irrigação na cultura do feijão caupi

Apesar de ser considerada uma cultura tolerante à seca, o déficit hídrico no feijão-caupi pode causar severas perdas da produtividade de grãos, principalmente se ocorrer nas fases de florescimento e enchimento de grãos, pois afeta vários processos fisiológicos relacionados com a assimilação de nitrato, fixação simbiótica de nitrogênio, taxas de fotossíntese, condutância estomática e transpiração. Meira *et al.* (2017), estudando o efeito de estresse hídrico no feijão-caupi, observaram que a cultura

apresenta sensibilidade ao estresse hídrico, seja por escassez ou por excesso de água durante o ciclo da cultura, principalmente nas fases de florescimento e enchimento de grãos, pode provocar severas reduções na produtividade de grãos (CORDEIRO *et al.*, 1998; SANTOS *et al.*, 1998).

O estresse hídrico reduz o peso de nódulos, o nitrogênio acumulado e a produção de matéria seca da parte aérea do feijão-caupi, principalmente quando a deficiência hídrica for imposta na segunda e quinta semanas após a semeadura. (STAMFORD *et al.*, 1990). Essas reduções devem estar associadas ao fato de que o estresse hídrico afeta vários processos fisiológicos relacionados com a assimilação de nitrato e fixação simbiótica de nitrogênio nas leguminosas, reduzindo o peso da matéria fresca dos nódulos e da parte aérea das plantas (COSTA *et al.*, 1996). A alteração destes processos fisiológicos reflete no decréscimo da produtividade de grãos ou sementes.

O consumo de água do feijão-caupi pode variar de 250 mm a 400 mm por ciclo, dependendo do cultivar, da densidade de semeadura, do solo e das condições climáticas locais. De acordo com a Embrapa Meio-Norte, a fase inicial o consumo hídrico diário raramente excede 3,0 mm, todavia deve-se atentar para o período da germinação e início do período vegetativo. Nessa fase a planta é muito sensível e, por isso, recomenda-se irrigar diariamente. Na fase de crescimento, o consumo é ascendente até atingir os períodos de florescimento e enchimento de vagens, quando pode variar entre 5,0 mm e 8,0 mm diários. Rodrigues *et al.* (2019) estudando o balanço hídrico climatológico em Petrolina-PE, observaram maiores demandas hídricas na terceira fase fenológica da cultura, de 9,38 mm dia⁻¹, assemelhando-se aos valores encontrado por Silva *et al.* (2017) para as cultivares BRS Acauã, 8,90 mm dia⁻¹, e Canapu, 10,90 mm dia⁻¹.

A deficiência de água é um dos fatores mais limitantes para a obtenção de elevadas produtividades de grãos de feijão-caupi, sendo que a duração e a época de ocorrência do déficit hídrico afetam em maior ou menor intensidade o rendimento dessa cultura. Com o uso da irrigação é possível suprir a quantidade de água para o adequado crescimento e desenvolvimento do feijão-caupi. Entretanto, ressalta-se que, para o sucesso técnico e econômico dessa atividade, é necessário que se identifique: quando, quanto e como irrigar.

3.3.Eficiência no uso da água - EUA

Utilizada por pesquisadores do mundo inteiro, a eficiência no uso da água (EUA) é uma relação para determinar a quantidade de matéria prima produzida por unidade de água consumida pela planta. Pode ser expressa em várias unidades de

medidas, sendo as principais o quilograma de produto por metro cúbico de água (kg m^{-3}) e a megagrama (tonelada) de matéria prima por megalitro de água (Mg ML^{-1}), que equivale a $10^{-2} \text{ t ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ que é igual a kg m^{-3} ou a 100 mm t^{-1} . O aumento da eficiência de uso da água se dá pela manutenção ou aumento da produtividade com redução da lâmina aplicada.

Santos *et al.* (2017) estudando a EUA em feijão caupi na fase produtiva constatou que é possível reduzir a lâmina aplicada sem comprometer a produção, porém a produtividade reduz linearmente com o aumento da quantidade de dias de suspensão da irrigação no início da floração.

Kirchner *et al.* (2019) observaram menores EUA nas maiores lâminas de irrigação para o sorgo forrageiro. Já Mezzomo *et al.* (2020) observaram que o acréscimo das lâminas de água até certo ponto proporcionaram maior conversão de massa seca por altura de lâmina de água aplicada na cultura do capim Sudão. Miranda, *et al.* (2019) observaram menores valores de EUA pela cultura do coqueiro anão em condições de excesso de irrigação.

3.4. Produtividade de máxima eficiência econômica

Os processos fisiológicos envolvidos na produção vegetal têm uma relação muito estreita com a maior ou menor disponibilidade da água para as plantas. A água é um fator fundamental na produção vegetal. Sua falta ou excesso afeta de maneira decisiva o desenvolvimento das culturas (FERREIRA, 2012).

A agricultura irrigada deve sempre buscar aumentar sua eficiência quanto ao uso da água, e um manejo eficiente da irrigação requer informações relacionadas à necessidade hídrica das culturas e da função de produção das culturas em função da disponibilidade de água (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2002; FIGUERÊDO *et al.*, 2008; GATES *et al.*, 1991; SOARES *et al.*, 2002).

O conceito econômico de função de produção é a relação entre as quantidades utilizadas de insumos e as quantidades máximas que podem ser obtidas do produto, para uma dada tecnologia aplicada. Assim, ao se supor que a função de resposta representa o máximo que se pode obter com o uso de cada insumo, se define uma relação funcional entre o produto e os insumos (FRIZZONE; ANDRADE JÚNIOR, 2005).

A função de resposta da cultura à água estabelece-se no elemento básico utilizado nos estudos econômicos concernentes ao planejamento da irrigação, já que a cultura apresenta comportamento produtivo diferente em função da quantidade e frequência de irrigação durante cada ciclo fenológico. A questão é encontrar a solução

ótima para determinada combinação insumo-produto, que maximiza a receita líquida submetida às restrições de recursos pré-fixadas, em face da estrutura de preços vigentes e o nível de tecnologia adotado no sistema de produção (ANDRADE JÚNIOR, 2001).

Para tal, o conhecimento das funções de produção é fundamental para auxiliar nas decisões, considerando-se que estas funções possibilitam determinar as interações entre os diversos fatores que afetam a produtividade, e escolher as soluções mais consonantes com a realidade regional, permitindo assim o manejo racional da irrigação em bases técnicas e econômicas (FERREIRA, 2012).

Para se obter uma função de produção deve-se realizar uma análise de regressão entre uma ou mais variáveis independentes e uma variável dependente, seguindo um modelo estatístico que possa exprimir esta relação (FRIZZONE, 1986).

Existem diferentes maneiras de aplicações das funções de produção, como determinar a relação entre a quantidade de água aplicada e a resposta das plantas, previsão de safras e estudar como ambientes distintos podem alterar a produção das culturas (MONTEIRO, 2004).

Na agricultura irrigada, a função de produção integra um segmento de rendimentos crescentes para pequenas quantidades do fator variável e um segmento onde sobreleva a lei da produtividade marginal decrescente a partir do qual, os acréscimos observados serão cada vez menores (AGUIAR, 2005).

No estudo econômico de produção de uma cultura agrícola relacionado ao uso de certos insumos é importante fazer a delimitação da região de produção racional que mostra diferentes combinações dos fatores e dos rendimentos correspondentes que resultarão em resultados econômicos mais satisfatórios (FRIZZONE, 1993).

