



SEBASTIÃO PEREIRA DO NASCIMENTO

**DESEMPENHO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-MUNGO SOB
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

TERESINA - PI

2024

SEBASTIÃO PEREIRA DO NASCIMENTO

**DESEMPENHO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-MUNGO SOB
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

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

ORIENTADOR

Dr. Edson Alves Bastos

TERESINA, PI

2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco
Divisão de Representação da Informação

N244d Nascimento, Sebastião Pereira do.
Desempenho de linhagens de feijão-mungo sob diferentes lâminas de irrigação / Sebastião Pereira do Nascimento. -- 2024.
80 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Piauí,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Teresina,
2024.

“Orientador: Dr. Edson Alves Bastos”.

1. *Vigna radiata*. 2. Déficit hídrico. 3. Irrigação. 4.
Produtividade de grãos. I. Bastos, Edson Alves. II. Título.

CDD 635.65

Bibliotecária: Francisca das Chagas Dias Leite – CRB3/1004

SEBASTIÃO PEREIRA DO NASCIMENTO

**DESEMPENHO O DE LINHAGENS DE FEIJÃO-MUNGO SOB
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

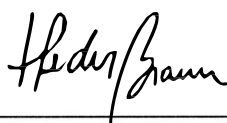
Tese apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

APROVADA em 29 de abril de 2024

Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Clemilton da Silva Ferreira - IFCE/Membro Externo



Prof. Dr. Heder Braun – UEMA/Membro Externo



Prof. Dr. Rogério Faria Vieira – EPAMIG/Membro Externo



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



Prof. Dr. Edson Alves Bastos – EMBRAPA Meio-Norte /Presidente
(Orientador)

TERESINA-PI
2024

OFEREÇO

Aos grandes mestres da irrigação e drenagem, em especial Aderson Soares de Andrade Júnior e Edson Alves Bastos.

DEDICO

Aos meus queridos filhos e sobrinhos, para que percebam que a ciência é universal e deve ser difundida sem imposições de fronteiras.

AGRADECIMENTOS

A *Deus*, por permitir que os objetivos fossem alcançados, ao longo dessa jornada acadêmica.

À minha mãe Helena Terto, pelo exemplo de resiliência, felicidade, lucidez, paciência e por todos os ensinamentos. Ao meu Pai Zé Lulu (*In memoriam*), pelo reconhecimento do nosso potencial e carinho.

A todos os familiares, por acreditarem e serem fonte de apoio emocional e compreensão durante os momentos difíceis.

À Universidade Federal do Piauí e ao Centro de Ciências Agrárias pela oportunidade da realização do Doutorado.

À Embrapa Meio-Norte pelo aporte financeiro, pela infraestrutura física e laboratorial e pessoal para consecução do experimento.

Agradeço ao meu orientador Dr. Edson Alves Bastos e ao pesquisador Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior pela orientação e ensinamentos na condução do experimento científico, tabulação dos resultados e escrita desta pesquisa.

Aos funcionários da Embrapa Meio-Norte, em especial ao Gustavo Sousa, Francisco Mauro, Manoel Goncalves, Antônio Vieira, José Anchieta e à equipe de campo, pela ajuda na implantação e atividades de campo.

Aos amigos de estágio Alzeneide, Lesly, José Roberto, Theulds, Ruan e Inácia pelo apoio na realização e condução das análises laboratoriais.

Agradecemos a todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia e aos companheiros discentes pela parceria nos estudos e na realização dos trabalhos acadêmicos.

Ao Silas Tavares Mesquita, secretário do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela disposição e atenção sempre que solicitado.

A todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão dessa etapa de minha formação acadêmica.

Meus eternos agradecimentos!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui do experimento, com a disposição dos blocos subdivididos em duas subparcelas (mungo 19 e mungo 20), com 4 repetições. Teresina-PI, 2022... **35.**

Figura 2. Realização da semeadura do feijão-mungo, e 2(b) Aplicação de agroquímicos. Teresina-PI, 2022..... **36.**

Figura 3. Bateria de coletores para aferição da uniformidade de distribuição de água e, 3(b) Sistema de irrigação por aspersão convencional. Teresina-PI, 2022.. **37.**

Figura 4. Instalação do datalogger para leituras PAR e, 4(b) Instalação dos tubos para coleta da umidade do solo (0-30cm e 30 a 60 cm). Teresina-PI, 2022..... **37.**

Figura 5. Leituras biométricas 5(a) Determinação do peso fresco de ramos 5(b) Determinação da área foliar e, 5(c) Determinação do peso seco de folhas. Teresina-PI, 2022..... **39.**

Figura 6. Aparelho Cloroflog 6(b) calibração e, 6(c) Leitura dos pigmentos a e b. Teresina-PI, 2022..... **39.**

Figura 7. 7(a e b) medição da radiação fotossinteticamente ativa e Índice de área foliar e, 7(c) Equipamento Ceptômetro LP-80. Teresina-PI, 2022..... **39.**

Figura 8. Colheita da área experimental 8(b) quantificação de números de vagens, comprimento de vagens, calibração e, 8(c) Determinação do peso de 100 grãos e produtividade. Teresina-PI, 2022..... **41.**

Figura 9. Lâminas aplicadas nas fases fenológicas e no ciclo total do feijão-mungo em cada regime hídrico. Teresina-PI, 2022..... **42.**

Figura 10. Umidade do solo, nas camadas de 0-0,3 (3a) e 0,3-0,6 m (3b), durante o ciclo de cultivo do feijão-mungo, em resposta aos regimes hídricos aplicados. As linhas tracejadas verticais delimitam as fases fenológicas, enquanto as

linhas horizontais representam os limites de umidade do solo: capacidade de campo (CC) e umidade crítica (UC). Teresina-PI, 2022.....44.

Figura 11. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (PAR-i) pelo feijão-mungo, nas diferentes fases fenológicas, em resposta aos regimes hídricos aplicados (40% ET_c, 100% ET_c e 160% ET_c). Teresina-PI, 2022.....46.

Figura 12. Comprimento de vagens (CVg) em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina-PI, 2022.....49.

Figura 13. Número de grãos por vagens (NGV) em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina-PI, 2022.....51.

Figura 14. Número de vagens por planta (NVP) em função do aumento das lâminas de irrigação..... 52

Figura 15. Peso de 100 grãos (P100G) em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina-PI, 2022 54

Figura 16. Produtividade de grãos corrigida (PGC) em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina-PI, 2022 56

Figura 17. Área foliar (AF) em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina-PI, 2022 59

Figura 18. Biomassa seca da parte aérea (BT) em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina-PI, 2022 60

Figura 19. Índice de clorofila (ICF) em função das lâminas de irrigação. Teresina-PI, 2022 62

Figura 20. Altura de plantas (AP) em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina-PI, 2022 64

Figura 21. Índice de área foliar (IAF) em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina-PI, 2022 **65**

Figura 22. Eficiência no uso da água (EUA) em função do aumento percentual das lâminas de irrigação. Teresina-PI, 2022..... **66**

Figura 23. Eficiência no uso da água versus produtividade de grãos em função do aumento das lâminas de irrigação Teresina-PI, 2022.....**67**

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Caracterização físico-química-hídrica do solo da área experimental Teresina-PI, 2022.....**34.**
- Tabela 2.** Dados meteorológicos médios obtidos durante o cultivo (julho a setembro de 2022) e dados anuais (janeiro a dezembro de 2022). Teresina-PI, 2022.....**34.**
- Tabela 3.** Lâminas de irrigação total e aplicadas em cada fase do ciclo do feijão-mungo. Teresina-PI, 2022.....**43.**
- Tabela 4.** Quadrados médios e teste F para os componentes de produção e produtividade de grãos (PGC) em resposta aos regimes hídricos aplicados. Teresina-PI, 2022.....**48.**
- Tabela 5.** Quadrados médios e teste F para área foliar (AF), biomassa total (BS), índice de clorofila (ICF), altura de planta (AP) e índice de área foliar (IAF) em resposta às cinco lâminas aplicadas. Teresina-PI, 2022.....**57.**

RESUMO

NASCIMENTO, Sebastião Pereira do. **Desempenho de linhagens de feijão-mungo submetidos a diferentes lâminas de irrigação**. 80p. Tese (Doutorado em Agronomia, Manejo de Solo e Água). Universidade Federal do Piauí- PI, 2024.

O feijão-mungo (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) é um grão da família das fabáceas cultivado por sua riqueza em proteínas, fibras e minerais. Amplamente consumido na Ásia, é semeado em diversas partes do mundo, com destaque para a Índia. Apesar de seu potencial, a produtividade tem sido baixa devido a fatores sociais e técnicos, levando a uma média de 500 kg ha⁻¹ em comparação com o potencial de 2.000 kg ha⁻¹. A baixa produtividade é atribuída a estresses bióticos e abióticos, práticas inadequadas de manejo e acesso limitado a variedades melhoradas. O estudo teve por objetivo avaliar o efeito da déficit hídrico sobre o desempenho do feijão-mungo. O experimento foi realizado em 2022 no campo experimental da Embrapa Meio Norte em Teresina, Piauí. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas. Nas parcelas, avaliaram-se cinco lâminas de irrigação (40, 70, 100, 130 e 160% da ETc) e, nas subparcelas, duas linhagens de feijão-mungo (M19 e M20), com quatro repetições. A imposição das menores lâminas (40 e 70% da ETc) resultou em diferenças significativas em todas as variáveis estudadas. Registrou-se uma redução de 43% na produtividade de grãos entre a maior lâmina L160 e a menor L40. A aplicação de 133 mm de água resultou na menor produtividade de grãos de 482 kg ha⁻¹. Em contraste, a imposição da maior lâmina L160 (357 mm), proporcionou uma produtividade média de 1.117 kg ha⁻¹. A aplicação de 247 mm de água (110% da ETc) resultou na lâmina recomendada, em termos de eficiência do uso da água. Os resultados indicam que o leve aumento na lâmina de irrigação pode ser estrategicamente empregado para otimizar a eficiência do uso da água e, conseqüentemente, a produtividade do feijão-mungo nas condições edafoclimáticas semelhantes às de Teresina, Piauí.

Palavras chaves: *Vigna radiata*, déficit hídrico, irrigação, produtividade de grãos

ABSTRACT

NASCIMENTO, Sebastião Pereira do. **Performance of mung bean lines submitted to different irrigation depths.** 80p. Thesis (PhD in Agronomy, Soil and Water Management)

The mung bean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) is a grain from the fabaceae family cultivated for its richness in protein, fiber and minerals. Widely consumed in Asia, it is sown in various parts of the world, especially India. Despite its potential, productivity has been low due to social and technical factors, leading to an average of 500 kg ha⁻¹ compared to the potential of 2,000 kg ha⁻¹. Low productivity is attributed to biotic and abiotic stresses, inadequate management practices and limited access to improved varieties. The study aimed to evaluate the effect of water deficit on the performance of mung beans. The experiment was carried out in 2022 in the experimental field of Embrapa Meio Norte in Teresina, Piauí. The experimental design used was randomized blocks with the treatments arranged in subdivided plots. In the plots, five irrigation rates were evaluated (40, 70, 100, 130 and 160% of ETc) and, in the sub-plots, two mung bean strains (M19 and M20), with four replications. The imposition of the lowest water levels (40 and 70% of ETc) resulted in significant differences in all the variables studied. There was a 43% reduction in grain yield between the highest blade L160 and the lowest L40. The application of 133 mm of water resulted in the lowest grain yield of 482 kg ha⁻¹. In contrast, the application of the highest L160 (357 mm) gave an average yield of 1,117 kg ha⁻¹. The application of 247 mm of water (110% of ETc) resulted in the recommended water use efficiency. The results indicate that a slight increase in the irrigation rate can be strategically used to optimize water use efficiency and, consequently, the productivity of mung beans in soil and climate conditions similar to those in Teresina, Piauí.

Keywords: *Vigna radiata*, water deficit, irrigation, grains yield

SUMÁRIO

RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO GERAL	16
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. Origem, dispersão e aspectos botânicos	18
2.2. Importância socioeconômica e nutricional.....	19
2.3. Características edafoclimáticas e manejo cultural	21
2.4. Lâminas de irrigação e demanda hídrica	23
2.5. Déficit hídrico em feijão-mungo.....	25
2.6. Eficiência no uso da água	28
2.7. Radiação fotossinteticamente ativa (PAR)	29
2.8. Características fitométricas, agronômicas e produtivas.....	31
3. MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1. Características da área de estudo e arranjo experimental	33
3.2. Semeadura e tratos culturais	35
3.3. Sistema e manejo da irrigação.....	36
3.4. Monitoramento da umidade do solo	37
3.5. Variáveis analisadas.....	38
3.6. Colheita e análise estatística.....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 Manejo e níveis de irrigação em linhagens de feijão-mungo.....	41
4.2. Efeitos do déficit hídrico em <i>Vigna radiata</i> (L.).....	45
4.3. Avaliação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR)	46
4.4. Variáveis biométricas, agronômicas e produtivas.....	48
4.4.1 Comprimento de vagens (CVg).	48
4.4.2 Número de grãos por vagens (NGV).....	50
4.4.3 Número de vagens por planta (NVP)	52
4.4.4 Peso de 100 grãos (P100G).	53
4.4.5 Produtividade de grãos corrigida (PGC).....	55
4.4.6 Área foliar (AF)	58
4.4.7 Biomassa seca da parte aérea (BS)	60
4.4.8 Índice de clorofila (ICF)	61
4.4.9 Altura de plantas (AP).	63

SUMÁRIO

4.4.10 Índice de área foliar (IAF)	65
4.4.11 Eficiência do uso da água (EUA).	66
4.4.12 Eficiência do uso da água (EUA) x produtividade (PGC).....	67
5. CONCLUSÕES.....	68
6. REFERÊNCIAS	69

1. INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-mungo-verde (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) é um pequeno grão da família das fabáceas, chamado de mungbean, green gram, fríjol mungo ou feijão moyashi em diversas partes do mundo (Mogotsi, 2006; Snak; Delgado-Salinas, 2023). Tem como centro de origem a Índia, onde se concentra a maior produção dessa pulse (leguminosas produzidas para o consumo de grãos secos). Países Asiáticos são os principais consumidores no mundo e, mesmo produzindo muito, não são autossuficientes, necessitando importar de outros países (Zhang *et al.*, 2013).

Ele é cultivado principalmente por seu alto teor de proteínas, fibras, vitaminas e minerais essenciais (Wang *et al.*, 2021; Shrestha, *et al.*, 2023). É muito consumido pela população asiática na forma de dhal (sopa espessa), macarrão, farinha, pão, biscoitos e na forma de brotos crus ou cozidos, (Bhupendra, *et al.*, 2018).

Apesar da importância potencial do feijão-mungo, a produtividade tem sido baixa como resultado dos ambientes sociais e físicos em que a cultura é cultivada. Na Ásia, África Oriental e Austrália, a produtividade média do feijão-mungo é estimado em 500 kg ha⁻¹ em comparação com o potencial produtividade de 2.500 kg ha⁻¹ (Chauhan; Willians, 2018; Shanmugasundaram, 2007), o que significa que ainda está muito abaixo do potencial alcançável. A baixa produtividade é atribuída aos estresses bióticos e abióticos, técnicas de manejo inadequadas e acesso limitado a variedades melhoradas (Rachaputi, *et al.*, 2019; Mbeyagala *et al.*, 2017; Pratap *et al.*, 2019). A adoção de tecnologias melhoradas de produção é estratégia importante para enfrentar esses desafios (Mmbando *et al.*, 2021).