Muitos são os estudos científicos que envolvem a irrigação que apresentam recomendações gerais com o objetivo de obter produtividades físicas máximas sem levar em consideração a economicidade no sistema de produção em relação ao insumo (água aplicada). No entanto, o uso da irrigação baseado em resultados como estes pode tornar a prática impossível de ser realizada economicamente, pois o ótimo econômico não corresponde à máxima produtividade física.

Stewart e Hagan (1973) e Hargreaves Samani (1984), apresentaram uma revisão esmiuçada sobre as diligências da pesquisa em obter funções de produção em função da água. Esses autores ressaltam que as duas principais variáveis independentes são a evapotranspiração real acumulada (ETR) ou a lâmina de água disponível (LAM), em que a lâmina de água (LAM) é o somatório da precipitação efetiva e das irrigações aplicadas. Esses autores afirmam que enquanto a evapotranspiração é o parâmetro mais

diretamente associado à produtividade (Y), a lâmina de água aplicada é o de maior ganho prático, pois, permite analisar os sistemas de irrigação, além de estudos econômicos, fundamentais no planejamento da agricultura irrigada.

No entanto, Frizzone (1998) afirma que as funções de produção água-cultura deveriam se basear na evapotranspiração, em vez de relacionar a produtividade com a água aplicada, por serem mais independentes do sistema de irrigação, do solo e de outros fatores locais que influenciam a curva de resposta. Porém, na prática, os irrigantes controlam a lâmina aplicada e não a perda de água pela planta e pelo solo.

No geral, as funções de produção água-cultura apresentam duas tendências: uma ascendente, em que o rendimento é crescente com o aumento de água aplicada até um limite máximo ou ponto ótimo da curva, e a outra descendente, em que a resposta da cultura diminui com a quantidade crescente de lâmina (FRIZZONE, 1998).

O uso das funções de resposta permite a adoção de soluções válidas na otimização do uso da água e dos fertilizantes, para se obter o máximo do produto com determinado custo de produção. É importante salientar que o estudo econômico baseado na função de produção difere de local para local, pois os insumos possuem valores distintos, conforme a região (FERREIRA, 2012).

4. METODOLOGIA

4.1. Descrições da área experimental

A pesquisa foi conduzida na área experimental do Instituto Federal de Alagoas/Campus Piranhas no período de fevereiro a maio de 2018. A classificação climática da região pelo método de Köppen é do tipo BSh, clima muito quente, semiárido, tipo estepe, com estação chuvosa centrada nos meses de março a julho. A precipitação pluvial média anual da região é de 492, mm (SANTOS *et al.*, 2017).



Figura 2. Área experimental de plantio do feijão caupi no Ifal/Piranhas (Fonte: Google Earth).

O solo da área foi classificado como Luvissole Crômico órtico por Fernandes (2010). A análise física foi realizada no Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da UFCG, com os seguintes resultados: textura franco-argilosa, densidade de $1,19 \text{ g cm}^{-3}$, porosidade de 55% e umidade de $0,21 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. A Capacidade de Campo (CC) do solo da área experimental é de 0,33 atm, o Ponto de Murcha Permanente (PMP) de 15 atm e Capacidade de Água Disponível (CAD) é de $0,96 \text{ mm cm}^{-1}$.

4.2. Delineamento, tratamentos e unidade experimental

O delineamento experimental utilizado foi em faixas com quatro repetições. Os tratamentos principais foram as lâminas de irrigação (30, 60, 90, 120, 150% da ETc). As parcelas em cada bloco foram compostas por 4 fileiras de 5,0 m de comprimento espaçadas a 0,80 m, resultando numa área total de 368 m^2 , sendo que a área útil foi composta pelos 3 m centrais das duas linhas do meio.

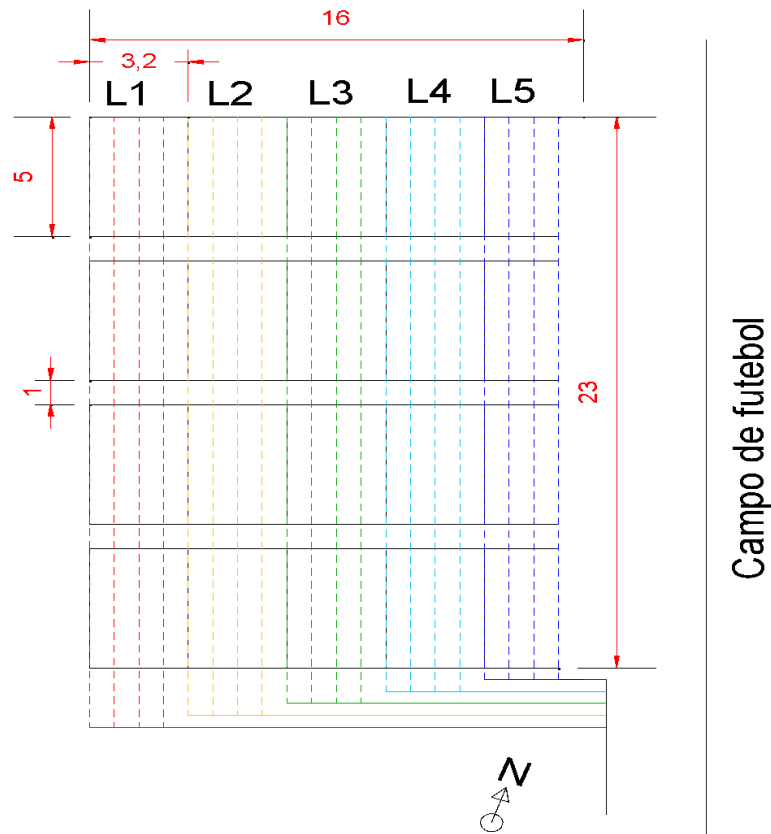


Figura 3. Croqui do experimento em campo com detalhes e dimensões (Fonte: Autora).

4.3. Instalação e condução do experimento

O plantio foi feito em sulcos abertos manualmente, em que foram colocadas 4 sementes a cada 20 cm. A adubação foi realizada conforme as recomendações de Melo *et al.* (2018), em que no plantio foram utilizadas as doses de 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O. Aos 15 dias após a semeadura (DAS) foi realizado o desbaste, deixando a planta mais vigorosa e um estande final de 62.500 plantas por hectare. A adubação de cobertura foi realizada aos 16 DAP, em que foram utilizadas as doses de 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e K₂O e 36 kg ha⁻¹ de N. Foi utilizado material vegetal cortado e seco para a cobertura morta na superfície do solo, colocado logo após o plantio (aos 21 DAP) na quantidade apenas para cobrir o solo, uma camada de 3 a 5 cm. O controle de ervas espontâneas foi realizado com capina manual de acordo com a necessidade.



Figura 4. Montagem do experimento, sistema de irrigação, plantio e desbaste do feijão caupi no Ifal/Piranhas.

A irrigação foi realizada via sistema de gotejamento com vazão de $7,5 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-1}$, pressão nominal de 10 mca e espaçamento entre gotejadores de 20 cm. Nos primeiros vinte dias todos os tratamentos foram irrigados de forma que a cultura não sofresse déficit hídrico. A partir deste período (21 DAP), as lâminas de irrigação foram diferenciadas conforme os tratamentos e determinadas em função da evapotranspiração da cultura (ET_c). Os dados meteorológicos para essa estimativa da ET_c foram obtidos na estação automática de aquisição de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no Ifal/Piranhas próximo à área experimental.

A ET_0 foi calculada pelo método de Penman-Monteith:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left(\frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e)}{\Delta + [\gamma (1 + 0,34 u_2)]} \quad (1)$$

em que: Δ é a inclinação da curva da pressão de vapor d'água saturado versus temperatura do ar ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n é o Saldo de radiação medido ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); γ é o Coeficiente psicrométrico; T é a temperatura média do ar; u_2 é a velocidade média do vento a 2m de altura (m s^{-1}); e_s é a pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) e e é a pressão do vapor d'água do ar (kPa).