Embora seu cultivo comercial possa ser menos difundido em comparação com outros pulses. O feijão-mungo se adapta a diferentes condições edafoclimáticas e tem boa capacidade de fixação biológica do nitrogênio atmosférico, o que beneficia a saúde do solo (Dhaliwa *et al.*, 2023). A cultura apresenta porte ereto ou semiereto, com altura variando de 30 a 150 cm, ciclo fenológico de 60 a 90 dias, mais longo em regiões mais frias e mais curto em regiões quentes. Devido ao porte da planta e localização alta das vagens no dossel das plantas, a colheita pode ser mecanizada, inclusive com o ajuste e utilização de maquinários desenvolvidos para outras leguminosas. Diversos estados brasileiros já cultivam o feijão-mungo, com destaque para o Mato Grosso, que vem ampliando a área em razão da demanda externa. A área plantada com mungo está em torno de 3.940 hectares e a produção nacional gira

em torno de 40 mil toneladas anuais (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 2020). Pesquisas realizadas em Santa Catarina e em Minas Gerais chegaram a produtividades médias oscilando entre 400 a 2000 kg ha⁻¹ (Duque; Pessanha, 1990; Lin; Alves, 2002; Vieira *et al.*, 2011). No entanto, o feijão-mungo pode ser ajustável em diversos sistemas de cultivo de sequeiro ou irrigado, proporcionando aumento de renda aos agricultores. O conhecimento dos níveis ideais de água para o feijão-mungo é muito importante, tanto para o desempenho fisiológico quanto produtivo da planta. Pesquisas indicam que o requerimento de água pela cultura, durante o seu ciclo de vida é de 100 a 400 mm (Pannu; Singh, 1993; Raza *et al.*, 2012; Ambachew, *et al.*, 2014; El-Nakhlawy *et al.*, Pereira *et al.*, 2019; 2018; Gölgül *et al.*, 2022).

Pesquisas apontam que a irrigação aplicada nos primeiros estádios de desenvolvimento da planta proporciona eficiência produtiva de grãos (Bastos *et al.*, 2011, El-Nakhlawy *et al.*, 2018, Islam *et al.*, 2021). De acordo com Rahim, *et al.* (2014), o aumento nos níveis de irrigação tem impacto significativo na produtividade de grãos, até certos níveis. Uma vez que a aplicação de lâminas crescentes ou altas pode não ser economicamente viável. Portanto, é necessário explorar soluções economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis para melhorar a eficiência do uso da água no cultivo de sequeiro ou da água proporcionada pela irrigada, para combater os efeitos da seca (Rachaputi, *et al.*, 2019). O uso eficiente da água na agricultura é questão crítica em diversas regiões do mundo com recursos hídricos deficitários. Em tais áreas, é necessário obter o máximo benefício por unidade de água (Gölgül, *et al.*, 2022). Portanto a eficiência de irrigação, tomada como a razão entre a quantidade de água efetivamente usada pela cultura e a quantidade retirada da fonte, no âmbito mundial, é ainda muito baixa, situando-se em torno de 37%. A simples melhora de 1% na eficiência do uso da água de irrigação, nos países em desenvolvimento de clima semiárido ou árido, significaria uma economia de 200 mil litros de água, por agricultor, por hectare/ano (Coelho *et al.*, 2020).

Portanto, estudos sobre a utilização de diferentes lâminas de irrigação são necessários para determinar a real necessidade hídrica da cultura. Na presente pesquisa, foi avaliado o desempenho do feijão-mungo sob diferentes lâminas de irrigação nas condições edafoclimáticas de Teresina, Piauí.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem, dispersão e aspectos botânicos

O feijão-mungo (*Vigna radiata* (L.) Wilczek), habitualmente referido como green gran, moyashi, mungbean, feijão-da-china (Chen *et al.*, 2022; Snak, Delgado-Salinas, 2023), tem como centro de diversidade a região da Ásia Central. Contudo, a Índia é considerada o centro de diversidade genética e provável centro de origem, domesticação e dispersão (Singh, 2013). A sua domesticação ocorreu em meados de 4.000 anos antes de cristo (Fuller; Harvey, 2006; Lambrides *et al.*, 2006). A partir da Índia, o feijão-mungo, foi disseminado por toda Ásia, África, Oriente Médio e nas Américas (Huppertz *et al.*, 2023). Atualmente é cultivado por todos os países dos trópicos e subtropicais. É encontrado desde o nível do mar até uma altitude de mais de mil metros, nas cordilheiras asiáticas (Bashandi; Poehlman, 1978; Lambrides *et al.*, 2006).

No Brasil, a cultura começou a ganhar destaque a partir dos anos oitenta, por meio de pesquisas de: Estudo preliminar sobre o comportamento de 21 cultivares de feijão-mungo em Itaguaí; RJ (Duque *et al.*, 1987); Comportamento de dez cultivares de mungo-verde nos períodos das águas e da seca em condições de campo (Duque; Pessanha, 1990); Avaliação do feijão-mungo (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) e do feijão-arroz (*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & Ohashi) em diferentes populações de plantas (Miranda *et al.*, 1997); Feijão-mungo-verde (Vieira; Vieira, 2001); Comportamento de linhagens de feijão-mungo (*Vigna Radiata* L.) em Santa Catarina (Lin; Alves, 2002); Cultivo do feijão-mungo-verde no verão em Viçosa e em Prudente de Moraes (Vieira, 2003); Correlação entre caracteres e produtividade de grãos de linhagens de feijão-mungo (Alves *et al.*, 2018); Doses de nitrogênio e níveis de irrigação em feijão-mungo (*Vigna radiata* L.) (Pereira *et al.*, 2019); Cinza vegetal e disponibilidades hídricas na cultura do feijão-mungo-verde em latossolo vermelho do cerrado (Dourado, 2020); Performance de uma linhagem elite de feijão-mungo em arranjos de plantas e espaçamentos entre linhas na microrregião de Teresina (Cardoso; Melo, 2023).

O feijão-mungo possui porte ereto ou semiereto com altura de 0,3 a 1,5 m, com caule, ramos e folhas cobertos por pelos. As folhas compostas alternam-se ao longo das hastes ramificadas e têm três folíolos, que são aproximadamente triangulares a ovais. A floração tem início entre 25 e 42 dias após a emergência e dura vários dias. A duração da floração varia dependendo da cultivar utilizada, da região e da época de plantio (Miranda *et al.*, 1997). A inflorescência ocorre em cachos de cinco a vinte

flores, e têm morfologia floral típica de leguminosas 'borboletas' com uma grande pétala padrão, duas pétalas laterais denominadas asa e duas pétalas fundidas que formam a quilha, dez anteras e um único estilo (Singh *et al.*, 2013). As pequenas flores amarelo-claras ou esverdeadas são polinizadas por insetos, resultando em vagens cilíndricas, com 7 a 15 cm de comprimento e, em geral, cobertas com pelos. O número de vagens por planta pode variar de 4 a 34, quantidade que depende da densidade de plantas por área e das condições edafoclimáticas locais. Na maturação, que é desuniforme, as vagens secas apresentam coloração marrom ou preta, na qual cada vagem contém de 6 a 20 sementes (Singh *et al.*, 2013; Tang *et al.*, 2014). Os grãos são considerados de tamanho pequeno quando comparadas aos grãos do feijão comum. Suas dimensões variam de 3,1 a 6,3 mm de comprimento e 2,3 a 4,5 mm de largura. Os grãos podem ser amarelos, verdes, pretos, mosqueados ou marrons, todos de hilo branco (Vieira *et al.*, 2001). O peso de 100 grãos pode variar de 1,6 a 7,9 g (Lin; Alves, 2002; Gayacharan *et al.*, 2020).

2.2 Importância socioeconômica do feijão-mungo

O desenvolvimento de variedades de ciclo curto abriu caminho para a expansão do feijão-mungo em diversas regiões no mundo, como a África Subsaariana e a América do Sul (Nair *et al.*, 2019). Por se tratar de uma cultura anual, adaptável às zonas intertropicais e temperadas, atrai o setor produtivo em função das suas inúmeras utilizações, sendo fonte barata de alimentação animal e humana, a partir do consumo de vagens, grãos verdes e secos ou em forma de brotos (Kahraman *et al.*, 2014). Essa leguminosa tem despertado interesse entre os agricultores brasileiros, por apresentar rusticidade, resistência a pragas e doenças e por ocupar o terreno por pouco tempo, e ainda oportunidade de nichos de mercado vegetariano e vegano no Brasil (Duque *et al.*, 1987; Yanos; Leal, 2020; Carbonell *et al.*, 2021). Além de ser nutritivo, é muito popular devido à sua alta digestibilidade e causar pouca flatulência, efeito comumente associado a outros pulses. Grãos inteiros podem ser consumidos depois de fervidos, ou após processamento (partidos) e sem o tegumento transformados em farinhas. Também é utilizado em diversos pratos doces salgados (Pataczek *et al.*, 2018).

O comércio voltado para a venda de sementes é bem atrativo, uma vez que

o grão tem um bom preço de mercado, se tornando em mais uma fonte de renda aos agricultores. A cultura também tem potencial para produzir forragem, adubo verde e cobertura morta. (Lin; Alves, 2002; Ambachew *et al.*, 2014; Christian *et al.*, 2023; Geetika *et al.*, 2022). Em 2023, a saca de 60 kg do feijão-mungo custava em torno de 300 reais, enquanto a do feijão-comum estava em torno de 200 reais (Companhia Nacional de Abastecimento, 2023).

A área global de cultivo com o mungo está em torno de 7,3 milhões de hectares, e a produção é de cerca de 5,3 milhões de toneladas. Índia e Myanmar respondem por cerca de 30% dessa produção, a China por 16% e a Indonésia por 5%. Atualmente, há uma demanda crescente por feijão-mungo em todo o mundo (Ramos, 2017; Instituto Brasileiro de Feijão e Pulses, 2023). Para atender a essa demanda, os agricultores precisam melhorar a eficiência e a eficácia com que manejam a cultura (Pasley *et al.*, 2023).

A demanda atual da Índia é de cerca de 27 milhões de toneladas. Estima-se que, até 2030, essa demanda chegará a 35 milhões de toneladas (Instituto Brasileiro de Feijões e Pulses, 2023). A demanda está aumentando devido ao crescimento do PIB na Índia, que tem aumentado o consumo per capita. As pulses são uma importante fonte de proteína para a maioria da população indiana. Portanto, eles precisam importar o grão (Instituto Brasileiro de Feijões e Pulses, 2023). Importante destacar que é difícil obter estatísticas fiáveis sobre a produção de feijão-mungo porque estas são frequentemente agregadas com as de outras espécies de leguminosas, consideradas como dry beans.

Os pulses, que incluem feijão, ervilha, lentilha e grão-de-bico, desempenham papel vital na dieta global. Em 10 de fevereiro é celebrado no Dia Mundial dos Pulses, pela Organização Mundial das Nações Unidas (ONU). Rica em proteínas, fibras, vitaminas e minerais, essa categoria de alimentos é destacada pela (Food and Agriculture Organization, 2023), devido à sua capacidade de aumentar a diversidade dietética e contribuir para a segurança alimentar em Países em desenvolvimento.

Pesquisas identificaram variedades de mungo com características funcionais superiores para produção de brotos, ou seja, apresentaram teores de proteína, fenóis e capacidade antioxidante mais elevados após a germinação (Wang *et al.*, 2021). Para a produção comercial dessa leguminosa, é muito comum o uso de genótipos com sementes verdes, apresentando teores de 19,5 a 31,2% de proteína, 10,6% de água,

4,4% de fibras, 1,2% de lipídios e 3,5% de minerais do tipo Ca, P, Fe, Na e K (Vieira, 2001; Shrestha, *et al.*, 2023).

A tradição familiar, técnicas de cultivo, rusticidade e a contribuição nutricional do mungo, fazem dele um elemento essencial na dieta de vários povos. Por isso, essa espécie desempenha um importante papel na garantia da segurança alimentar mundial.

2.3 Características edafoclimáticas e manejo cultural

A transformação do feijão-mungo de uma safra marginal em uma cultura importante trouxe muitos benefícios para a Ásia, especialmente para os pobres, crianças e mulheres que necessitam de proteínas essenciais e ferro em suas dietas. O feijão-mungo tem um bom potencial para sistemas de rotação de culturas e pode ser cultivado em vários sistemas de cultivo, incluindo consórcio e cultivo múltiplo (Dikr, 2023). Tanto os consumidores urbanos como rurais têm agora acesso a feijão-mungo de melhor qualidade, disponível a um custo razoável. A cultura oferece potencial para um novo fluxo de crescimento agrícola e produtividade para os pequenos agricultores (Shanmugasundaram, 2007).

O feijão-mungo é um vegetal de clima quente que cresce em temperaturas médias de 20 a 40°C, mas a temperatura ideal é de 28 a 30°C (Poehlman, 1978; Sharma *et al.*, 2016). Temperaturas acima de 40°C na fase reprodutivo da cultura, é prejudicial às flores e ao crescimento de vagens, o que resulta em menos vagens e grãos (Sharma *et al.*, 2016; Mahajan *et al.*, 2023). Pode, portanto, ser cultivada no verão e no outono em regiões temperadas e subtropicais quentes, bem como nos trópicos em altitudes inferiores a 2.000 m. Vieira *et al.* (2011), pesquisou o desempenho de genótipos de feijão-mungo semeados no inverno na Zona da Mata de Minas Gerais. Esses autores concluíram que é possível produzir mungo verde no inverno-primavera, mas seu potencial de produtividade é menor em relação aos meses mais quentes, especialmente a 720 m de altitude, onde as condições climáticas favorecem algumas doenças. Os cultivares de feijão-mungo diferem quanto à sensibilidade ao fotoperíodo, mas a maioria dos genótipos exibem respostas quantitativas de dias curtos, com o atraso do início da floração em fotoperíodos superiores a 12-13 horas (Bashandi; Poehlman, 1974). O crescimento e o desenvolvimento dessa leguminosa são afetados pelo comprimento do dia,

temperatura do ar e umidade do solo. A precipitação média anual nas regiões onde é produzido pode variar de 600 a 1000 mm, mas pode ser menor. A cultura tolera bem a seca, encurtando o período de floração e maturação, reduzindo o número de folhas, o comprimento da vagem, o número de grãos por vagem, o peso de cem grãos e o produtividade por planta (Raza *et al.*, 2012; Jannat, 2020; Islam *et al.*, 2021; Mahajan *et al.*, 2023).

Assim como a maioria das leguminosas, crescem em muitos tipos de solo, mas prefere solos argilosos bem drenados ou franco-arenosos com um pH de 5 a 8. Algumas cultivares são tolerantes a solos moderadamente alcalinos e salinos. Linhagens de mungo em solos de várzea e terras firmes na Amazônia alcançaram produtividades de 1.000 a 2.000 kg ha⁻¹ (Yuyama, 1997). Por outro lado, a produtividade em solos glei húmico no Tocantins variou de 200 a 700 kg ha⁻¹ (Miranda *et al.*, 1996). No cerrado de Minas Gerais a produtividade chegou a 2.500 kg em Latossolo Vermelho Escuro e Podzólico Vermelho Amarelo (Vieira, *et al.*, 2003). Destaca-se a importância de se realizar a correção do solo, caso a análise de solo indique acidez e deficiência nutricional. Plantado em outubro ou novembro na região sudeste, o mungo-verde pode proporcionar várias colheitas de vagens secas, e o espaço de tempo entre a maturação da primeira vagem e a última colheita pode chegar a 50 dias, se não houver veranico em janeiro ou fevereiro (Vieira *et al.*, 2003). Na região Nordeste, o plantio nas condições de sequeiro ou período das águas, deve ser realizado entre os meses de janeiro a março; quando irrigado, nos meses de julho a agosto.

O controle das plantas invasoras pode ser realizado por métodos químicos, mecânicos ou culturais. Um método cultural muito utilizado é a densidade de plantas, que pode ser aumentada para reduzir o crescimento de plantas daninhas, mas isso não evita redução na produtividade dos grãos, se a infestação for alta. A estratégia de aumentar a densidade de plantas promove um desenvolvimento mais rápido do dossel da cultura, aumentando a sombra sobre o solo e sobre as plantas daninhas emergentes. Reduzindo por sua vez a germinação das sementes dessas plantas invasoras, resultando em incrementos na produtividade de grãos pela diminuição da competição por água e nutrientes (Fontes *et al.*, 2023).