4.4. Variáveis agronômicas

Por ocasião da colheita, a produtividade do feijoeiro foi determinada através do peso médio dos grãos, em que as amostras foram colocadas em estufa de secagem por 48 horas a 65°C para corrigir a umidade para 13%. Através dos dados de rendimento de grãos e da ET_0 , foi determinada a eficiência no uso da água pela cultura (EUA) em mm por tonelada:

$$EUA = \frac{W}{Pt} \quad (2)$$

em que: Pt – é a produtividade agrícola ($Mg \text{ ha}^{-1}$)

W – é a lâmina de irrigação utilizada (mm)

A função de resposta da cultura às lâminas de irrigação foi obtida por curvas de regressão polinomial de segundo grau (FRIZZONE, 1993) com a variável independente de acordo com a Equação 3:

$$Y = b_0 + b_1x - b_2x^2 \quad (3)$$

em que:

Y – é a produtividade agrícola ($kg \text{ ha}^{-1}$)

x – é a lâmina de irrigação total aplicada

b_0 , b_1 e b_2 – são os coeficientes da equação.

A equação utilizada para estimar a lâmina de irrigação que proporciona a produtividade máxima foi deduzida igualando-se a zero a primeira derivada da função de produção, conforme as Equações 4 e 5 (FRIZZONE, 1993):

$$Y' = b_1 - 2b_2x \therefore b_1 - 2b_2x = 0 \therefore -2b_2x = -b_1 \quad (4)$$

$$X_{m\acute{a}x} = -\frac{b_1}{2b_2} \quad (5)$$

em que:

$X_{m\acute{a}x}$. – é a lâmina de irrigação que proporciona a máxima produtividade agrícola ($kg \text{ ha}^{-1}$). Posteriormente, a produtividade máxima ($Y_{m\acute{a}x}$, em $kg \text{ ha}^{-1}$) foi estimada substituindo-se x por $X_{m\acute{a}x}$ na Equação 3.

4.5. Análise econômica

Para a análise econômica da produção, o preço do milímetro de água aplicado foi calculado com base em valores reais da atualidade (Apêndice A), levando em conta o uso de sistemas de irrigação por gotejamento (Tabela 2), considerando 20 anos de vida útil da infraestrutura hidráulica e 4 anos para o sistema de irrigação manejado superficialmente, sendo este o período de amortização para o capital empregado, considerando três ciclos de cultivo irrigado por ano.

Tabela 2. Custo do milímetro de água para irrigação por gotejamento na cultura do milho.

Descrição	R\$ ha ⁻¹ ciclo ⁻¹	R\$ mm ⁻¹	%
Infraestrutura hidráulica/Edificações (amortização em 20 anos - 60 ciclos)	40,60	0,12	5,0%
Sistema de irrigação (amortização em 4 anos - 12 ciclos)	600,52	1,72	74,5%
Custo operacional da irrigação por ciclo	165,29	0,47	20,5%
Custo total da irrigação por ciclo	806,41	2,30	100
Operação do sistema de irrigação durante 3 ciclos de produção por ano			
Lâmina média por ciclo: 350 mm			

Os preços de venda do feijão usados para o cálculo de remuneração foram três valores padronizados devido à variação da cotação durante as safras, para que possam ser usados como comparativos em tomadas de decisões administrativas (Tabela 3).

Tabela 3. Cenários de cotação da saca (60 kg) e do kg de feijão utilizados na análise econômica conforme preços de venda do site da Agrolink, levando em conta uma margem de R\$ 100,00 acima e abaixo do preço real (consulta em fevereiro de 2022).

R\$ saca ⁻¹	R\$ kg ⁻¹
180,00	3,00
280,00	4,67
380,00	6,33

A lâmina de irrigação de máxima eficiência econômica foi estimada pela Equação 6 (FRIZZONE, 1993):

$$X_{ec} = \frac{P_x - P_y b_1}{2P_y b_2} \quad (6)$$

em que: X_{ec} – é a lâmina de irrigação que proporciona a produtividade ótima econômica (kg ha^{-1})

P_x – é o custo médio do mm de água ($\text{R\$ mm}^{-1}$);

P_y – é o preço de venda do kg de feijão ($\text{R\$ kg}^{-1}$);

b_1 e b_2 – são os coeficientes da função de produção;

Posteriormente, a produtividade de máxima eficiência econômica foi estimada substituindo-se x por X_{ec} na Equação 3.

A margem de contribuição agrícola foi estimada pela Equação 7 (SILVA *et al.*, 2015):

$$MCA = P_y Y - (P_x L + C_{op}) \quad (7)$$

em que:

MCA – é a margem de contribuição agrícola ($\text{R\$ ha}^{-1}$)

Y – é a produtividade de grãos do feijão (kg ha^{-1})

P_y – é o preço do quilograma de feijão ($\text{R\$ kg}^{-1}$)

P_x – é o custo do milímetro de água para irrigação por gotejamento ($\text{R\$ mm}^{-1}$)

L – é a lâmina bruta total de irrigação

C_{op} – é o custo operacional de produção do feijão ($\text{R\$ ha}^{-1}$)

4.6. Análises estatísticas

Os resultados de produção obtidos através das variáveis agronômicas foram submetidos à análise de variância pelo teste de Fisher às probabilidades de 1 e 5%, e a partir do qual foi obtida a função de produção da cultura para realização da análise econômica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Variáveis agrometeorológicas e balanço de água no solo

A precipitação pluvial durante o ciclo de produção do feijão (22/02/2018 a 09/05/2018, 77 dias) somou 78,2 mm, sendo que 26% (20,6 mm) dessa chuva ocorreram apenas num só dia (23/02/2018), caracterizando distribuição irregular da precipitação pluvial durante o período de cultivo (Figura 5). Contudo, este período do ano não corresponde à estação chuvosa da região. Os eventos de chuva na região de cultivo não

são suficientes para atender a demanda hídrica da cultura, sendo necessário recorrer ao uso da irrigação (SILVA *et al.*, 2019).

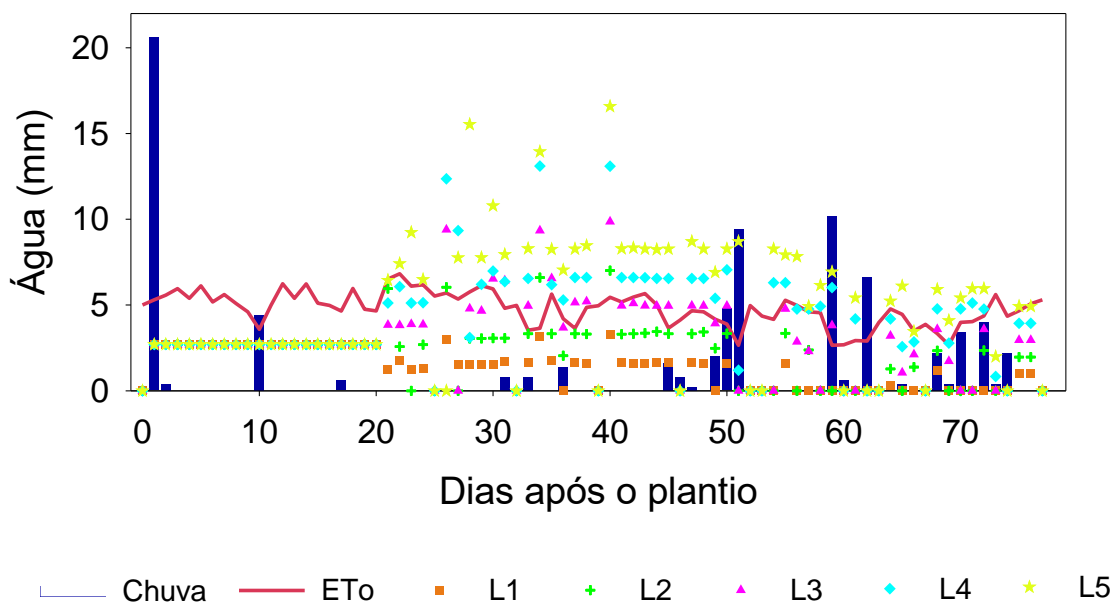


Figura 5. Valores diários de chuva, evapotranspiração de referência e tratamentos de lâminas aplicadas (L1, L2, L3, L4 e L5) durante o cultivo de feijão caupi no período de fevereiro a maio de 2018, na região de Piranhas-AL.

A evapotranspiração de referência (ETo) total no ciclo de cultivo foi 262,8 mm, com mínima de 2,7 mm dia⁻¹ (13, 21 e 22/04; e 01/05 de 2018), máxima de 6,8 mm dia⁻¹ (15 de março de 2018) e média de 4,6 mm dia⁻¹ (Figura 5). Observa-se valores menores de ETo no período em que há ocorrência de chuvas, quando há alta nebulosidade e diminuição da intensidade da radiação solar, do aquecimento da atmosfera e consequentemente, da demanda hídrica atmosférica.

A irrigação foi aplicada de forma plena durante toda a 1ª fase de desenvolvimento da cultura (fevereiro a março de 2018) devido à baixa ocorrência e irregularidade de chuvas na maior parte desse período para suprir a demanda hídrica das plantas (Figura 5), em que foi utilizada uma lâmina de 2,7 mm dia⁻¹ para atender à necessidade hídrica da cultura (ETc). As lâminas de irrigação diferenciadas foram iniciadas no período compreendido entre o final da fase inicial e o início da fase de crescimento da cultura (21 DAP). Os valores médios diários das lâminas aplicadas foram 1,6; 3,3; 4,6; 5,8 e 7,6 mm em L1, L2, L3, L4 e L5, respectivamente. Nessa região geográfica é importante se atentar ao fazer uso de irrigação por gotejo, pois pode ocorrer infiltração lateral da água devido a uma condição de solo saturado, uma vez que os solos são rasos e há impedimento de drenagem pela rocha matriz.

Durante toda a fase inicial da cultura (0-20 DAP), todos os tratamentos permaneceram com o armazenamento de água no solo (ARM) igual à capacidade de

água disponível (CAD = 20 mm), em virtude da irrigação feita neste período (Figura 6). A partir da fase de crescimento, o ARM de L1, L2 e L3 esteve abaixo do limite da água facilmente disponível (AFD) na maior parte dos dias em consequência da subirrigação, em que a deficiência de água foi de grande intensidade, em especial na fase em que a cultura estava em crescimento máximo, necessitando de maior consumo de água para seus processos fisiológicos. Nos tratamentos L4 e L5, o ARM permaneceu próximo à CAD durante todo o período de cultivo, uma vez que foram irrigados com lâminas maiores que a ETC. Durante a diferenciação de lâminas, ocorreram algumas reduções no ARM destes tratamentos devido a problemas de pressão no sistema, ainda assim, não foi suficiente para comprometer a cultura.

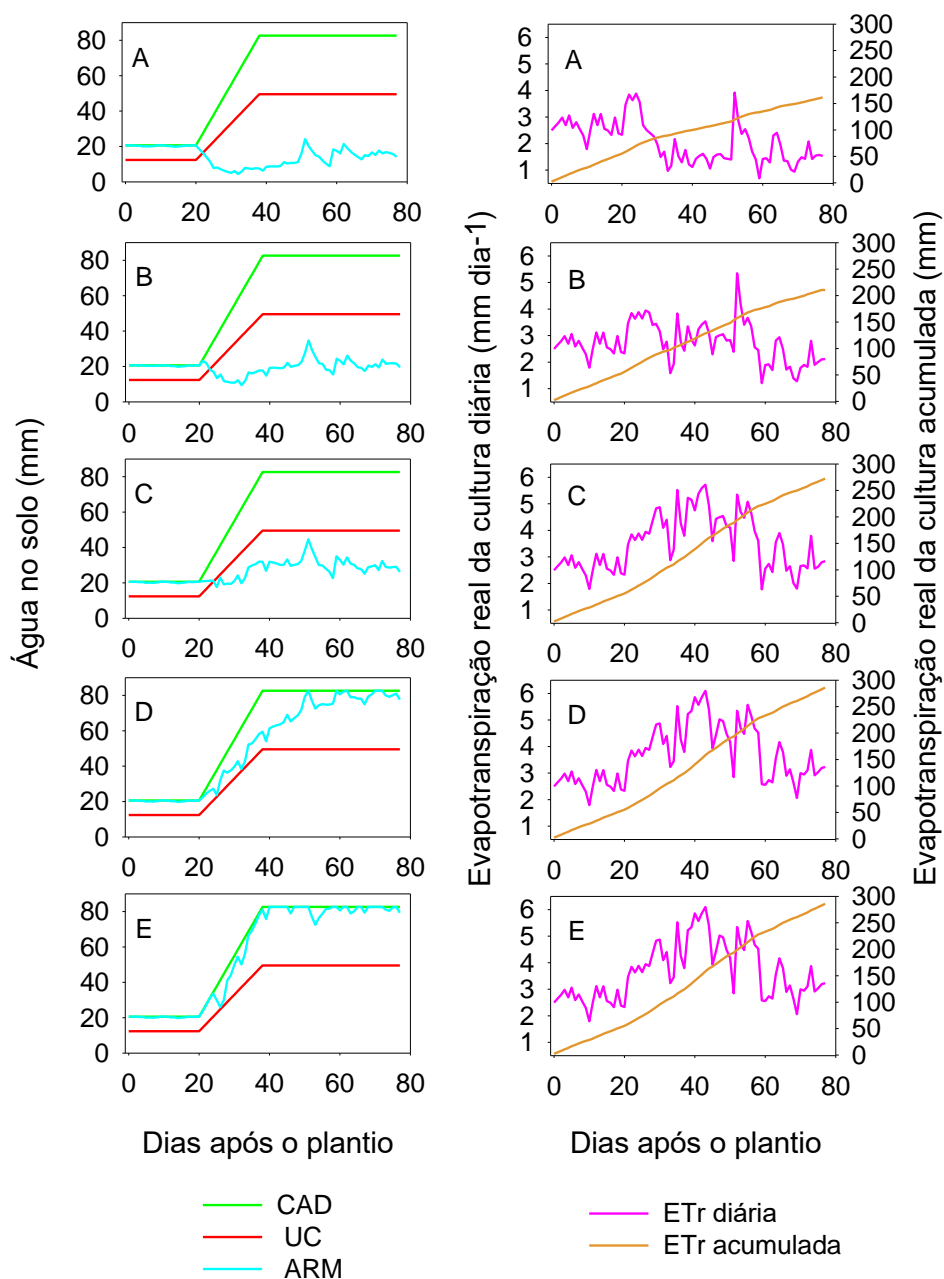


Figura 6. Valores diários da capacidade de água disponível no solo (CAD), limite da água facilmente disponível (AFD), armazenamento de água no solo (ARM) e evapotranspiração real (ETr) diária e acumulada da cultura para tratamentos com diferentes lâminas de irrigação (A-L1, B-L2, C-L3, D-L4 e E-L5) durante o ciclo de cultivo do feijão caupi no período de fevereiro a maio de 2018, na região de Piranhas-AL.