A utilização de espaçamentos entre 0,3 m e 0,5 m entre linhas de plantio são indicados para maximizar a produtividade. Uma vez que o dossel das plantas nestes espaçamentos chegam a ter 22% a mais de radiação solar interceptada, resultando

em maiores taxas fotossintéticas (Rachaputi *et al.*, 2015). Além de captar mais luz solar, o uso de linhas de plantio estreitas promove uma maior absorção de água, devido à uma menor evaporação, resultando em maiores ganhos produtivos por milímetro de água no solo. (Rachaputi *et al.*, 2015). Portanto, arranjos espaciais utilizando espaçamento de 50 cm entre linhas, com 20 sementes por metro. Nesse arranjo pode-se obter uma densidade de 400 mil plantas por hectare, com um gasto sementes entre 20 e 25 kg ha⁻¹ (Vieira *et al.*, 2001; Keres *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2019).

No município de Baixa Grade do Ribeiro, Piauí, um produtor plantou em 2021 cerca de 4 mil hectares de feijão-mungo-verde, de uma área de 15 mil ha, em rotação de culturas com a soja e o milho. Ele obteve produtividade em torno de 2.000 kg ha⁻¹, o que resultou na exportação para a Ásia de 42 contêineres com 25 toneladas cada um (Silva, 2021).

2.4 Lâminas de irrigação e demanda hídrica

A irrigação tem papel crucial na agricultura, pois fornece água para as plantas quando a precipitação natural é descontinuada e insuficiente (Sosiawan *et al.*, 2021). Em alguns casos a água é um fator limitante. Por isso, é importante planejar o manejo de irrigação para aumentar a produtividade, e a eficiência do uso da água (Souza *et al.*, 2020; Brar *et al.*, 2022). É importante determinar como irrigação influencia a produtividade das lavouras. A seleção de cultivares mais produtivos e eficientes em termos de uso da água pode levar a melhores resultados econômicos e ambientais (Pannu; Singh, 1993; Gölgül *et al.*, 2022). Adotar estratégias de gestão de irrigação mais eficientes, como a irrigação de precisão e a irrigação deficitária, pode maximizar a produtividade da água e minimizar o desperdício, o que é fundamental em áreas com limitações hídricas (El-Nakhlawy *et al.*, 2017). Portanto, o manejo por meio de sensores de monitoramento da umidade do solo, estações agrometeorológicas automáticas pode proporcionar uma aplicação mais precisa da água. Desse modo, o agricultor pode melhorar a eficiência do uso da água e garantir a quantidade adequada de água para as plantas, o que contribui sobremaneira para a sustentabilidade econômica e ambiental das operações agrícolas (Abioye *et al.*, 2020; Ferrarezi; Peng, 2021).

A atual produção de feijão-mungo irrigado tem sido objeto de pesquisa

científica, com estudos examinando métodos e práticas de irrigação para otimizar a produtividade. Por exemplo, estudo conduzido por Silva *et al.* (2019) avaliou o efeito da aplicação de diferentes níveis de água na produtividade de grãos do feijão-mungo. Os resultados revelaram que a aplicação de água na fase inicial do cultivo aumentou a produtividade da cultura. Estudo sobre os efeitos de doses de nitrogênio e níveis de irrigação em feijão-mungo (*Vigna radiata* L.) foi realizado por Pereira *et al.* (2019). Esses autores verificaram que os níveis ótimos de água para o feijão-mungo-verde estão entre 50 e 70% da capacidade de campo do solo. Valores acima de 70% não favorecerem de forma geral o crescimento vegetativo da planta. Essas pesquisas fornecem conhecimentos valiosos sobre as práticas de irrigação mais eficazes para a produção de feijão-mungo e destacam a importância da gestão racional da água e nutrientes para maximizar a produtividade e a eficiência dos recursos.

O manejo adequado da água é crucial durante o estágio inicial do cultivo do feijão-mungo. A germinação e o desenvolvimento inicial das plântulas são momentos críticos que requerem uma quantidade adequada de água. No entanto, as necessidades exatas de água podem variar de acordo com diversos fatores, como as condições climáticas, o tipo de solo e as práticas de manejo agrícola (Chauhan; Williams, 2018; Nair *et al.*, 2019; Cai; You, 2023). Se a água for escassa, a irrigação precisa ser planejada para garantir que as plantas tenham água suficiente para a germinação e o crescimento inicial, sem desperdício (Islam *et al.*, 2021). Estudos realizados no Paquistão avaliaram os efeitos de níveis de irrigação no crescimento e produtividade do feijão-mungo. Os autores verificaram que a aplicação de cinco irrigações, aos 15, 30, 45, 60 e 75 dias após a semeadura, proporcionou um desempenho significativamente melhor do que três, quatro ou seis irrigações aplicadas (Raza *et al.*, 2012). Pesquisa sobre a avaliação da produtividade e eficiência do uso da água por genótipos de *Vigna radiata* (L.), constataram que os tratamentos com irrigação nos vários estágios de desenvolvimento obtiveram rendimentos significativamente maiores em comparação com aqueles com irrigação em apenas um estágio (Islam *et al.*, 2024). Bhupendra, *et al.* (2018), investigaram o efeito da irrigação em diferentes estágios de crescimento de cinco genótipos de mungo (*Vigna radiata* L.) na Índia. Esses autores constataram que irrigação contínua foi o tratamento que proporcionou os melhores resultados quanto a produtividade de grãos e índice de colheita. Islam *et al.* (2021) em pesquisa sobre mudanças fisiológicas e bioquímicas do feijão-mungo [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek] em

respostas a diferentes regimes de Irrigação. Registraram uma variação de 169 a 277 mm nas lâminas aplicadas e que os tratamentos irrigados em duas ou três fases apresentaram rendimentos significativamente maiores do que os que receberam irrigação em apenas uma fase. Outras pesquisas indicam que o volume de água necessária para respostas no desenvolvimento e produção do feijão está entre 150 a 300 mm ao longo dos estádios fenológicos (Pannu; Singh *et al.*, 1993, Bastos *et al.*, 2011; Brar *et al.*, 2020; Islam *et al.*, 2021). No período de formação e maturação dos grãos, a demanda hídrica diminui e a cultura pode exigir cerca de 50 a 100 mm. Esses valores são estimativas gerais e podem variar consideravelmente com base nas condições locais. El-Nakhlawylam *et al.* (2018) em estudo sobre eficiência do uso da água de irrigação por meio do baixo consumo durante as fases de crescimento das plantas, registram lâminas de 290 mm (aplicados no período vegetativo) a 320 mm (lâmina distribuída em todo ciclo da cultura). Esses autores observaram que o requerimento de água é gradual até atingir o máximo e depois decrescer nos estágios finais de desenvolvimento da cultura. O manejo correto da irrigação permite que os agricultores mitiguem os efeitos negativos do estresse hídrico ou do encharcamento do solo, os quais podem afetar significativamente a produção da cultura (Bag *et al.*, 2020).

2.5. Déficit hídrico em feijão-mungo

A água desempenha um papel vital no âmbito da agricultura, pois atua como um fator essencial no funcionamento dos organismos vivos. Nos tecidos das plantas, a presença da água possui significativa relevância, pois ela influencia diretamente diversas atividades ecofisiológicas (Levinsh, 2023). Ela é fundamental para o crescimento, metabolismo e sobrevivência das plantas, além de ser um fator determinante na regulação climática e na formação de chuvas (Bashir *et al.*, 2022). A demanda hídrica para a produção das espécies cultivadas varia e acordo com o clima, o solo e o estágio de crescimento da planta (Nascimento *et al.*, 2011). O feijão-mungo consome menos água em comparação com outras culturas de verão e tem capacidade de enraizar mais profundamente para extrair água (El-Nakhlawy *et al.*, 2017). Contudo, a deficiência hídrica durante os estágios vegetativo e de florescimento pode reduzir a produtividade de grãos e afetar negativamente o crescimento da planta, a área foliar e a fixação de nitrogênio (Dikr, 2023). Estudo da

tolerância ao estresse hídrico é importante para entender como as plantas se adaptam e sobrevivem em condições de seca (Singh *et al.*, 2015). O estresse hídrico pode causar alterações morfológicas, fisiológicas, bioquímicas e na expressão gênica das plantas, que podem variar de acordo com a espécie, a idade, a intensidade e a duração do estresse (Bastos *et al.*, 2011; Raza *et al.*, 2012; Sadeghipour *et al.*, 2008; Islam *et al.*, 2021; Gölgül *et al.*, 2022; Islam *et al.*, 2024; Mahajan *et al.*, 2023).

O entendimento mais aprofundado dos efeitos do estresse hídrico nesses mecanismos é vital para desenvolver estratégias que possam melhorar a tolerância das plantas ao estresse, como práticas de manejo e uso da biotecnologia para desenvolver culturas mais resistentes à seca (Ali, *et al.*, 2022). Essa melhor compreensão dos mecanismos também pode ser aplicada no desenvolvimento de práticas de manejo agrícola sustentáveis, como o uso eficiente da água, a seleção de variedades resilientes à seca e a otimização de calendários de cultivo para se ajustar às previsões climáticas (Chouhan, *et al.*, 2023). É importante entender os impactos do estresse hídrico na fisiologia das plantas. Em estudo sobre "alterações fisiológicas e bioquímicas do feijão-mungo em respostas a diferentes regimes de irrigação" foi conduzido por Islam *et al.* (2021), onde verificaram que o estresse hídrico reduziu o status hídrico das plantas, o pigmento fotossintético e que resultados mostraram que o estresse hídrico reduziu o status hídrico das plantas, o pigmento fotossintético. Pesquisas desta natureza podem subsidiar os produtores em regiões propensas à seca a melhorar o gerenciamento dos recursos hídricos na agricultura (Osakabe *et al.*, 2014). Portanto, é vital determinar o consumo de água pelas plantas e os períodos em que as plantas são suscetíveis ao déficit hídrico além dos intervalos de irrigação, a fim de aumentar a produtividade das culturas (Dourado, 2015). A necessidade hídrica das plantas desde a semeadura até a colheita varia dependendo das espécies e dos estádios de crescimento (Pasley *et al.*, 2023).

A maioria das leguminosas importantes apresentam um estágio de crescimento sensível à falta de água no produtividade de grãos (Ranawake *et al.* 2011). A fase menos sensível à deficiência de água é entre a emergência e a floração. No desenvolvimento de vagens e enchimento de grãos, a irrigação muito eficaz no aumento de produtividade de mungo? (Raza, *et al.*, 2011; Pasley *et al.*, 2023). Pannu; Singh *et al.* (1993), pesquisaram o efeito da irrigação no uso de água, eficiência no uso da água, crescimento e produtividade de feijão-mungo. Esses autores verificaram que as plantas irrigadas apresentaram relativamente mais

alocação de matéria seca nas folhas do que nos caules. Nesse estudo, o número de vagens por planta foi a variável mais sensível, seguida do número de grãos por vagem, do peso dos grãos e da área foliar. Esse resultado sugere que plantas estressadas mobilizaram menos fotoassimilados para as folhas, com consequente redução da área foliar e perda de água pela copa da cultura. Bastos *et al.* (2011) identificaram genótipos de feijão-caupi tolerantes à seca. Eles constataram que o déficit hídrico reduziu em 20% o índice médio de área foliar, em 16% o índice médio de clorofila, em 175% o número médio de vagens por planta e em 60% a produção de grãos. Identificaram ainda dois genótipos sensíveis ao déficit de água no solo, e três genótipos tolerantes à seca.

Pesquisas sobre tolerância ao estresse hídrico em plantas é importante para entender como as plantas se adaptam e sobrevivem em condições de seca, que podem afetar a produtividade e a qualidade dos grãos. A deficiência hídrica do pré-florescimento à colheita afeta acentuadamente a produtividade da cultura (Ambachew, *et al.*, 2014). O estresse hídrico é um dos principais fatores limitantes na agricultura, especialmente em regiões áridas e semiáridas, onde a disponibilidade da água é escassa e sua qualidade ruim. Portanto, conhecer as respostas das plantas ao estresse hídrico e os mecanismos que explicam essa resposta são fundamentais para garantir a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental (El-Nakhlawylam *et al.*, 2017).

Na Austrália, Mahajan *et al.*, 2023 investigaram os efeitos do estresse hídrico sobre o crescimento e produtividade do feijão-mungo em temperatura diurna/noturna elevada. Esses autores observaram que o déficit hídrico causou redução da altura de plantas e na biomassa. Islam *et al.* (2021) averiguaram que o estágio de crescimento mais crítico à falta de água no solo, é o reprodutivo, uma vez que o estresse hídrico reduz o status hídrico das plantas, o pigmento fotossintético e o índice de estabilidade da membrana, e aumentou o conteúdo de prolina e açúcar solúvel. Sadeghipour, (2018) pesquisou o efeito da suspensão da irrigação em diferentes estágios de crescimento sobre a produtividade e os componentes da produtividade de variedades de mungo-verde. Esse autor concluiu que a suspensão da irrigação no estágio vegetativo reduziu o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem e o peso de mil grãos, mas não afetou significativamente a produtividade de grãos. Ademais, segundo os autores, a suspensão da irrigação no estágio reprodutivo reduziu significativamente todos os componentes de produção e a produtividade de

grãos. Outra consequência do déficit hídrico incide sobre o crescimento das plantas, uma vez que a escassez de água disponível no solo, reduz a área foliar das plantas, resultando em crescimento atrofiado e grãos menores (Nair *et al.*, 2019). Estudo sobre resposta do feijão-mungo à irrigação em diferentes fenofases, com o objetivo de superar o estresse hídrico e melhorar a produção da cultura, evidenciaram que o estresse hídrico reduziu o crescimento a produtividade e encurtou o ciclo de vida das plantas em todas as fases fenológicas (Islam *et al.*, 2024).

El-Nakhlawylam *et al.* (2017) avaliaram três regimes hídricos: lâmina de 100% da ET_c, lâmina de 70% da ET_c com déficit hídrico no estágio vegetativo (de 21 a 40 dias) e lâmina de 70% da ET_c com déficit no estágio de florescimento (41 dias), verificaram que durante a fase vegetativa, não houve diferenças significativas entre a necessidade hídrica de irrigação plena e o estresse hídrico. No entanto, durante a fase de floração, o estresse hídrico afetou significativamente a produtividade dos grãos e os componentes de rendimento, em comparação com os outros dois tratamentos de regime hídrico de irrigação.

Observou-se também que o estresse hídrico reduz a produtividade, independentemente do estresse ter sido imposto quando a planta estava na fase vegetativa ou reprodutiva. Entretanto, o estresse hídrico ocorrido nas fases reprodutivas, especialmente na floração e na formação de vagens, afetou o produtividade de grãos de forma mais severa do que sua ocorrência nas outras fases (Raza *et al.*, 2021). Portanto, é fundamental monitorar as condições de umidade do solo e aplicar água de forma adequada para evitar o estresse hídrico em estádios de desenvolvimento críticos da cultura para otimizar o produtividade.

2.6. Eficiência no uso da água

A água é um recurso vital para a atividade agrícola e a sua conservação é de extrema importância, pois a crescente escassez de recursos hídricos em todo o mundo, principalmente nas regiões produtoras agrícolas e a necessidade de otimização da irrigação exigem poupanças sustentáveis de água. Ou seja, a disponibilidade de água para irrigação será uma fonte de pressão cada vez maior devido às vastas exigências agrícolas sob condições climáticas em mudança. Conseqüentemente, os irrigantes devem buscar eficiência na utilização da água, com

o objetivo de aumentar ou manter a produtividade e melhorar a qualidade dos alimentos (García-Tejero; Durán-Zuazo, 2022). Portanto, o incremento da área irrigada e a escassez de recursos hídricos em algumas regiões tem fomentado a utilização de sistemas e manejos de irrigação que aumentem a eficiência do uso da água. A eficiência do uso da água por genótipos de feijão-mungo pode desempenhar um papel fundamental na sustentabilidade do seu cultivo, especialmente em regiões de disponibilidade de água limitada (El-Nakhlawy *et al.*, 2017).

A utilização de indicadores da eficiência do uso de água (EUA) 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; Wang *et al.*, 2019). Além disso, melhorar a eficiência do uso da água sem redução na produtividade para satisfazer os requisitos presentes e futuros de uma alta taxa de crescimento populacional é uma questão de segurança ambiental e alimentar. Essa melhor eficiência pode ajudar a minimizar o consumo de água, reduzir as perdas por irrigação e aumentar a área cultivada (Saleh, *et al.*, 2018).