A evapotranspiração real da cultura variou entre os tratamentos com médias de 1,9; 2,8; 3,8; 4,0 e 4,0 mm dia⁻¹ e acúmulo de 161,5; 210,7; 272,4; 286,0 e 286,0 mm dia⁻¹ para os tratamentos de irrigação com 30, 60, 90, 120 e 150% da ETc (Figura 6). A evapotranspiração real da cultura (ETr) é a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais de fatores atmosféricos e de umidade do solo (MATZENAUER *et al.*, 2003). A evapotranspiração da cultura (ETc) sofre interferência, além das variáveis meteorológicas e do solo, das características inerentes a cada cultura, como o tipo de metabolismo e tamanho das folhas, e ainda, conforme a fenologia da planta (SOUZA *et al.*, 2015). A ETc é ajustada em conformidade ao coeficiente único da cultura (Kc) e configura a demanda hídrica da cultura em função de suas características e das condições de clima da região de cultivo. Em condição irrigada, atribui-se que não há deficiência hídrica, visto que a demanda hídrica da cultura é suprida, assim, não há estresse para as plantas (ARAÚJO *et al.*, 2021). Nesse sentido, em regime irrigado, a ETr corresponde a ETc.

5.2. Produtividade agrícola e análise econômica

A análise de variância das variáveis: número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) e produtividade (kg ha⁻¹); está apresentada na Tabela 4. Observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos de lâminas de irrigação para as variáveis NVP e produtividade a 1% de probabilidade, com os coeficientes de variação de 9,6 e 11,1%, respectivamente, indicando boa precisão com que os dados foram analisados.

Tabela 4. Resumo da análise de variância pelo teste F para avaliação produtiva realizada no cultivo de feijão caupi com NVP – número de vagens por planta, NGV – número de grãos por vagem e PROD – produtividade de grãos (kg ha⁻¹) em função de diferentes lâminas de água aplicadas na região de Piranhas-AL.

Quadrados médios			
FV	NVP	NGV	PROD
Bloco	12,39 ^{ns}	57,32 [*]	27.861,61 ^{ns}
Lâminas	42,95 ^{**}	22,59 ^{ns}	243.766,26 ^{**}
CV (%)	9,6	6,6	11,1
Média geral	21,76	55,14	1.663,63

** significativo ($p \leq 0,01$), * significativo ($p \leq 0,05$) e ^{ns} não significativo pelo teste F

A curva de regressão polinomial quadrática para produtividade agrícola do feijão em função das lâminas de irrigação no ciclo de cultivo está apresentada na Figura 7. A produtividade agrícola entre L1 e L5 variou de 1.397,1 a 1.723,6 kg ha⁻¹. Pode-se observar que a curva de regressão apresenta comportamento suave conforme as lâminas aumentam, devido à baixa resposta da cultura à água, por se tratar de uma variedade crioula bastante adaptada às condições de escassez de água da região.

Resultados semelhantes a este foram encontrados por Mota *et al.* (2020), que estudaram o efeito da irrigação em três variedades crioulas de feijão caupi e observaram baixos incrementos da cultura ao aumento das lâminas de irrigação, sendo as produtividades máximas de 502 e 393 kg ha⁻¹ para as variedades Baiano e Caupi-preto com 45 kPa de tensão no solo, a partir daí a cultura apresentou resposta negativa; e a variedade Costela-de-vaca apresentou curva de resposta com tendência negativa em todos os tratamentos de lâmina de irrigação aplicados.

De acordo com a lei dos rendimentos decrescentes, que corresponde à análise de resposta pelo princípio agrônômico conhecido como “a lei do mínimo”, descrita por Von Liebig (1840), “a produtividade de qualquer cultura é dirigida por qualquer mudança na quantidade e qualidade do fator escasso, o chamado fator mínimo. Neste sentido, à medida que o fator mínimo é aumentado, a produtividade é incrementada na proporção da oferta daquele fator até que outro fator se torne mínimo”. Esta lei se aplica a todos os seres vivos; portanto, neste caso, como a umidade do solo nos tratamentos com maiores lâminas não foi mais o fator limitante do crescimento das plantas, a produtividade da cultura só aumentaria sob condições ótimas de nutrientes, temperatura do ar, luz, CO₂ e outros fatores de produção vegetal. A produtividade física máxima da cultura, estimada pela função de produção, seria de 1.857,4 kg ha⁻¹, obtida com lâmina

líquida de irrigação de 281 mm (Figura 7). Conforme Silva *et al.* (2015), para produtividades acima do valor máximo, ou seja, com a cultura em condições ótimas de umidade no solo, é preciso recorrer a outras práticas agrícolas, como adubação, controle de pragas e doenças, além de outros.

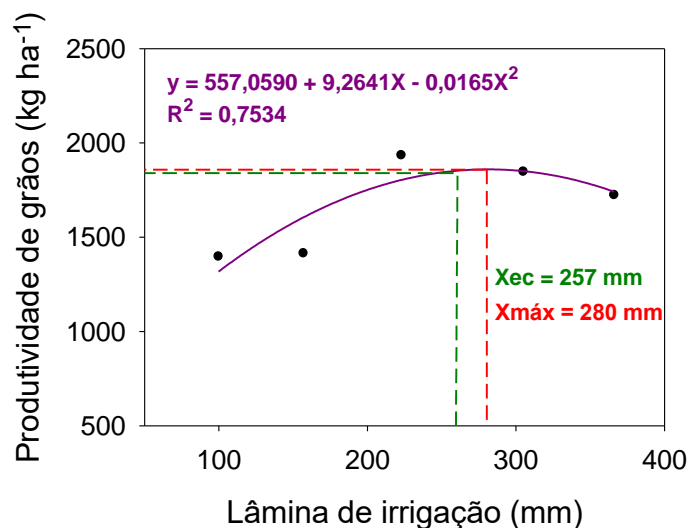


Figura 7. Produtividade agrícola do feijão caupi em função de diferentes lâminas de irrigação na região de Piranhas-AL.

A produtividade de máxima eficiência econômica com o preço mínimo de R\$ 3,00 por kg de grão foi de 1.848,5 kg ha⁻¹, obtida com lâmina de 257 mm. Para o preço médio de 4,67 R\$ kg⁻¹, a produtividade de máxima eficiência econômica foi de 1.853,7kg ha⁻¹ obtida com 266 mm. Com preço do feijão de 6,33 R\$ kg⁻¹, a lâmina máxima econômica foi de 270 mm e gerou produtividade de 1.855,4 kg ha⁻¹. As lâminas econômicas para os diferentes preços da cotação do feijão resultam em produtividades próximas entre si, e semelhantes à máxima produtividade física.

Efeito semelhante a este foi encontrado por Neves *et al.* (2021), os quais estudaram a viabilidade econômica do feijoeiro em função da irrigação e adubação nitrogenada e observaram que com lâmina física de 448,9 mm e lâmina máxima econômica de 446,6 mm, a cultura apresentou valores de produtividade iguais a 4.859,7 e 4.858,76 kg ha⁻¹, respectivamente.

A margem de contribuição agrícola (MCA) passa a ser positiva a partir da lâmina de 107 mm para o preço do kg do grão igual a R\$ 3,00 (MCA1), assim como para os preços de R\$ 4,67 (MCA2) e 6,33 (MCA3) com as lâminas de 32 e 6 mm, respectivamente (Figura 8).

Os valores máximos da MCA gerada com os preços do feijão iguais a R\$ 3,00; 4,67 e 6,33 kg⁻¹ foram de R\$ 4.786,95; 7.748,66 e 10.839,81 ha⁻¹ obtidos com as

lâminas de 257, 267 e 270 mm, respectivamente (Figura 8). Observa-se que as diferenças entre as lâminas são muito baixas, e que usando a lâmina mínima econômica de irrigação a MCA será equivalente para as variações de preços do quilo do feijão. Também é possível observar que as lâminas que proporcionam os valores máximos de MCA são equivalentes às lâminas que proporcionam as produtividades de máxima eficiência econômica para as cotações de preços de venda do feijão estudados. Assim, a produtividade de máxima eficiência econômica, na prática, pode obtida com a lâmina econômica da cotação mínima.

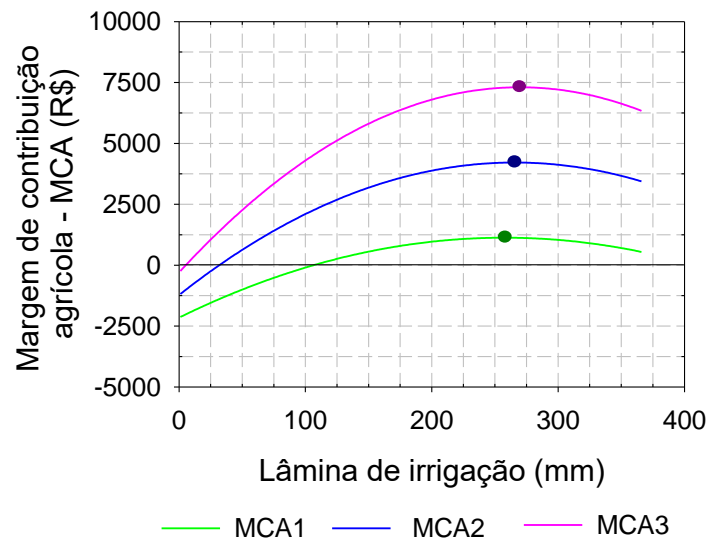


Figura 8. Margens de contribuição agrícola pelo feijão para os preços de 3,00; 4,67; 6,33 reais kg^{-1} em cultivo irrigado na região de Piranhas-AL.

Osti *et al.* (2019) estudaram o efeito de lâminas crescentes no cultivo do feijão e observaram aumento na receita líquida de R\$ -256.591,07 para R\$ 379.406,71 com as lâminas de 295,14 e 635,69 mm, respectivamente, indicando aumento da margem de contribuição agrícola pela cultura ao aumentar a quantidade do insumo aplicado, no entanto, não testaram uma lâmina maior para observação da queda da curva de resposta após atingir o ponto de inflexão.

O cômputo dos custos de insumos na agricultura em busca do máximo retorno de capital abrange diversos fatores difíceis de controlar, especialmente quando se trata de fatores ambientais. Assim, trabalhos como este fornece base em decisões administrativas, contanto que as condições sejam semelhantes às do local onde a pesquisa foi realizada. Ademais, questões econômicas, como preços de insumos e produtos agrícolas, estão sujeitas a alterações diárias, ficando a juízo de o administrador buscar a melhor solução e escolher a alternativa mais vantajosa para uso de determinado insumo.

5.3. Eficiência no uso da água pelo feijão caupi

Em relação à eficiência no uso da água (EUA) pelo feijão, observa-se que a eficiência diminuiu na medida em que se aumentou a lâmina de irrigação, uma vez que este fator entra como denominador desta relação. Assim, a EUA reduziu de 8,3 para 4,1 kg de grãos por milímetro de água consumido nas lâminas com 30 e 150% da ETc, respectivamente (Figura 9), indicando que quando a irrigação se aproxima das condições de cultivo sem deficiência hídrica a EUA é menor, ou seja, na condição de déficit hídrico a cultura aproveita melhor a água disponível, o que corrobora com as conclusões de Frizzone (1993).

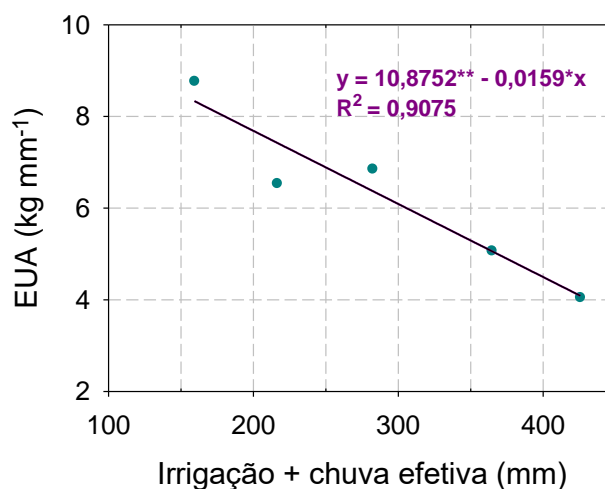


Figura 9. Eficiência no uso da água pelo feijão caupi em função de lâminas de irrigação (30, 60, 90, 120 e 150% da ETc) mais a precipitação efetiva no município de Piranhas-AL.

A EUA é uma variável essencial para o irrigante usar como medida de referência no planejamento de safra e nas tomadas de decisões, uma vez que determina o rendimento unitário em função da magnitude da lâmina de água que se deseja aplicar. Silva *et al.* (2018), estudando milho irrigado com níveis de água entre 40 e 160% da ETc, também observaram diminuição da EUA na forma de consumo, de 181,8 para 55,3 mm Mg⁻¹, conforme se aumentavam as lâminas de irrigação na região de Piranhas-AL.

6. CONCLUSÕES

A cultura do feijão caupi de natureza genética crioula apresenta baixa resposta à irrigação, em que a lâmina econômica independe do preço de venda do grão e está próxima da lâmina que proporciona a máxima produtividade física.

A lâmina máxima de produtividade física está em torno de 280 mm (121% da ETc) e promove uma produtividade média de grãos de 1.857kg ha⁻¹.

A lâmina de máxima eficiência econômica está em torno de 257 mm (111% da ETc) e promove uma produtividade média de grãos de 1.848kg ha⁻¹.

Os preços de venda do kg do grão iguais a R\$ 3,00, 4,67 e 6,33 resultam em lucratividades médias de R\$ 1.127,13, 4.213,26 e 7.304,41, respectivamente.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, E. R.; SILVA, S.; SILVA, C. S. DA; SOUZA, J. E.; SOUSA, A. C. DA P.; TEODORO, I. Balanço sazonal de água no solo para manejo da irrigação de milho no semiárido de Alagoas. **Revista Verde**, v.16, n.3 p. 253-258, 2021.

ARAÚJO, M. S. **Seleção simultânea para múltiplos caracteres, adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão-caupi no semiárido piauiense**. 2020. 97 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal do Piauí, 2020.

ANDRADE-JÚNIOR; A.S. DE; BASTOS, E.A.; CARDOSO, M.J.. **Cultivo de Feijão-Caupi**. Embrapa Meio-Norte, 2017.

ALBÁN, M. **Manual de cultivo de frijolcaupi**. 1. ed. Piura: Asociación de productores agropecuarios del distrito de Morropón, 2012.

AZEVEDO, B. M.; FERNANDES, C. N. V.; PINHEIRO, J. A.; BRAGA, E. S.; VIANA, T. V. de A.; CAMBOIM NETO, L de F.; MARINHO, A. B. Efeitos de lâminas de irrigação na cultura do feijão vigna de cor preta. **Agropecuária técnica**, v. 32, n. 1, p. 152–159, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.25066/agrotec.v32i1.9801>.