Uma técnica de manejo muito utilizado é a irrigação deficitária, que consiste em aplicar deliberadamente lâminas de irrigação inferiores às necessidades hídricas reais da cultura, com alguma consequência na produção de grãos (Martin *et al.*, 2012; Islam *et al.*, 2021). De forma semelhante, os resultados de Pannu; Singh, (1993) indicam que as plantas que não foram irrigadas apresentaram a maior eficiência no uso da água, comparadas àquelas sob os regimes de irrigação. Isso sugere que as plantas não irrigadas foram mais eficientes na utilização da água para produzir grãos e biomassa da parte aérea. Em contraste, as plantas submetidas à irrigação mais frequente tiveram menor eficiência no uso da água.

2.7. Radiação fotossinteticamente ativa (PAR)

Entre os elementos climáticos que mais influenciam a produção de grãos do feijoeiro, podemos citar a temperatura, a precipitação pluvial e a radiação solar (Didonet; Silva, 2004). A radiação solar absorvida pelas folhas por meio da clorofila é o recurso energético essencial para a fotossíntese, geração de biomassa e assimilação de dióxido de carbono e a transpiração (Mariscal *et al.*, 2000; Consoli *et*

al., 2006). Em termos agronômicos, a eficiência do uso da radiação, também conhecida como eficiência do uso da luz, é uma medida que descreve a capacidade das plantas de converter a energia solar em biomassa (Sinclair; Muchow, 1999). Essa eficiência está relacionada à quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) interceptada pela copa da planta e sua subsequente conversão em moléculas orgânicas por meio do processo de fotossíntese (Stöckle; Kemanian, 2009).

Estudos agrometeorológicos sobre radiação solar em plantas devem considerar não apenas o processo fotossintético, mas também a estrutura do dossel, a arquitetura delas e a densidade populacional (Didonet; Silva, 2004; Geetika *et al.*, 2022). Rachaputi *et al.*, 2015, verificaram que os espaçamentos de 0,3 e 0,5 m entre linhas, resultaram em maiores valores de biomassa seca da parte aérea e de produtividade de grãos. Ou seja, os espaçamentos mais estreitos resultaram em um maior percentual de produtividade por mm de água (Christian *et al.*, 2023; Fontes *et al.*, 2023). A radiação solar também tem efeito na redução do percentual de abortamento de flores e no aumento de percentual de retenção de vagens do feijoeiro. Quanto maior for a radiação solar disponível da emergência ao início do florescimento, maior será o número de vagens por unidade diária (Rachaputi *et al.*, 2015). O incremento no índice de área foliar aumenta a produção de massa de planta seca, mas, devido ao autossombreamento das folhas, a taxa fotossintética média por unidade de área foliar decresce. À medida que o índice de área foliar aumenta, as folhas inferiores são mais sombreadas e, conseqüentemente, a taxa fotossintética média de toda a área foliar é diminuída (Zabot *et al.* 2004).

A faixa de comprimento de onda da radiação solar incidente, situada entre 400 e 700 nm, constitui a fração da energia radiante fotossinteticamente ativa (PAR) (Caron *et al.*, 2003). Ao atingir o topo de uma população de plantas, nem toda PAR incidente (PAR_i) será prontamente interceptada ou absorvida pelas plantas. Isso ocorre porque ao atingir a superfície, uma fração é refletida (PAR_r) para a atmosfera pela própria planta e parte pelo solo. Outra parte da PAR é transmitida (PAR_t) pelo dossel vegetativo que pode atingir o solo, conforme o índice de área foliar (Caron *et al.*, 2003; Finch *et al.*, 2004). A fotossíntese líquida de plantas de feijão atinge seu valor máximo quando a radiação fotossinteticamente ativa encontra-se em valores entre 900 e 1000 $\mu\text{mol m}^{-2}$, e o solo estiver com umidade próxima a capacidade de campo (Casaroli; Van Lier, 2015).

2.8. Características fitométricas, agronômicas e produtivas

Apesar da sua importância, a produção de feijão-mungo é frequentemente limitada por vários fatores bióticos e abióticos (Huppertz *et al.*, 2023). Os componentes de produtividade, morfológicos ou biométricos das culturas, são determinados por uma complexa interação entre genótipo, condições ambientais, práticas de manejo agrícola e nível de tecnologia empregado pelo produtor (Islam *et al.*, 2024). O genótipo determina o potencial produtivo da planta na dependência da resistência a doenças e da tolerância a estresses abióticos do genótipo. Por sua vez, condições ambientais como temperatura, disponibilidade hídrica e fotoperíodo influenciam processos como a fotossíntese, o crescimento e desenvolvimento das plantas, além da eficiência na utilização de recursos (Geetika *et al.*, 2022). Christian *et al.*, (2023) pesquisaram os efeitos da variedade e da densidade de plantio sobre a ecofisiologia e a produtividade do feijão-mungo no sudeste dos EUA. Esses autores verificaram que a variedade influenciou significativamente o conteúdo relativo de clorofila, a altura da planta, a biomassa da vagem seca, o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem, o índice de colheita e o produtividade da cultura. O estudo demonstrou que a variedade de feijão-mungo OK2000, com alta produtividade, seria ideal para a produção comercial no sudeste dos EUA. A variável produtividade de grãos e seus componentes são influenciados por vários fatores, incluindo variedades de feijão-mungo, as condições ambientais das áreas de cultivo e as práticas agrícolas Christian *et al.* (2023).

Em Goiás, Silva *et al.* (2019) estudou a produção e desenvolvimento de feijão-mungo em função dos arranjos populacionais de plantas. Eles verificaram que as características fitométricas e os componentes de produção não foram influenciados pelos arranjos espaciais. No entanto, o espaçamento de 50 cm entre fileiras e 24 plantas por metro incrementou a produtividade do feijão-mungo em relação aos espaçamentos maiores. Os autores destacam que a produtividade de grãos é o critério mais importante para avaliar e comparar a eficiência das variáveis experimentais. A produtividade de grãos é resultado de diversas características produtivas, tais como o número de vagens por planta, grãos por vagem e o peso de grãos (Bag *et al.*, 2020). Vieira, *et al.* (2011) avaliou as características agronômicas,

a produtividade, a qualidade das sementes de 10 genótipos de feijão-mungo-verde semeados no inverno na Zona da Mata de Minas Gerais com altitudes diferentes. Eles observaram que a emergência, o florescimento e a maturação das plantas foram mais tardios no inverno do que nos meses mais quentes, e a altura das plantas foi maior na altitude de 400 m do que na de 720 m.

No cerrado mineiro, a época de semeadura influenciou significativamente as características produtivas e a qualidade de grãos, com bom desenvolvimento da cultura quando a semeadura foi realizada em setembro e outubro (Viera *et al.*, 2003).

Estudos demonstraram impactos substanciais das mudanças nas condições climáticas e de estresse hídrico na produtividade do feijão-mungo. Por exemplo, Mahajan *et al.* (2023), quando investigou os efeitos do estresse hídrico e de altas temperaturas no crescimento e na produtividade do feijão-mungo (*vigna radiata*), observaram que a imposição do déficit hídrico reduziu a altura de plantas e a biomassa. Verificaram também que a maior produtividade de grãos ocorreu quando as plantas de mungo foram cultivadas sem qualquer estresse abiótico, sob condições ambientais diurnas/ambientes noturnas (25/15 °C). Islam *et al.* (2021), estudaram os efeitos nas mudanças fisiológicas e bioquímicas do feijão-mungo. Esses autores verificaram que os regimes hídricos afetaram significativamente as características fisiológicas, bioquímicas e a produtividade das plantas. Observaram também, que a manutenção do teor adequado de água no solo via irrigação durante o período vegetativo, influenciou positivamente o enchimento das vagens e garantiu maior produtividade de grãos em relação ao tratamento sem irrigação.

No Paquistão, Raza *et al.* (2012) investigaram os efeitos de níveis de irrigação no crescimento e produtividade do feijão-mungo. Eles verificaram que o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem, o comprimento das vagens e o peso de cem grãos foram diminuídos devido à diminuição dos níveis de irrigação aplicados. Outro estudo que abordou a otimização da produtividade e eficiência do uso da água de irrigação na cultura do feijão-mungo, enfatizando o baixo consumo de água durante os estágios de crescimento das plantas, testemunharam um impacto negativo sobre a produtividade de grãos (El-Nakhlawylam *et al.*, 2018). Bag *et al.* (2020) observaram que não houve efeito significativo para alguns componentes de produção, quando avaliaram quatro manejos de irrigação, mas registraram a maior produtividade de grãos sob condição de sequeiro, sob uma precipitação de 1600 mm.

De acordo com Crhistian *et al.* (2023), o conteúdo relativo de clorofila da folha

é uma medida da intensidade da cor verde das folhas, que está relacionada com a quantidade de clorofila presente nelas. A clorofila é um pigmento fotossintético que capta a luz solar e converte em energia química para as plantas. Os mesmos autores registraram que o índice de clorofila do feijão-mungo pode variar de acordo com a variedade, o estágio de desenvolvimento, o estado nutricional e o estresse hídrico das plantas. Alguns estudos mostram que o índice de clorofila do feijão-mungo está positivamente correlacionado com a produtividade de grãos e o teor de nitrogênio nas folhas. Pannu; Singh *et al.* (1993), pesquisando o efeito da irrigação no uso de água, eficiência no uso da água, crescimento e produtividade de feijão-mungo (Hisar, Índia), verificaram que um estresse hídrico leve aumentou a floração e o desenvolvimento de vagens, bem como uma maior eficiência do uso da água, índice de área foliar, taxa de crescimento da cultura e componentes de produtividade. Os resultados de Islam *et al.* (2021) revelaram que todos os genótipos de feijão-mungo exibiram uma diminuição substancial no teor de clorofila foliar quando se reduziu o volume hídrico aplicado de 277 para 169 mm. O conteúdo de “clorofila a” na condição de restrição hídrica foi reduzido em 11,48% a 30,06% nos estágios de floração. Nóbrega *et al.* (2001), avaliaram genótipos de feijoeiro com variados volumes de irrigação, e verificaram um comportamento distinto nas métricas de desenvolvimento das plantas. A restrição hídrica no solo alterou os processos fisiológicos e resultou em diminuição da área foliar. Segundo esses autores, esses resultados indicam redução na atividade fotossintética, o que, por sua vez, pode restringir a produtividade da cultura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Características da área de estudo e arranjo experimental

O experimento foi conduzido entre os meses de julho e outubro de 2022, no Setor dos Campos Experimentais da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Meio-Norte), no município de Teresina, Piauí (05°05' S; 42°48' W e 74,4 m); O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, de textura franco-arenosa (0-30 cm) e franco-argilo-arenosa de 30-60 cm, com declividade de 0% a 3% (Santos *et al.*, 2019). As características químicas e físico-hidrológicas do solo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização físico-química-hídrica do solo da área experimental. Teresina-PI, 2022.

	MO	pH	P	K	Mg	Ca	Na	CTC	V
Camadas (m)	g kg ⁻¹	H ₂ O	mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³			%
0,0-0,3	12,9	5,8	31,1	0,09	0,35	0,78	0,02	2,94	42,3
0,3-0,6	11,2	5,9	23,5	0,09	0,42	0,73	0,02	2,89	44,1
Camadas (m)	Densidade (g cm ⁻³)	Areia	Silte	Argila	Θ cc	Θ pmp			
		-----g Kg ⁻¹ -----			(% volume)				
0,0-0,3	1,70	876,5	37,5	86,0	21,7	5,3			
0,3-0,6	1,65	811,5	52,5	136,0	20,8	6,0			

Fonte: Laboratório de Solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Meio-Norte). MO = matéria orgânica; CTC: troca catiônica capacidade; V = saturação por bases; Θcc = umidade na capacidade de campo; Θpmp = umidade no ponto de murcha permanente.

Segundo a classificação de Köppen, o clima regional é tropical seco (Aw), com duas estações bem definidas, estação seca no inverno e chuvas no verão, ocorrendo períodos de estiagem durante a estação chuvosa (veranicos). A média anual da temperatura do ar é de 30 °C e da precipitação pluvial é de 1200 mm. Os dados climáticos registrados durante a condução do ensaio (julho a setembro de 2022) e anuais são apresentados na Tabela 2. Durante a condução do experimento, a temperatura média do ar foi de 31,6°C, a umidade relativa do ar ficou em 50,6%, e a precipitação pluvial acumulada de 10,8mm.

Tabela 2. Dados meteorológicos médios obtidos durante o cultivo (julho a setembro de 2022) e dados anuais (janeiro a dezembro de 2022)¹. Teresina-PI, 2022.

Elementos Meteorológicos	Durante o cultivo	Dados anuais
Precipitação total (mm)	10,8	1.336
Umidade relativa do ar (%)	50,6	72,6
Temperatura média do ar (°C)	31,6	27,1

Fonte: INMET, 2023¹

Os tratamentos foram organizados em parcelas subdivididas. Nas parcelas, foram usadas cinco lâminas de irrigação (correspondendo a 40%, 70%, 100%, 130% ou 160% da evapotranspiração de referência - ETc), e nas subparcelas, duas linhagens de feijão-mungo (M19 ou M20). O experimento foi conduzido no delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições.

As linhagens pré-comerciais de feijão-mungo foram obtidas no banco de germoplasma da Embrapa Meio-Norte. As linhagens fazem parte de um macroprograma de melhoramento da Embrapa Meio-Norte. As parcelas experimentais consistiram em uma área de 4,0 m x 6,0 m, totalizando 24 m², compostas por oito linhas espaçadas de 0,5 m. Como área útil (10 m²) foram consideradas as quatro fileiras centrais. Observa-se na Figura 1, o croqui da área experimental, com a disposição dos tratamentos subdivididos em parcelas e subparcelas, com 4 repetições.

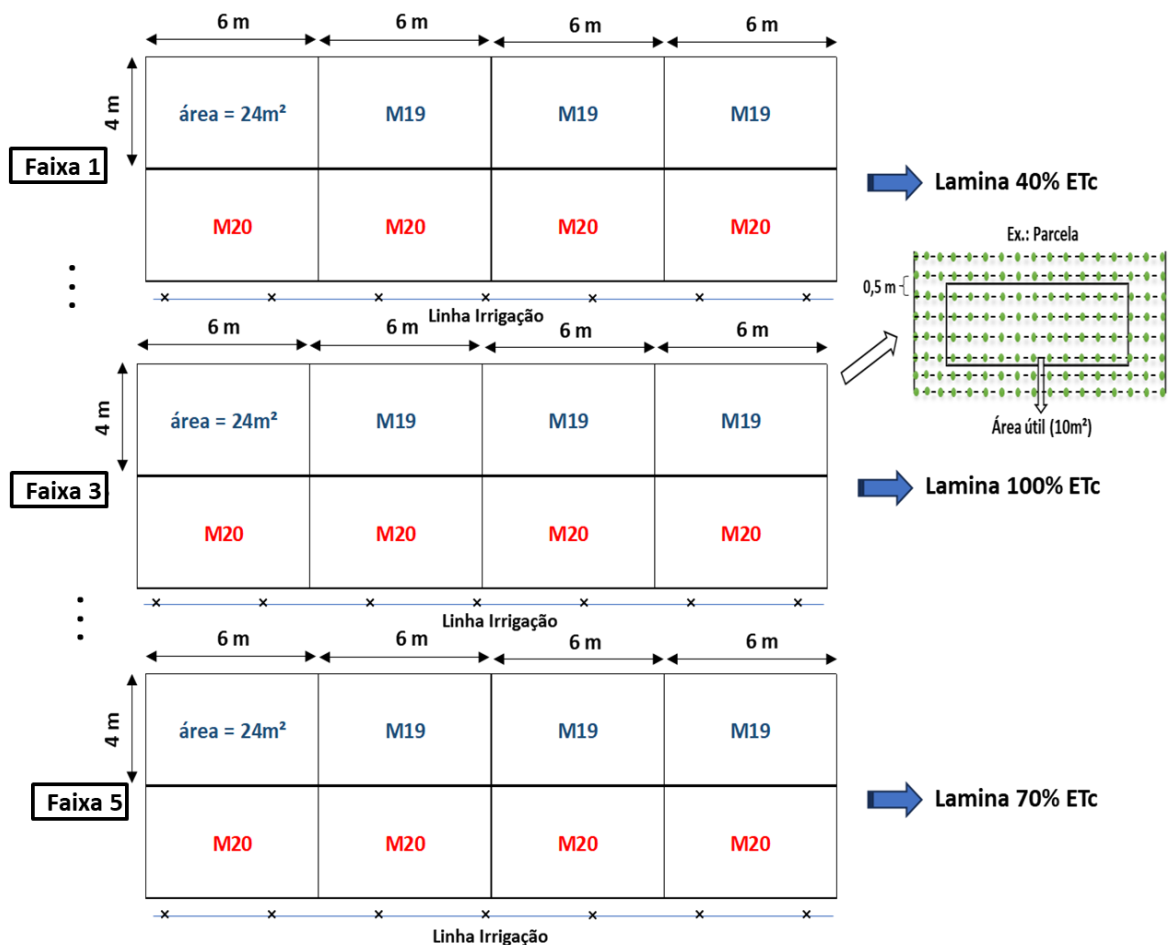


Figura 1. Croqui do experimento, com a disposição dos tratamentos subdivididos em parcelas (5 lâminas) e subparcelas (M19 ou M20), com 4 repetições.

3.2 Semeadura e tratos culturais

A semeadura (Figura 2A) foi realizada em 20 de julho de 2022, com a plantadeira experimental SEMEATO® SHP 249. Distribuíram-se 20 sementes por metro em fileiras espaçadas de 50 cm. Por ocasião do plantio foram aplicados em fundação 600 kg ha⁻¹ de N, 135 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 100 kg ha⁻¹ de K₂O da fórmula 5-

30-15 Essa adubação teve por base os resultados da análise de solo e as recomendações do manual de solos e adubação para o feijão-caupi, da Embrapa Meio-Norte.

As plantas daninhas foram controladas com a pulverização (figura 2b) em pré-emergência dos herbicidas Gramoxone® (2 L ha⁻¹) + Dual gold® (2 L ha⁻¹). Em pós-emergência, para controle de gramíneas, foi aplicado o herbicida seletivo sistêmico Selec 240 EC® na dose de 450 ml ha⁻¹ misturado no tanque de pulverização com óleo vegetal adjuvante áureo® na proporção de 0,5% v/v.



Figura 2. Realização da semeadura do feijão-mungo (A) e aplicação de agroquímicos (B).

3.3 Sistema e manejo da irrigação

As lâminas de irrigação foram aplicadas por um sistema de aspersão convencional fixo, com aspersores dispostos em espaçamento de 12 x 12 m, com bocais de 3,4 x 2,6 mm de diâmetro e vazão de 1,07 m³ h⁻¹ a uma pressão de serviço de 20 m.c.a. Entre as parcelas deixou-se uma faixa livre de 12 m, para evitar a influência de uma lâmina de água sobre a outra da parcela vizinha (Figura 3b).

As linhagens receberam lâminas de irrigação correspondente a 100% da Evapotranspiração de cultura (ET_c) até os 22 dias após o plantio (DAP). A partir dessa data foi iniciada a aplicação das cinco lâminas d'água: L40 = 40% da ET_c, L70 = 70% da ET_c, L100 = 100% da ET_c, L130 = 130% da ET_c e L160 = 160% da ET_c. Para determinação da ET_o, utilizou-se o método de Penman-Monteith FAO (Allen *et al.*, 1998). Esse método tem por base dados climáticos coletados em estação agrometeorológica localizada na sede da Embrapa Meio-Norte, distante aproximadamente 1 km da área experimental.

As irrigações foram feitas em três dias da semana (segunda, quarta e sexta-

feira). Na segunda-feira, foi aplicada a ETc acumulada de sexta, sábado e domingo; na quarta-feira, a ETc acumulada de segunda e terça-feira e na sexta-feira, a ETc acumulada de quarta e quinta-feira. Para a aferição da uniformidade de distribuição de água aplicada, em cada regime hídrico, instalaram-se cinco baterias de 16 coletores de termoplástico (Figura 3a), com dimensões de 80 x 102 mm (80 coletores no total), em uma malha de 12 x 12 m, entre quatro aspersores, na parte central da área experimental.

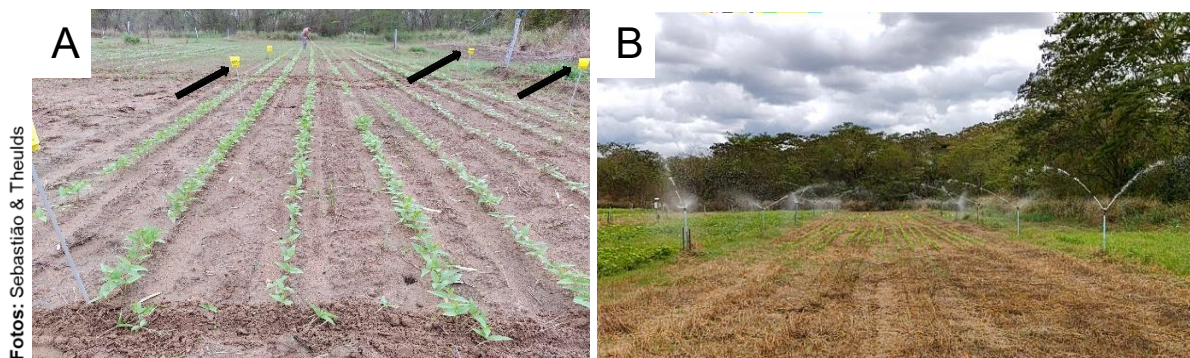


Figura 3. Bateria de coletores para aferição da uniformidade de distribuição de água (A) e, sistema de irrigação por aspersão convencional (B).

3.4 Monitoramento do conteúdo de água do solo e da radiação fotossintética (PAR) das plantas

O conteúdo de água no solo foi monitorado por sensores de umidade, nas profundidades de 0,0 a 0,3 m e de 0,3 a 0,6 m, em cada regime hídrico (Figura 4b). Esse monitoramento teve por objetivo conhecer as condições de disponibilidade de água no solo. A Photosynthetically active radiation (PAR) foi medida por meio de Barras com 6 Sensores quânticos (SQ-316-stock, Apogee Instruments, Logan, UT, USA). A radiação fotossinteticamente ativa (PAR-i) interceptada pela cultura foi obtida por barras PAR instaladas ao nível de solo, nas entrelinhas da cultura, e por barra (PAR-r) de referência localizada acima da cultura (por sobre a caixa do datalogger). Os dados de umidade do solo e radiação PAR foram registados em vários dataloggers distribuídos nas unidades experimentais (Figura 4a). Os dados foram coletados semanalmente com auxílio de um notebook.

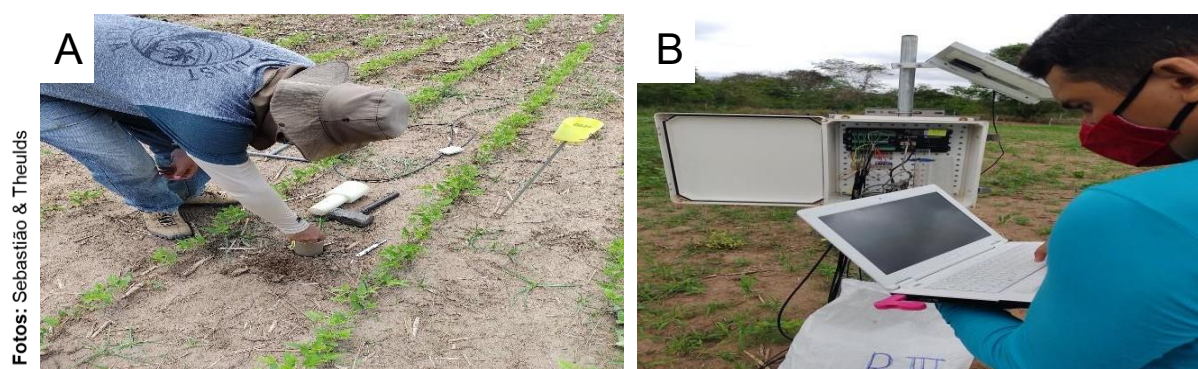


Figura 4. instalação dos tubos para coleta da umidade do solo (0-30 cm e 30 a 60 cm) (A) e Instalação do datalogger para leituras PAR e de umidade do solo (B).

3.5 Variáveis analisadas

O acompanhamento das variáveis fitométricos, agronômicos e produtivas das linhagens, foi quantificado semanalmente por meio da biomassa da parte aérea seca (BT), da área foliar (AF), do índice de área foliar (IAF), da altura das plantas (AP), e do teor de clorofila das folhas (ICF). Para determinação da biomassa total (fresca e seca), coletaram-se semanalmente quatro plantas em cada parcela. Essas plantas foram cortadas rente ao solo, e levadas ao laboratório para a obtenção do peso fresco (Figura 5a). Dessa amostra, foram retiradas as folhas para determinação da área foliar por planta (cm^2) e da biomassa da parte aérea seca. Para tanto, as plantas foram subdivididas em caule, folhas, flores, vagens e grãos. Essas partes foram pesadas e posteriormente colocadas para secar em estufa de ventilação forçada a $65\text{ }^\circ\text{C}$, até massa constante. Assim, obteve-se a biomassa de ramos e folhas secas por área (g m^{-2}). A medida da área foliar (Figura 5b) foi realizada em laboratório por meio do integrador de área foliar LI 3100C[®] (LI-COR, Lincoln, NE, USA). A medição consistiu em retirar as folhas das quatro plantas de cada parcela experimental e passá-las pelo integrador, obtendo-se a AF média de cada parcela em cm^2 .

As análises do teor de clorofila das folhas das linhagens do mungo foram efetuadas com o auxílio do aparelho ClorofiLOG[®], modelo CFL 1030 (Figura 6a e 6b). Foram tomados quatro pontos de amostra no primeiro trifólio totalmente expandido de cada planta das parcelas (Figura 6c). Os resultados foram expressos em Índice de Clorofila Falker, que é adimensional (FALKER, 2008).

O índice de área foliar (IAF), realizado em cada parcela sempre às 9h da manhã, foi estimado pela média de quatro leituras da intensidade da luz solar, uma leitura acima e três abaixo do dossel (Figuras 7a e 7b), com um ceptômetro, marca Accupar, modelo LP-80[®] (METER, Pullman, WA, USA) (Figura 7c). A relação entre a luz incidente acima da cultura e abaixo da copa das plantas fornece a transmitância de cada ângulo, que é inversamente proporcional ao IAF (Hoffman, Blomberg, 2004).

A altura de plantas foi obtida com o auxílio de uma trena graduada, medindo-se as plantas do início do caule até o meristema apical. Foram determinadas as alturas de quatro plantas da área útil de cada parcela e o resultado expresso em

centímetros (cm)

As variáveis estudadas foram quantificadas aos 22, 28, 35, 42, 49, 55 e 61 DAP.



Figura 5. Determinação do peso de ramos frescos (A), Determinação da área foliar (B) e Determinação do peso de folhas secas(C).



Figura 6. Aparelho Clorofilog (A) calibração do equipamento no campo (B) e leitura dos pigmentos fotossintéticos a e b (C).

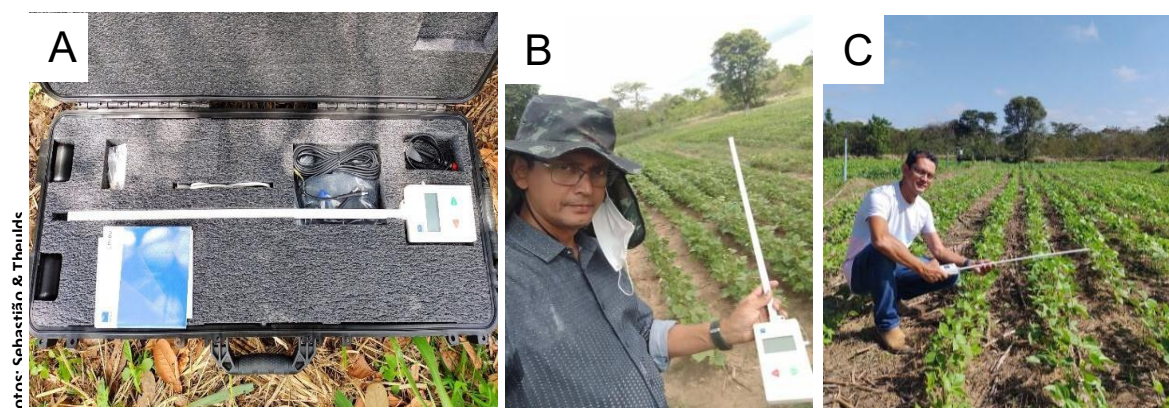


Figura 7. Equipamento Ceptômetro LP-80 (A) e medição da radiação fotossinteticamente ativa e Índice de área foliar (B e C)

3.6 Colheita e análise estatística

A colheita realizada manualmente ocorreu em 23/09/2022, aos 65 DAP (Figura

8A). Para tanto, delimitou-se a área útil das parcelas, em seguida colheu-se as plantas que foram alocadas em sacos de rafia. Após secagem e retirada das vagens, quantificou-se as seguintes variáveis:

1 - Número de vagens por planta (NVP): determinado em 10 plantas colhidas aleatoriamente da área útil de cada parcela.

2 - Comprimento de vagem (CVg): determinado em 10 vagens retiradas aleatoriamente das 10 plantas, utilizando-se régua graduada e o resultado expresso em centímetros (cm).

3 - Número de grãos por vagem (NGV): determinado das 10 vagens retiradas aleatoriamente das 10 plantas da área útil de cada parcela.

4 - peso de 100 grãos (P100G): determinado das 10 vagens retiradas aleatoriamente das 10 plantas da área útil de cada parcela, pesados em balança de precisão devidamente regulada e resultado expresso em gramas (g).

5 - Produtividade de grãos (PGC): Após trilhagem das vagens de todas as plantas da área útil, realizou-se o peso dos grãos em balança de precisão, corrigindo a umidade para 13% de umidade, e os valores extrapolados para Kg ha^{-1} .

A eficiência no uso da água (EUA) ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) foi determinada relacionando a produção de grãos (PG) e a lâmina de água aplicada (LI), utilizando-se a seguinte expressão (Lacerda *et al.*, 2009):

$$\text{EUA} = \frac{\text{PG}}{\text{LI}}$$

Em que:

PG = produção de grãos (kg ha^{-1});

LI = lâmina de irrigação acumulada (mm).

Os dados tabulados e sistematizados foram submetidos separadamente à análise de variância pelo teste “F” e a comparação das médias realizadas pelo teste de Tukey ao nível de 5 e 1% de probabilidade. As lâminas de irrigação foram avaliadas por meio da análise de regressão com auxílio do “software” R® (R Core Team, 2016). Os dados de saída foram plotados nos programas gráficos Excel e SigmaPlot® (ver. 11.0, Systat Software Inc., San Jose, CA, EUA).



Figura 8. Colheita das plantas da área útil (A) quantificação de números de vagens, comprimento de vagens (B) e determinação do peso de 100 grãos e produtividade de grãos (C).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Manejo e níveis de irrigação

A precipitação pluvial forneceu 10,8 mm, enquanto a lâmina total aplicada variou de 133,8 mm na L40, a 357,0 mm, na L160. A contribuição média da precipitação em relação a lâmina total aplicada foi de 4,3%, o que não comprometeu os níveis de deficiência hídrica no solo, programados com a diferenciação planejada. Foi observado que na fase da cultura mais sensível ao déficit hídrico, do florescimento ao enchimento de grãos (FL-EG), nas L40 e L70 aplicaram-se 45,9 mm e 74,2 mm, enquanto nas L100 e L160 foram aplicados 103,2mm e 146 mm, respectivamente (figura 9).