AGUIAR, J. V. de. **A função de produção na agricultura irrigada**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2005. 196 p.

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

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; FRIZZONE, J. A.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RODRIGUES, B. H. N. Estratégias ótimas de irrigação para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 2, p. 301-305, fev. 2001.

BARROS, J. R. A.; SILVA, R. M. e; MELO, N. F. de; DANTAS, B. F.; ANGELOTTI, F. Crescimento inicial de cultivares de feijão-caupi em cenário climático futuro. In: JORNADA DE INTEGRAÇÃO DA PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 3., 2018, Petrolina. Anais... Petrolina: **Embrapa Semiárido**. p. 171-175, 2018. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1102307>>. Acesso em: 01 set. 2021.

BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, C. R. da; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Gurguéia, Piauí. **IRRIGA**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 182–190, 2008. DOI: 10.15809/irriga.2008v13n2p182-190. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3363>. Acesso em: 2 set. 2021.

BASTOS, E.A.; FOLEGATTI, M.V.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; CARDOSO, M.J.; FARIA, R.T. Manejo econômico da irrigação do feijão caupi via modelo de simulação. **Irriga**, v. 5, n.2, p. 84-98, 2000.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileiro – grãos: 12º levantamento, setembro 2020 – safra 2019/2020.: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento.

CORDEIRO, L. G.; BEZERRA, F. M. L.; SANTOS, J. J. A.; MIRANDA, E. P. **Avaliação da produtividade do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. Anais... Lavras: SBEA: UFLA, 1998. v. 2, p. 181-183.

COSTA, A. F. da. **FEIJÃO-CAUPI NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**. In: Cadernos do Semiárido riquezas & oportunidades. Recife: CREA-PE: Editora UFRPE, v. 17, n.3, 2020.

COSTA, P. S. *et al.* **Crescimento inicial de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) sob variação de temperatura ambiente e condutividade elétrica da água.** In: II Congresso Paraibano de Agroecologia & IV Exposição Tecnológica, 2019. Anais... Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, Pombal, v. 9, n.7, e-7061, 2019.

COSTA, R. C. L.; CARDOSO, B. B.; SILVA, J. T.; GOMES FILHO, J. G. F.; SILVEIRA, J. A. G. O estresse hídrico diminui intensamente a assimilação do nitrato e a nodulação em feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*, (L.) Walp.). In: **REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI**, 4., 1996, Teresina. Resumos... Teresina: EMBRAPA-CPAMN, 1996. p. 78-79.

ELLIS, R. H.; LAWER, R. J.; SUMMERFIELD, R. J.; ROBERTS, E. H.; CHAY, P. M.; BROUWER, J. B.; ROSE, J. L.; YEATES, S. J. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. III. Cowpea (*Vigna unguiculata*). **Experimental Agriculture**, London, v. 30, n. 1, p. 17-29, 1994.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais da produção de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) no Brasil (1985 a 2019): área, produção e rendimento.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2020. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 27 jul. 2021.

FARIAS, V.D. da S.; COSTA, D.L.P.; SOUZA, P.J. de O.P. de; TAKAKI, A.Y.; LIMA, M.J.A. de. Temperaturas basais e necessidade térmica para o ciclo de desenvolvimento do feijão-caupi. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p. 1782, 2015.

FERNANDES, L. A. C.; RIBEIRO, M. R.; OLIVEIRA, L. B.; FERREIRA, R. F. A. L. Caracterização e classificação de solos de uma litotoposequência do Projeto Xingó-SE. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.2, p.192-201, 2010.

FERREIRA, V. M. **Coefficiente de cultura e lâmina ótima de irrigação para a melancia, na microrregião de Teresina, PI.** - Botucatu, 2012.

FIGUEIRÊDO, V. B. **Evapotranspiração, crescimento e produção da melancia e melão irrigados com águas de diferentes salinidades**. 2008. 104 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu - SP, 2008.

FREIRE-FILHO, F. R. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84p.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; BARRETO, P. D.; SANTOS, A. A. dos. Melhoramento genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2005. p. 28-92.

FREIRE-FILHO, F. R.; ROCHA, M. DE M.; DAMASCENO E SILVA, K. J. Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). **Sistemas de produção**. Embrapa, 2002.

FRIZZONE, J. A. & ANDRADE JUNIOR, A. S. **Planejamento de irrigação: análise de decisão de investimentos**. Brasília: EIT, 2005, 627p.

FRIZZONE, J.A. Função de produção. In: FARIA, M. A.; SILVA, E. L.; VILELLA, L. A. A.; SILVA, A. M. (Ed.). **Manejo da irrigação**. Lavras; UFLA/ Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.86-116.

FRIZZONE, J. A. (1993). **Funções de resposta das culturas à irrigação**. Série Didática, 6 (p. 43). Piracicaba: ESALQ/USP.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâminas de irrigação**. 1986. 133 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

GATES, T.K.; HEYDER, W.E.; FONTANE, D.G.; SALAS, J.D. Multicriterion strategic planning for improved irrigation delivery. I: Approach. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 117, n. 6, p. 897-913, 1991.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z. A. Economics consideration of deficit irrigation. **Journal of irrigation and Drainage engineering**, v.3, n. 110, p.343 – 358, 1984.

JÚNIOR, A. S. DE A... [et al.]. **Cultivo do feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp)** / - Teresina : Embrapa Meio-Norte. Sistemas de Produção : 2., 2002. 108 p.

KIRCHNER, J. H.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; MEZZOMO, W.; BEN, L. H. B.; PIMENTA, B. D.; PEREIRA, A. C. Funções de produção e eficiência no uso da água em sorgo forrageiro irrigado. **Rev. Bras. Cienc. Agrar.**, Recife, v.14, n.2, e5646, 2019.

MEIRA, A.L.; SANTANA, T.M.; AMARAL, C.L.F.; MIGUEL, D.L.; JÚNIOR, N.S. dos S. Estimativas de parâmetros genéticos para características de crescimento em feijão-caupi sob estresse hídrico severo. **ACSA**, Patos-PB, v.13, n.1, p.41-47, janeiro-março, 2017.

MELO, F. DE B.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; RIBEIRO, V. Q. Recomendação de adubação e calagem para o feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil. **Comunicado técnico**, Embrapa Meio-Norte, Teresina-PI, 2018.

MENDONÇA, C. DE A.; BARROSO NETO, A. M.; MAGALHÃES BERTINI, C. H. C. DE; AMORIM, M. Q.; ARAÚJO, L. B. R. Caracterização fenológica associada a graus-dia em genótipos de feijão-caupi para produção de grãos verdes. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p. 485, 2015.

MEZZOMO, W.; PEITER, M. X.; ROBAINA, A. D.; KIRCHNER, J. H.; TORRES, R. R.; PIMENTA, B. D. Produção forrageira e eficiência de utilização da água do capim sudão submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 143-159, janeiro-março, 2020.

MIRANDA, F. R. DE; ROCHA, A. B. S.; GUIMARÃES, V. B.; SILVA, E. S. DA; LIMA, G. DE C. M.; SANTOS, E. M. S. Eficiência do uso da água na irrigação do coqueiro anão. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 109-124, janeiro-março, 2019.

MONTEIRO, R. O. C. **Função de resposta da cultura do meloeiro aos níveis de água e dubação nitrogenada no Vale do Curu**, CE. 2004. 87 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

MOTA, F. G. DOS S.; SOUZA, L. P. DE; ALMEIDA, M. P. DE. Irrigação suplementar em feijões crioulos. **Scientia Naturalis**, Rio Branco, v. 2, n. 2, p. 851-861, 2020.

NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 174–177, 2004.

NEVES, J. C. B.; SANTANA, M. J. de; FERNANDES, A. L. T.; ASSIS, M. P. de; VAN KEMPEN, J. C. Viabilidade econômica do feijoeiro, sob lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Nativa**, Sinop, v. 9, n. 2, p. 202-208, mar./abr. 2021.

OLIVEIRA, L. F. C. de; OLIVEIRA, M. G. de C.; WENDLAND, A.; HEINEMANN, A. B.; GUIMARÃES, C. M.; FERREIRA, E. P. de B.; QUINTELA, E. D.; BARBOSA, F. R.; CARVALHO, M. da C. S.; LOBO JUNIOR, M.; SILVEIRA, P. M. da; SILVA, S. C. da. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos.**– Brasília, DF:Embrapa, 2018. 59 p.

OLIVEIRA, A. B. de et al. Exigências edafoclimáticas e ecofisiológicas. In: DOVALE, J. C.; BERTINI, C. H. C. M.; BORÉM, A. (Eds.). **Feijão-caupi: do plantio à colheita.** Viçosa: Editora UFV, 2017. p. 52–69.

Osti, A. M., Dallacort, R., Tieppo, R. C., Grzebieluckas, C., & Conceição, A. M. Rentabilidade do milho e do feijão submetido a diferentes lâminas de irrigação em Mato Grosso. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.57, n.4, p.505-518, 2019.

ROCHA, MAURISRAEL DE MOURA., SILVA, KAESEL JACKSON DAMASCENO., JUNIOR, JOSE ANGELO NOGUEIRA DE MENEZES. SISTEMAS DE PRODUÇÃO EMBRAPA. **Cultivo de feijão-caupi**, 2ª Ed. mar/2017. Disponível em:<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161165/1/SistemaProducaoCaupiCapituloCultivares.pdf>>. Acesso em: 30 ago. 2021.

RODRIGUES, J. S.; SILVA, M. G. G.; SOUSA, J. S. C.; SIMÕES, W. L.; LORENZO, V. P. Tensiometria e balanço hídrico climatológico no manejo de irrigação do feijão-caupi “BRS Pujante. **Revista Semiárido De Visu.**, Petrolina, v. 7, n. 3, p. 294-305, 2019.

SANTOS, G. R.; SANTOS, É. M. C.; LIRA, E. S.; GOMES, D. L.; SOUZA, M. A.; ARAUJO, K. D. **Análise da precipitação pluvial e temperatura do ar de Olho D’Águado Casado, Delmiro Gouveia e Piranhas, Alagoas.** REGNE, Vol. 3, n 1, 2017.

SANTOS, M. R. dos; KURFIS, M. A.; FERNANDES, J. C.; ROCHA, M. M.; DAMASCENO, K. J.; NEVES, A. C. das. EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA EM FEIJÃO CAUPI SOB DÉFICIT HÍDRICO NA FASE PRODUTIVA. **IV INOVAGRI International Meeting**, 2017.

SANTOS, J. J. A.; BEZERRA, F. M. L.; MIRANDA, E. P.; CORDEIRO, L. G. Determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração máxima (E_{tm}) em diferentes fases fenológicas do feijão caupi (*Vigna unguiculata*(L.) Walp.). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 27., 1998, Poços de Caldas. Anais... Lavras: SBEA: UFLA, 1998. v. 2, p. 184- 186.

SILVA, R. R. da; GONÇALVES, I. S.; PEREIRA, A. V. A.; OLIVEIRA, G. M. de; FERRAZ, A. L. F.; OLIVEIRA, V. E. de. CONSUMO HÍDRICO DO FEIJÃO CAUPI NO SUBMÉDIO DO VALE DO SÃO FRANCISCO. **IV INOVAGRI International Meeting**, 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Iris-Goncalves/publication/320119402_CONSUMO_HIDRICO_DO_FEIJAO_CAUPI_NO_SUBMEDIO_DO_VALE_DO_SAO_FRANCISCO/links/5b57844a0f7e9bc79a609b0b/CONSUMO-HIDRICO-DO-FEIJAO-CAUPI-NO-SUBMEDIO-DO-VALE-DO-SAO-FRANCISCO.pdf>. Acesso em: 02 set. 2021.

Silva, S.; Silva, C. S. da; Souza, J. E.; Sousa, A. C. da P.; Araújo, E. R. USO ECONÔMICO DA ÁGUA PARA O FEIJÃO CAUPI NA REGIÃO DO SERTÃO ALAGOANO. **Revista Brasileira de Agrotecnologia** - ISSN 2317-3114 - (BRASIL) v. 9, n.1, p. 07-13, ANO 2019.

Silva, S.; Guimarães, R. F. B.; Nascimento, R. do; Oliveira, H. de; Teodoro, I.; Cardoso, J. A. F.; Bezerra, C. V. de C. & Penha, J. L. da. Economic Use of Water in Drip-Irrigated Maize in Semi-Arid Region of Brazil. **Journal of Agricultural Science**.v.10, n.3, p.364, 2018.

SILVA, S.; NETO, J. D.; TEODORO, I.; SILVA, S. S. DA; NASCIMENTO, R. DO; BARBOSA, G. V. DE S. ECONOMIC DEPTH OF DRIP IRRIGATION ON SUGARCANE. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, IRRIGA & INOVAGRI, p.37-46, 2015

SCHÖFFEL, E. R.; VOLPE, C. A. Relação entre a soma térmica efetiva e o crescimento da soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 89-96, 2002.

SOARES, J. I.; COSTA, R.N.T.; SILVA, L. A. C.; GODIM, R.S. Função de resposta da melancia aos níveis de água e adubação nitrogenada, no vale do Curu, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.2, p.219 – 224, 2002.

STAMFORD, N. P.; SANTOS, D. R.; SILVA, V. M.; SANTOS, C. E. R. S.; MONTEIRO, M. C. Fixação do N₂ e matéria seca do caupi em dois solos do semi-árido brasileiro submetidos à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 283-290, set./dez. 1990.

STEWART, J. I.; HAGAN, R. M. Functions to predict effects of crop water deficits. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, v.99, p.421-439, 1973.

APÊNDICE A

Tabela 5. Custo da infraestrutura hidráulica e sistema de irrigação por gotejamento para 1 hectare para a cultura do feijão, considerando preços reais consultados via Google Shopping em fevereiro de 2022.

Sistema de irrigação	Unidade	Preço unitário (R\$)	Quantidade	Total
mangueira gotejamento, esp. 20 cm, PS 10 mca, vazão 1,6 L/h	m	0,55	12500	6.925,00
conector + anel de vedação	unidade	1,45	125	181,25
conector final de mangueira	unidade	0,80	125	100,00
			Total	7.206,25
Estrutura hidráulica				
tubo pvc 50 mm, PN 40, 6 m	unidade	4,33	17	73,67
bomba 1 cv	unidade	1.500,00	1	1.500,00
Filtro de disco 2"	unidade	87,90	1	87,90
Filtro de tela 2"	unidade	89,40	1	89,40
ventosa 2" duplo efeito	unidade	238,00	1	238,00
válvula de retenção 2"	unidade	46,22	1	46,22
registro 32 mm	unidade	12,89	3	38,67
venturi 32 mm	unidade	48,90	1	48,90
registro 50 mm metal	unidade	82,39	1	82,39
chave contactora 1 cv	unidade	50,00	1	50,00
disjuntor 20A	unidade	14,99	1	14,99
quadro de comando	unidade	76,00	1	76,00
Manômetro de glicerina 0-10 bar	unidade	90,00	1	90,00
			Total	2.436,14