A irrigação é fundamental na produção de feijão-mungo, especialmente em regiões onde o déficit hídrico pode limitar o crescimento e a produtividade das plantas. Estudos indicam que a eficiência do uso da água, o crescimento e o produtividade do feijão-mungo são influenciados por diferentes regimes de irrigação (Pannu; Singh *et al.*, 1993; Bastos *et al.*, 2011; Rahim *et al.*, 2014; Pereira *et al.*, 2019; Bag *et al.*, 2020; Islam *et al.*, 2021; Gölgül *et al.*, 2022; Mahajan *et al.*, 2023). Por exemplo, um estudo realizado na Índia com o feijão-mungo demonstrou que o uso de água aumentou com a frequência da irrigação. Constatou-se que a eficiência do uso da água para a produção de grãos foi mais alta em um regime com menos irrigação. O estudo sugeriu que a irrigação realizada em intervalos correspondentes a uma evaporação acumulada de 300 mm do tanque Classe A dos EUA é mais

benéfica, tanto em termos de economia de água quanto de produtividade, do que irrigações mais frequentes a cada 200 mm de evaporação (Pannu; Singh, 1993). É importante destacar que a resposta das plantas à irrigação varia com a fase de crescimento e o tipo de solo, por isso é necessário ajustar as práticas de irrigação de acordo com as condições locais e as características específicas da variedade de feijão-mungo (Raza *et al.*, 2012). Ademais, práticas de seleção de variedades resistentes à seca, intervalos de irrigação controlados e aplicação controlada de nutrientes podem reduzir o crescimento excessivo de folhagem e prolongar a fase reprodutiva do feijão-mungo (Anjana; Sheela, 2019). Para um manejo eficiente da irrigação, é recomendável monitorar as condições de água no solo do solo, o clima, e as demandas das plantas, ajustando a irrigação para otimizar tanto a utilização da água quanto a produtividade da cultura (El-Nakhlawylam *et al.*, 2018).

Ao implementar técnicas de irrigação eficientes e otimizar o uso da água, os agricultores podem não só melhorar a produtividade do feijão-mungo, mas também conservar os recursos hídricos e reduzir os impactos ambientais (Islam *et al.*, 2024). Isso devido à precocidade da planta e das variedades utilizadas ou encontradas? em determinado local de plantio (Sosiawanl, *et al.*, 2021).

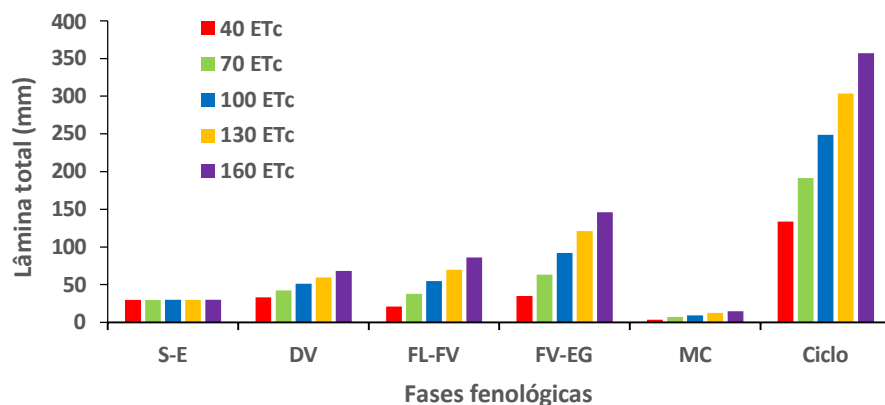


Figura 9. Lâmina total aplicada nas fases fenológicas S-E (Semeadura-emergência), DV (desenvolvimento vegetativo), FL-FV (florescimento-formação de vagens), FV-EG (formação de vagem-enchimento de grãos), M-C (maturação-colheita) e no ciclo de vida do feijão-mungo em cada regime hídrico.

A média da lâmina total de irrigação aumenta progressivamente em cada fase do ciclo, partindo de 40,9 mm na semeadura- emergência (S-E), 54,08 mm na fase emergência-desenvolvimento vegetativo (E-DV), 61,14 mm na fase de

desenvolvimento vegetativo-florescimento (DV-FL), 80,68 mm na fase florescimento-enchimento de grãos (FL-EG), e finalmente caindo para 20,16 mm na fase de maturação a colheita (M-C). As lâminas de irrigação aplicadas durante todo o ciclo de cultivo, variaram de 123,0 mm, na lâmina L40, a 346,2 mm, na lâmina L160, o que resultou em uma variação de 223,8 mm (181%) entre os regimes hídricos extremos.

Tabela 3. Lâminas de irrigação planejada e total aplicadas em cada fase fenológica do feijão-mungo: S-E (Semeadura-emergência), DV (desenvolvimento vegetativo), FL-FV (florescimento-formação de vagens), FV-EG (formação de vagem-enchimento de grãos), M-C (maturação-colheita). Teresina-PI, 2022.

Estágio	Lâmina de irrigação (mm)					Lâmina total (mm)				
	40	70	100	130	160	40	70	100	130	160
	ETc	ETc	ETc	ETc	ETc	ETc	ETc	ETc	ETc	ETc
S-E	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	40,9	40,9	40,9	40,9	40,9
E-DV	33,3	42,4	51,4	59,7	68,6	44,1	53,2	62,2	70,5	79,4
DV-FL	20,9	37,8	54,7	69,8	86,5	31,7	48,6	65,5	80,6	97,3
FL-EG	35,1	63,4	92,4	120,9	146	45,9	74,2	103	131,7	156,8
M-C	3,6	7,3	9,6	12,3	15	14,4	18,1	20,4	23,1	25,8
Ciclo	123	180,9	238,2	292,7	346	133,8	192	249	303,5	357

A variação média do teor de água no solo até 0,6 m de profundidade indica que houve um gradiente decrescente do teor de água no solo obedecendo a ordem de aplicação de água das lâminas, ou seja, onde ocorreu maior aplicação de água a umidade do solo foi maior (Figura 10a e 10b). A aplicação diferenciada dos regimes hídricos promoveu variação no conteúdo de água no solo nas duas camadas 0-0,3m e 0,3-0,6m. Na camada superficial do solo (0-0,3m), as lâminas L100 e L160 permaneceram dentro da faixa de água disponível, em comparação com a L40, que durante todo o cultivo, esteve próximo à umidade crítica (13%). Os valores médios de umidade do solo, com a reposição de 40% da ETc, foram os seguintes: 13,6% (DV); 13,1% (FL-FV); 13,4% (FV-EG) e 13,5 % (MC). A aplicação de 100% da ETc

proporcionou os seguintes valores médios de umidade: 18,1% (DV); 17,8% (FL-FV); 18,3% (FV-EG) e 18,0% (MC). E na aplicação de 160% da ETc resultou nos seguintes valores médios de umidade: 19,4% (DV); 19,0% (FL-FV); 19,8% (FV-EG) e 19,2% (MC). Importante destacar que em todos os regimes hídricos, os valores de umidade foram superiores a umidade crítica, limite para deficiência hídrica para as plantas, notadamente, para os regimes hídricos de 100% e 160% ETc. Com a aplicação do regime hídrico mais restritivo (40% ETc), as plantas sofreram pequeno estresse por deficiência hídrica do solo, nas fases fenológicas FL-FV e FV-EG, admitidas como as mais críticas para o feijão-mungo.

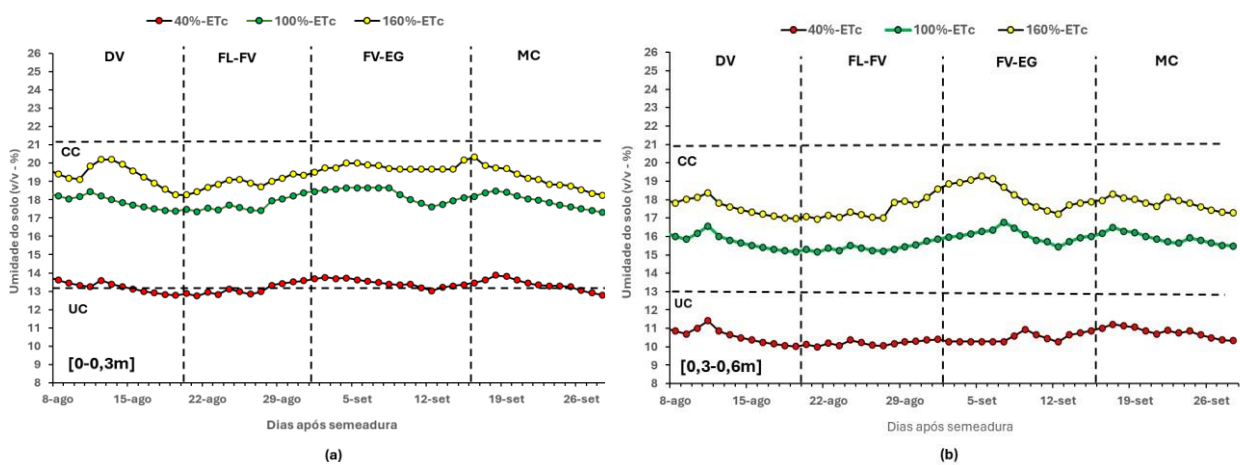


Figura 10. Umidade do solo, nas camadas de 0-0,3 (10a) e 0,3-0,6 m (10b), durante o ciclo de cultivo do feijão-mungo, em resposta aos regimes hídricos aplicados. As linhas tracejadas verticais delimitam as fases fenológicas, enquanto as linhas horizontais representam os limites de umidade do solo: capacidade de campo (CC) e umidade crítica (UC).

Na camada de 0,3-0,6 m, a aplicação diferenciada dos regimes hídricos promoveu maior diminuição no conteúdo de água no solo, entre todas as fases fenológicas, especialmente com a aplicação da lâmina 40% ETc. Os valores médios de umidade do solo, com a aplicação do regime hídrico 40% ETc, foram os seguintes: 10,9% (DV); 10,2% (FL-FV); 10,5% (FV-EG) e 10,8% (MC). A aplicação de 100% ETc proporcionou os seguintes valores médios de umidade: 16,0% (DV); 15,4% (FL-FV); 16,0% (FV-EG) e 15,9% (M-C). A aplicação de 160% ETc proporcionou os seguintes valores médios de umidade: 17,8% (DV); 17,5% (FL-FV); 18,2% (FV-EG) e 17,9% (MC). Com a aplicação do regime hídrico mais restritivo (40% da ETc), as plantas de mungo sofreram maior estresse por deficiência hídrica do solo, em todas as fases fenológicas, onde a umidade do solo esteve abaixo da umidade crítica (13%), durante

todo o ciclo da cultura. A diferenciação no conteúdo de água no solo decorrente da aplicação das distintas lâminas de irrigação, afetou o comportamento diferenciado do feijão-mungo em todas os parâmetros estudados.

Islam *et al.* (2024) investigando a tolerância à seca em diferentes genótipos de feijão-mungo, destacando a importância de características fisiológicas e bioquímicas na adaptação das plantas a condições de déficit hídrico, encontraram teores de umidade do solo de 22,0% para a condição de irrigação plena, e 15% quando da imposição da restrição hídrica, umidade essa próxima ao ponto de murcha permanente. Umidades essas semelhantes à do presente estudo. Os autores identificaram diminuição nos teores dos pigmentos fotossintéticos (clorofila) dos genótipos, variando de 11,48%–30,06%, observaram também diminuição considerável para os componentes de produção (número de vagens por planta, número de grãos por vagem, comprimento de vagens peso de 100 grãos) e produtividade de grãos.

4.2 Efeitos do déficit hídrico em linhagens de feijão-mungo

O déficit hídrico nas parcelas das L40 e L70, resultou na redução das seguintes variáveis estudadas: componentes de produtividade e produtividade de grãos, altura de plantas, área foliar, índice de clorofila, índice de área foliar e biomassa seca da parte aérea. Estes resultados estão de acordo com estudos de (Pannu; Singh, 1993; Vieira *et al.*, 2001; Vieira *et al.*, 2003; Lin; Alves, 2002; Sadeghipour, 2008; Raza *et al.*, 2012; Canci; Toker, 2014; Sharma *et al.*, 2016; Sunayana *et al.*, 2016; Hossain *et al.*, 2017; El-Nakhlawy *et al.*, 2018; Koreni, 2018; Patriyawaty *et al.*, 2018; Pereira *et al.*, 2019; Bag *et al.*, 2020; Slam *et al.*, 2021; Brar *et al.*, 2022; Gölgül, et al., 2022; Geetika *et al.*, 2022).

O feijão-mungo é uma cultura amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais, sendo uma importante fonte de alimento e renda para muitos agricultores. No entanto, o déficit hídrico é um fator limitante para a produção desta cultura. Vários estudos têm sido realizados para investigar os efeitos do déficit hídrico no feijão-mungo. Um estudo realizado por (Ambachew *et al.*, 2014) mostrou que o déficit hídrico reduziu em 24,5% significativamente a produtividade de grãos do feijão-mungo, quando comparado com o tratamento controle. Outro estudo conduzido por

Sharma *et al.* (2016) também verificaram que o déficit hídrico afetou negativamente a produtividade do feijão-mungo, resultando em uma redução na produtividade de grãos. Além disso, o déficit hídrico também foi associado a um aumento no acúmulo de substâncias osmóticas no feijão-mungo, resultando em um estresse fisiológico na planta. Portanto, fica evidente que o déficit hídrico tem efeitos negativos significativos no crescimento, desenvolvimento e produtividade do feijão-mungo (Nazran *et al.*, 2019). No entanto, é importante ressaltar que diferentes variedades de feijão podem apresentar diferentes tolerâncias ao déficit hídrico (Bastos *et al.*, 2011; Pohlmann *et al.*, 2022), e que medidas de manejo adequadas, como o uso de técnicas de irrigação eficientes e a seleção de variedades mais resistentes ao estresse hídrico, podem ser adotadas para minimizar os efeitos negativos do déficit hídrico no feijão-mungo (Ratnasekera; Subashi *et al.*, 2015).

4.3 Avaliação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR)

O comportamento do feijão-mungo em relação a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (PAR-i) e absorvida (PAR-a) em resposta às lâminas aplicadas é apresentada nas Figuras 11a e 11b. A radiação PAR interceptada pelo feijão-mungo na L160 ($0,791 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi superior às observadas nas L100 ($0,664 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e L40 ($0,497 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Os valores de PAR-i se elevaram de acordo com o aumento da área foliar, observado nas figuras (11a), em todas as lâminas aplicadas.

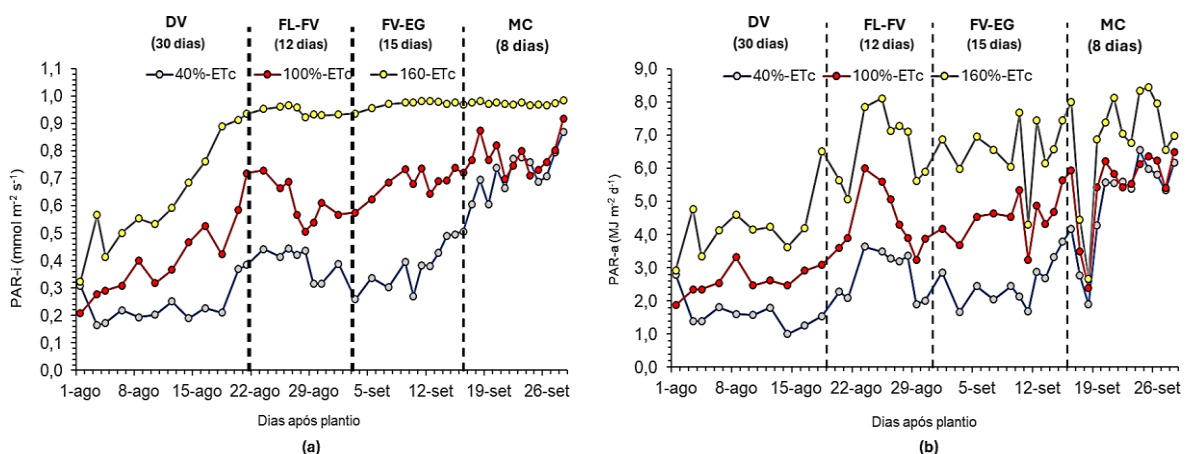


Figura 11. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (a) e absorvida (b) nas diferentes fases do ciclo fenológico do feijão-mungo: S-E (Semeadura-emergência), DV (desenvolvimento vegetativo), FL-FV (florescimento-formação de vagens), FV-EG (formação de vagem-enchimento de grãos), MC (maturação-colheita)

Os maiores valores de PAR-i foram observados nas fases de FV-EG (0,911 mmol m⁻² s⁻¹) e MC (961 mmol m⁻² s⁻¹), com a aplicação do L160 ETc. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (PAR-i) e absorvida (PAR-a) pelo feijão-mungo, nas diferentes fases fenológicas, em resposta aos regimes hídricos aplicados (40% ETc, 100% ETc e 160% da ETc). A L100 ETc proporcionou os maiores valores justamente nessas mesmas fases fenológicas (FV-EG com 0,772 mmol m⁻² s⁻¹) e MC com (0,812 mmol m⁻² s⁻¹).

A fotossíntese líquida de plantas de feijão atinge seu valor máximo quando a radiação fotossinteticamente ativa encontra-se entre 0,900 e 1,000 mmol m⁻² s⁻¹, e as condições de umidade do solo estiver com um teor de água próximo a capacidade de campo (Casaroli; Van Lier, 2015). Por outro lado, com a aplicação da lâmina de 40% da ETc, obteve-se os menores valores de PAR-i, os quais foram iguais a 0,443 mmol m⁻² s⁻¹ (FL-FV) e 0,458 mmol m⁻² s⁻¹ (FV-EG). Observa-se que a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (PAR-a) seguiu a mesma tendência da PAR-i. Importante destacar a estreita relação entre as duas formas de radiação, já que a estimativa de PAR-a depende de PAR-i.

A radiação PAR absorvida pelo feijão-mungo na lâmina 160% da ETc (5,69 MJ m⁻² d⁻¹) foi superior à observada na 100% da ETc (4,76 μmol m⁻² s⁻¹) e 40% ETc (3,59 MJ m⁻² d⁻¹). Os maiores valores de PAR-a foram observados nas fases de FV-EG (5,82 MJ m⁻² d⁻¹) e M-C (7,35 MJ m⁻² d⁻¹), com a aplicação do RH de 160% ETc. Rachaputi *et al.* (2015) observaram uma radiação diária entre 10 e 25 MJ m⁻² d⁻¹ em Queensland, Austrália. Verificaram que a radiação diminuiu para <10 MJ m⁻² d⁻¹ nas últimas 3 semanas antes da colheita final. Assim, uma alta variabilidade na radiação solar incidente (< 10 a 25 MJ m⁻² d⁻¹) afetou a condutância estomática. O fechamento dos estômatos limita a transpiração e absorção de CO₂ para a fotossíntese, potencialmente causando condições de estresse transitório (Pohlmann *et al.*, 2022).

A aplicação de 100% da ETc, proporcionou os maiores valores justamente nessas mesmas fases fenológicas (FV-EG) com 6,20 MJ m⁻² d⁻¹ e M-C com 4,92 MJ m⁻² d⁻¹). Por outro lado, com a imposição da lâmina de 40% da ETc obteve-se os menores valores de PAR-i, os quais foram iguais a 2,99 MJ m⁻² d⁻¹ (FL-FV) e 3,84 MJ m⁻² d⁻¹ (FV-EG) (Figura 11). Quanto maior for a intersecção e absorção da radiação PAR pelas folhas, maior será a atividade fotossintética das plantas, com reflexos diretos no crescimento e produtividade de grãos do feijão. Valores acima do

registrado na presente pesquisa, foram obtidos por Geetika *et al.* (2022) em pesquisa sobre o desenvolvimento da copa e da reprodução em feijão-mungo (*Vigna radiata*), onde averiguaram que a radiação solar incidente foi de aproximadamente 17,5 MJ m⁻² d⁻¹, o que segundo os autores corresponde a cerca de 9 MJ m⁻² d⁻¹ de radiação fotossinteticamente ativa (PAR). Do mesmo modo no Sri Lanka, pesquisadores verificaram que a fração da radiação interceptada, aumentou significativamente com o número de estágios irrigados, alcançando 14,6 MJ m⁻² d⁻¹. Mas especificamente, os tratamentos que incluíram irrigação durante as fases de floração e enchimento de grãos (De Costa *et al.*, 1999).

4.4. Variáveis físiométricas, agrônômicas e produtivas

A análise variância indicou que os componentes de produção, comprimento de vagem (CVg), número de grãos / vagem (NGV), número de vagens / planta (NVP), peso de 100 grãos (P100G), produtividade de grãos corrigida (PGC), responderam significativamente aos fatores lâmina de irrigação (LAM). A interação lâmina versus linhagens não foi significativa. Os coeficientes de variação (CV's) variaram de 3,44 a 15,28%, indicando uma excelente precisão dos resultados obtidos (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo das análises de variância para os componentes de produção e produtividade de grãos (PGC) em resposta aos regimes hídricos aplicados. LAM: lâmina aplicada; LIN: linhagens; CV: coeficiente de variação; CVg: comprimento de vagem; NGV: número de grãos / vagem; P100G: peso de cem grãos; NVP: número de vagens por planta; PGC: produtividade de grãos corrigida a 13% de umidade. Teresina-PI, 2022.

FV	GL	CVg	NGV	NVP	P100G	PGC
LAM	4	5,0571 ***	22,250 **	4,6441 *	10,450 ***	399395,1 ***
Bloco	3	0,4223	2,000	0,2856	1,2687	6073,00
Erro a	12	0,0921	4,750	1,2408	1,9150	9574,44
LIN	1	0,0640 ns	0,400 ns	7,8322 ns	0,2722 ns	29346,59 ns
LAM*LIN	4	0,6334 ns	0,350 ns	1,3441 ns	1,5790 ns	4349,46 ns
Erro b	15	0,8534	6,520	1,798	4,7437	7717,56
Total	39					
CV-Lam (%)		3,44	5,63	7,74	5,63	15,28
CV-Lin (%)		4,71	7,92	5,70	7,92	14,81

Níveis de significância pelo teste F: ns: não significativo; *: significativo a 5%; **: significativo a 1% de probabilidade.

4.3.1 Comprimento de vagens (CVg)

A equação $y=0,0088x+6,6472$ (Figura 12), sugere que existe uma correlação positiva ($r=0,47$) entre as lâminas de irrigação aplicadas e a variável comprimento das vagens. Isso significa que, com o aumento da lâmina de irrigação, o comprimento das vagens também tende a aumentar linearmente. Verifica-se um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9633, esse valor indica que aproximadamente 96,33% da variação no comprimento das vagens pode ser explicada pela variação nas lâminas de irrigação aplicadas.

O comprimento de vagem variou de 7,8 a 9,8 cm, correspondendo às lâminas L40 e L160, respectivamente (figura 12). O comprimento médio das vagens ficou em 9,0 cm. Os resultados para esse parâmetro estão em consonância com as observações de Alves *et al.* (2018), quando avaliaram correlação entre componentes de produção e produtividade de grãos de linhagens de feijão-mungo em Nova Ubiratã-MT. Os autores verificaram médias de comprimento de vagem de 9,06 cm para a linhagem 20 e de 9,09 cm, para linhagem 19. Médias de comprimento de vagem em torno 9,2 cm foram obtidas por Canci; Toker (2014), avaliando componentes de produtividade de 19 genótipos de feijão-mungo em terras de várzea na Turquia. Maiores taxas de crescimento de vagens provavelmente se devem à maior disponibilidade de pigmentos fotossintéticos na fase reprodutiva e à maior eficiência no uso da radiação solar nesses estágios.

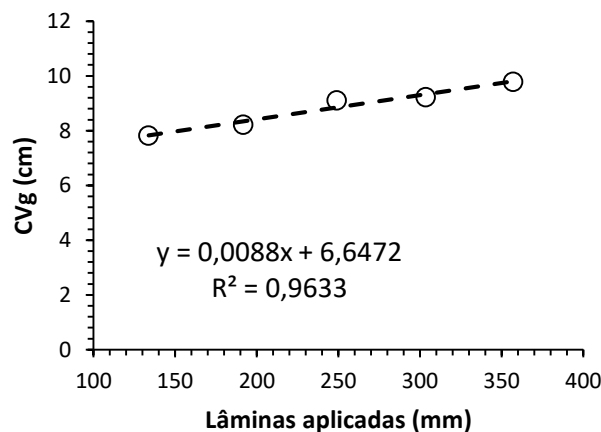


Figura 12. Comprimento de vagens (CVg) de duas linhagens de feijão-mungo em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina, PI, 2022.

Silva *et al.* (2019), analisando a produção e desenvolvimento de feijão-mungo em função de densidade populacional de 200 mil e 400 mil plantas ha^{-1} em Ipameri,

Goiás, verificaram que não houve influência da densidade de plantas sobre o comprimento de vagem, que ficou em 9,05 cm. Por outro lado, Sharma *et al.* (2016) registraram para algumas linhagens de mungo comprimentos de vagens entre 3,1-4,1 cm. Segundo os autores essa redução se deu em decorrência das altas temperaturas (40 °C, chegando próximo aos 45 °C) à qual as linhagens foram submetidas. Altas temperaturas com baixo déficit de pressão de vapor, aumentam a taxa de transpiração, causando declínio da umidade do solo, o que pode induzir estresse hídrico e térmico simultaneamente. A diminuição no comprimento de vagem sob condição de déficit hídrico, causa uma redução no número de grãos por vagem, impactando diretamente no rendimento de grãos. Pannu; Singh (1991) observaram valores médios variando de 4,90 a 6,03 cm, com a aplicação de lâminas de 150 a 300 mm. Segundo Bezerra *et al.*, (2014) o componente de produção comprimento de vagem está mais relacionado às características genéticas da cultivar, do que aos elementos associados ao ambiente.

4.3.2 – Número de grãos por vagem (NGV)

Na Figura 13, verifica-se um coeficiente de determinação de ($R^2=0,9937$), indicando uma tendência linear crescente, ou seja, quase toda variação no número de grãos por vagem pode ser explicada pelas variações nas lâminas de irrigação aplicadas. Sugere que existe uma forte correlação positiva ($r=0,47$) entre as lâminas de irrigação aplicadas e a variável NGV. O resultado para número de grãos por vagem (NGV) correspondeu a uma variação de 10,5 a 8,4 grãos por vagem (figura 13), representando uma redução de 25% entre a maior lâmina L160, e a menor L40. Em concordância seguiu a investigação de Pannu; Singh (1993) com a aplicação de uma lâmina de 300 mm. Com esta imposição hídrica, os autores observaram 10,5 grãos por vagem, refletindo em uma produtividade de 1.141 kg ha^{-1} . Resultado semelhante foi obtido por Rahim *et al.* (2014), quando estudaram lâminas deficitárias em feijão- mungo. Os autores observaram que o déficit de irrigação de até 67% da irrigação total para o método de semeadura em canteiro elevado proporcionou o número máximo de grãos por vagem de 10,1. Na mesma linha pesquisa de Christian *et al.* (2023) registaram para o NGV valores de 9,81 a 11,57. Bag *et al.* (2020) observaram que não houve efeito significativo para o componente NGV entre os tratamentos regimes de irrigação, devido às diferentes datas de semeadura e aos

cronogramas de irrigação. Eles registraram um valor máximo de 11,8 e o mínimo de 11,7 grãos por vagem. A análise estatística dos dados do estudo de Raza *et al.* (2012), revelou que os níveis de irrigação não tiveram efeito significativo sobre o número de grãos por vagem.

Entretanto, o número máximo de grãos por vagem (6,61) foi obtido no T2 com 5 irrigações, e o mínimo (5,48) foi registrado no tratamento controle. Islam *et al.* (2024) conduzindo pesquisa com oito genótipos de feijão-mungo (quatro suscetíveis à seca e quatro tolerantes) e duas condições de umidade, observaram valores de 6,1 e 3,7 grãos por vagem para as condições de bem irrigado e déficit hídrico, respectivamente. Um dos fatores para essa redução do NGV é o baixo teor de umidade do solo, que afeta o potencial hídrico das plantas e teor de clorofila, fator mais importante para o desenvolvimento do grão.

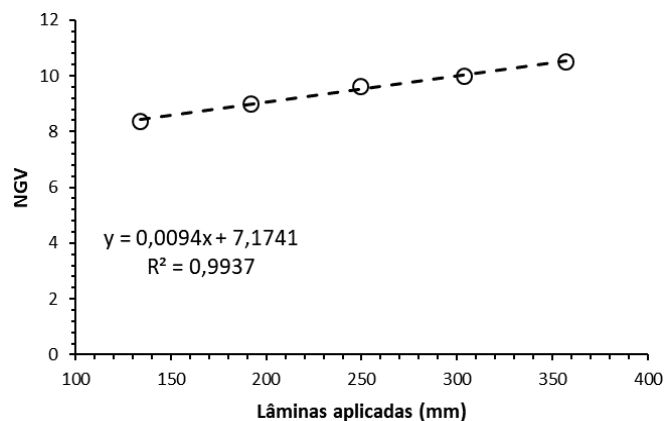


Figura 13. Número de grãos por vagem (NGV) de duas linhagens de feijão-mungo em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina, PI, 2022.

Sadeghipour (2008), avaliando o efeito da suspensão da irrigação em diferentes estágios de crescimento sobre a produtividade e os componentes de produtividade de variedades de feijão-mungo (*Vigna radiata* L. Wilczek), em Teerã, Irã, verificaram que o número médio de grãos por vagem foi reduzido de 17,2 para 9,3, devido ao efeito da suspensão da irrigação em todos os estágios de crescimento, sendo o efeito mais severo no estágio reprodutivo. Bastos *et al.* (2011), também verificaram forte redução no número de grãos por vagem em feijão-caupi no estágio de florescimento, causado principalmente pelo abortamento de flores.

A capacidade produtiva de planta de feijão-mungo é determinada em última análise pelo número de grãos/vagens, que é um componente chave da produtividade

das leguminosas.

4.3.3 – Número de vagens por planta (NVP)

Na figura 14 percebe-se uma forte tendência linear crescente, e que quase toda variação no número de vagens por planta pode ser explicada pelas variações nas lâminas de irrigação aplicadas ($R^2=0,9858$). Verifica-se que para o número de vagens por planta (NVP) em função das lâminas aplicadas nas parcelas experimentais, apresentou uma variação de 11,9 a 18,5 para os volumes aplicados de 133,8 a 357 mm, respectivamente. Resultados semelhantes foram verificados por Gölgül *et al.* (2022), que registaram valores de 8,9 a 18,9 para o NVP, com a aplicação de lâminas variando de 126 e 445 mm, respectivamente. Outro estudo que está em consonância com os resultados apresentados, foi o de Pannu; Singh (1993), quando estudaram o efeito de níveis de irrigação no crescimento e produtividade de grãos do feijão-mungo e verificaram que número de vagens por planta variou de 8,3 a 15,5, esse maior valor resultou da aplicação de uma lâmina de 300 mm. Islam *et al.* (2024) pesquisaram resposta de genótipos de feijão-mungo à irrigação em diferentes fenofases, com o objetivo de superar o estresse hídrico e melhorar a produção em Dinajpur, Bangladesh, verificaram o NVP de 5,2 para a condição de déficit hídrico e 7,8 para bem irrigado. A diminuição na disponibilidade hídrica resultou na diminuição do número de vagens por planta e por consequência no produtividade de grãos.

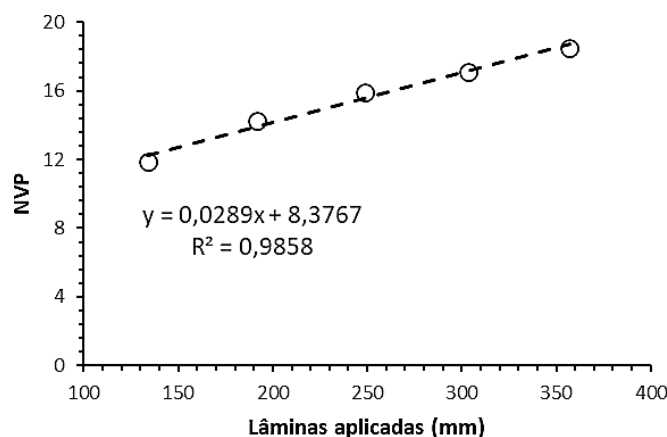


Figura 14. Número de vagens por planta (NVP) de duas linhagens de feijão-mungo em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina, PI, 2022.

Resultado divergente foi encontrado por El-Nakhlawy *et al.* (2018) ao

estudarem três regimes hídricos (100% da ET_c; 70% da ET_c no estágio vegetativo; 70% da ET_c no estágio reprodutivo), onde verificaram valores de 20,9 e 27,1 para as cultivares de feijão-mungo MNF e MN96, respectivamente. Rahim *et al.* (2014) averiguando o efeito de irrigações deficitárias e métodos de semeadura na produtividade do feijão-mungo, observaram uma variação no NVP de 20,9 a 27,0 para os tratamentos I₀ e I₁₀₀, respectivamente. Christian *et al.* (2023) observaram valores de 28,7 para número de vagens por planta com a variedade OK2000. O estudo dos autores demonstrou que a variedade de feijão-mungo OK2000, com alta produtividade seria ideal para a produção comercial. Do mesmo modo, Bag *et al.* (2020), também verificaram que o NVP foi afetado significativamente pelos diferentes níveis de irrigação. A imposição da lâmina de 75%, resultou em 56,8 vagens por planta. Raza *et al.* (2012) investigando os efeitos de diferentes níveis de irrigação no crescimento e produtividade do feijão-mungo, registraram valores de NVP oscilando de 33,3 a 47. Apesar do elevado número de vagens verificados pelos autores, a produtividade girou em torno de 588 kg ha⁻¹ a 1.013 kg ha⁻¹, para os tratamentos controle (sem irrigação) e irrigado. Produtividades semelhantes ao do presente estudo. A produtividade e seus componentes são influenciados por vários fatores, incluindo as variedades de feijão-mungo, as condições ambientais nas áreas de cultivo e as práticas agrícolas. Portanto, o número de vagens por planta é importante componente determinante da produtividade e do crescimento da cultura. Mais vagens por planta estão associadas a maior potencial de produtividade (Bag *et al.*, 2020; Islam *et al.*, 2024).

4.3.4 – Peso de 100 grãos (P100G)

Os resultados para o peso de 100 grãos (P100G) são apresentados na figura 15. Verifica-se um aumento neste componente à medida que se diferencia a aplicação das lâminas de irrigação. Verifica-se uma variação de 6,38 a 7,93 g. Diminuição no peso de grãos em genótipos e variedades de feijão-mungo foi relatado por Sadeghipour (2008), Lin; Alves (2012), Canci; Toker (2014), Gölgül *et al.* (2022), Noleto *et al.* (2023). Resultados semelhante foram obtidos por Ratnasekera; Subhashi (2015), ao examinarem a resposta morfofisiológica de três genótipos de feijão-mungo (*Vigna radiata* L.) no Sri Lanka sob estresse hídrico. Os autores observaram valores variando de 6,02 a 8,32 g para os tratamentos com imposição do estresse hídrico na

fase vegetativa e no controle (irrigação plena). Na mesma linha El-Nakhlawy *et al.* (2018), relataram uma variação de 5,84 a 8,17 g para os tratamentos W3 (70% das necessidades totais de água de irrigação aplicadas na floração e W1 (100% das necessidades de água em todas as fases). Gölgül *et al.* (2022) no seu estudo não verificaram diferença significativa para o P100G, mas relataram que o tratamento I₀ (tratamento de sequeiro - as plantas não receberam irrigação) proporcionou o maior valor (8,85 g) P100G entre os tratamentos avaliados. Maiores pesos de cem grãos dos tratamentos I₀ foram resultado da diminuição induzida pelo estresse no número de vagens e no número de grãos.

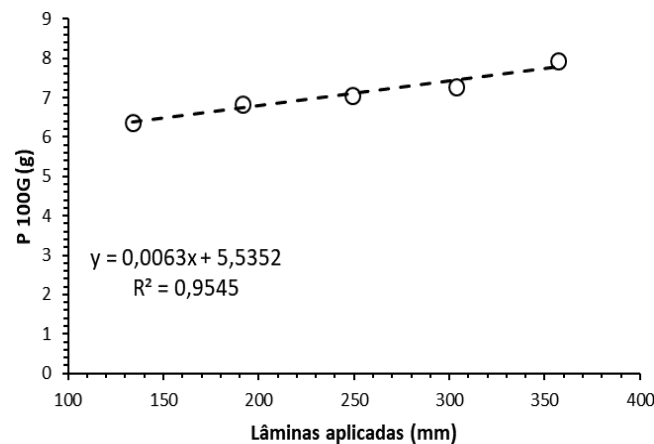


Figura 15. Peso de cem grãos (P100G) de duas linhagens de feijão-mungo em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina, PI, 2022.

Em contrapartida, estudo de Islam *et al.* (2024) observaram que a condição de estresse hídrico diminuiu notavelmente o peso de 100 grãos entre os genótipos de mungo de forma inconsistente; eles registraram uma variação de 5,83 a 4,67 g para o genótipo BMX-05001, com os tratamentos sob condições de umidade próxima à capacidade de campo e de umidade crítica, respectivamente. Rahim *et al.* (2014) com o objetivo de estudar o efeito de diferentes irrigações na produtividade e nos componentes de produção do feijão-mungo em Peshawar, Paquistão, relataram que nível de irrigação I₆₇ (67%) proporcionou o maior valor de 4,8 g para o P100G, seguido pelos outros níveis de irrigação de I₁₀₀, I₃₃ e I₀. Esses resultados sugerem que uma irrigação moderada, nem completa nem muito restrita, foi mais eficaz para o peso de 100 grãos nestas circunstâncias. Esse resultado pode ser atribuído a uma variedade de fatores, como eficiência na utilização da água pela planta e o equilíbrio entre a disponibilidade de água e outros recursos para um crescimento ideal. A

resposta otimizada no nível I67 pode indicar que o feijão-mungo possui uma certa tolerância a déficits de água e que níveis intermediários de irrigação podem promover um desenvolvimento mais eficiente dos grãos.

O peso do grão é uma variável de grande importância, uma vez que geralmente é usado para calcular a densidade de semeadura e para avaliar a qualidade, maturidade e sanidade das grãos (Brasil, 2009). Portanto, esse aumento no peso dos grãos em resposta ao aumento da lâmina de irrigação representa uma característica importante nos estudos de cultivos irrigados.

4.3.5 – Produtividade de grãos (PGC)

Não houve interação significativa entre lâmina de irrigação e cultivares para a variável produtividade de grãos. Entretanto, a diminuição da disponibilidade hídrica no solo reduziu significativamente a produtividade do feijão-mungo (Figura 16). Registrou-se as seguintes médias para PGC: 482 kg ha⁻¹ (L40), 672 kg ha⁻¹ (L70), 901 kg ha⁻¹ (L100), 1.043 kg ha⁻¹ (L130), e de 1.117 kg ha⁻¹ para a L160, com a aplicação das lâminas 133,8, 191,7, 249, 303 e 357 mm, respectivamente. De acordo com os resultados apresentados (Figura 16), nota-se uma redução de 43% na produtividade de grãos entre a maior lâmina L160 e a menor L40. Verificou-se que a produtividade mais elevada no presente estudo foi de 1.187 kg ha⁻¹ para a linhagem M19, com a aplicação de 357 mm (L160). Os resultados obtidos, corroboram com os achados de Islam *et al.* (2024), ao verificarem uma redução de 56% na produção de grãos em todos os genótipos de feijão-mungo, indicando que o estresse por déficit hídrico confere um efeito negativo sobre a produção das plantas. Redução de 52,5% na produtividade de grãos foi registrado também por (Islam *et al.*, 2021), que relataram produtividades variando de 555,14 kg ha⁻¹ para o tratamento sem irrigação e 1.145,44 kg ha⁻¹ para o tratamento com aplicação de uma lâmina de 277 mm.

Sadeghipour (2018), em seu estudo encontrou diferenças significativas para o produtividade de grãos. Ele registrou uma forte redução 61,4% no produtividade de grãos quando da imposição do déficit hídrico no estágio de floração. Verificaram que o maior produtividade de grãos (1.425,00 kg ha⁻¹) foi observado na variedade com irrigação durante todo o período de crescimento, e a menor produtividade de grãos (532,70 kg ha⁻¹) foi do tratamento sem irrigação na fase de floração. Raza *et al.* (2012) também averiguaram os efeitos de níveis de irrigação sobre a produtividade do feijão-mungo, onde observaram que o menor produtividade de grãos de 588 kg

ha⁻¹, foi obtido no controle (sem irrigação) e a maior produtividade 1.634 kg ha⁻¹ foi registrada no tratamento T₂ com 5 irrigações. Por isso, a obtenção de boa produtividade do mungo é fundamental, sendo cada vez mais almejada por produtores do grão. Estudo anterior que está em consonância, foi o de Lin; Alves (2012), quando estudaram o comportamento de linhagens de feijão-mungo (*Vigna radiata* L.) em Santa Catarina, onde registraram produtividades médias de 1.015,0 a 1.085,0 kg ha⁻¹.

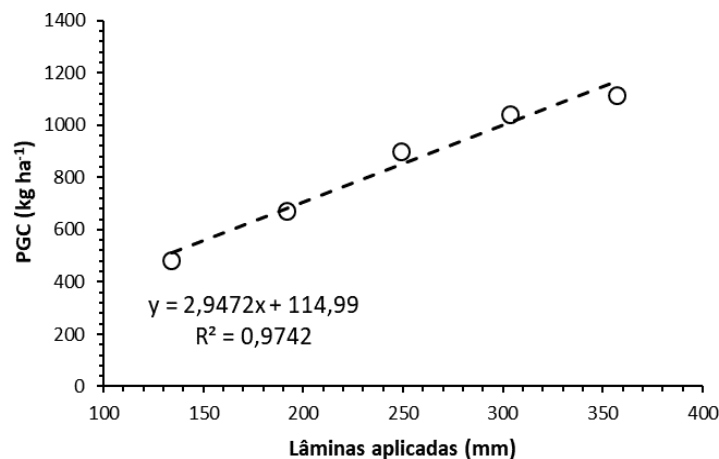


Figura 16. Produtividade de grãos corrigida (PGC) de duas linhagens de feijão-mungo em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina, PI, 2022.

Rahim *et al.* (2014), averiguaram que o produtividade de grãos foi significativamente afetado tanto pelas irrigações quanto pelo método de semeadura, produtividade máxima de grãos de 1.429 kg ha⁻¹ foi obtida a partir do nível de irrigação I₆₇ (lâmina de 67%), seguido das produtividades 1.343, 1.084 e 687 kg ha⁻¹ para os níveis de irrigação de I₁₀₀, I₃₃ e I₀, respectivamente. Resultando em uma redução de 41% na produtividade de grãos, entre a menor e a maior média produtiva. A hipótese de Pannu; Singh (1993) revelou que a irrigação com evaporação em tanque de 300 mm é mais benéfica, em termos de economia de água e produtividade, do que a rega frequente com evaporação em tanque de 200 mm. Os autores verificaram uma redução de 47,9% no produtividade de grãos, obtida entre a maior produtividade (1.608 ha⁻¹) e a menor (837 kg ha⁻¹).

Pesquisa de Gölgül *et al.*, (2022), realizada em altitude média de 1094, com objetivo de determinar a resposta do feijão-mungo ao estresse hídrico, observaram valores de produtividade de grãos de 977 kg ha⁻¹ para o tratamento I₂₅ (25% da lâmina aplicada) e 1.630 kg ha⁻¹ para o I₁₀₀ (100% da lâmina aplicada). No entanto,

produtividades superiores foram reportadas por Duque *et al.*, (1987) em estudo preliminar sobre o comportamento de 21 cultivares de feijão-mungo em Itaguaí-RJ, onde registaram PGC variando de 1.300 a 1.700 kg ha⁻¹. Produtividades estas influenciadas por uma densidade de 500 mil plantas por hectare, inoculação de estirpes de rhizobium e utilização de esterco de galinha na base de 12 toneladas por hectare. E por El-Nakhlawy *et al.* (2018), que relataram produtividades de 890 a 1.990 kg ha⁻¹, para os tratamentos com imposição do déficit hídrico no florescimento (40 a 60 dias após semeadura) e irrigação plena, respectivamente.

Na Índia, Bag *et al.* (2020) visando selecionar a data ótima de semeadura e a frequência de irrigação para o cultivo do feijão-mungo em zona aluvial, verificaram uma produtividade média de 1.446,70 kg ha⁻¹ para o tratamento I4 (irrigação plena) e de 1.724,10 kg ha⁻¹ para o tratamento I1 (condição de sequeiro). Esses valores refletem o elevado número de vagens por planta (62 vagens) e da biomassa da cultivar. A produtividade de grãos por unidade de área é função dos componentes individuais do produtividade que são influenciados pelo manejo da cultura e pelo meio ambiente.

Na análise dos resultados apresentados na Tabela 5, observa-se que o volume de água aplicada teve um impacto altamente significativo em todas as variáveis de crescimento das plantas avaliadas. Para a área foliar (AF), biomassa seca (BS), índice de clorofila (ICF), altura de planta (AP) e índice de área foliar (IAF), a fonte de variação (FV) "LAM" (lâmina aplicada) apresentou valores altamente significativos, com $p < 0,001$ para todas as variáveis. Isso indica que a quantidade de água aplicada teve um efeito direto e significativo no crescimento e desenvolvimento das plantas. A análise dos coeficientes de variação (CV) revela uma baixa variabilidade dos dados em relação à média, sugerindo consistência nos resultados obtidos. Além disso, não foram observadas interações significativas entre a lâmina aplicada e as linhagens de plantas para nenhuma das variáveis avaliadas, o que indica que o efeito da quantidade de água aplicada foi consistente independentemente da linhagem de mungo utilizada.

Tabela 5. Resumo das análises de variância para área foliar (AF), biomassa seca (BS), índice de clorofila (ICF), altura de planta (AP) e índice de área foliar (IAF) em resposta às cinco lâminas aplicadas. Teresina, PI, 2022.

FV	GL	AF	BT	ICF	AP	IAF
LAM	4	579659,19***	310,136 ***	890,570 ***	1646,212***	1,2066 ***
Bloco	3	59767,2	5,1355	22,912	6,158	0,058
Erro a	12	3677,26	6,17	58,596	25,679	0,0411
LIN	1	1356,29 ns	1,7682 ns	44,310 ns	11,025 ns	0,2250 ns

LAM*LIN	4	2818,81 ns	2,5762 ns	73,956 ns	22,962 ns	0,1506 ns
Erro b	15	32484,87	3,9967	37,077	7,575	0,1295
Total	39					
CV-Lam (%)		10,42	6,62	18,87	9,88	12,86
CV-Lin (%)		9,79	6,79	15,01	5,57	11,00

FV: Fonte de variação; CV-Lam: coeficiente de variação lâmina; CV-Lin: coeficiente de variação linhagens; Níveis de significância pelo teste F: ns: não significativo; *: significativo a 5%; ***: significativo a 1%.

4.3.6 – Área foliar (AF)

De acordo com os resultados apresentados na figura 17, percebe-se uma área foliar inicial de 1481,2 cm² planta⁻¹ com a imposição da L40, à medida se variou a aplicação das de irrigação, registrou-se um aumento linear na AF alcançando uma área foliar de 2230 cm² planta⁻¹, com a aplicação de 357 mm na L160. Com a imposição das lâminas deficitárias foi registrado uma redução percentual de 35,6% na AF entre a L160 e a L40. Resultados aproximados foram obtidos por Geetika *et al.* (2022) pesquisando sobre dossel e desenvolvimento reprodutivo em genótipos de mungo; os autores registraram AF de 2015 cm² planta⁻¹ no genótipo Onyx-AU, com a aplicação de 218 mm (somadas precipitação e irrigação).

A área foliar é uma das principais responsáveis pela fotossíntese, processo pelo qual as plantas produzem açúcares e oxigênio a partir da energia solar. Uma planta com uma área foliar grande tem maior capacidade de aproveitar a energia solar, o que resulta em maior produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, maior produtividade de grãos. Em feijoeiro comum Pohlmann *et al.* (2022), investigaram a tolerância ao déficit hídrico de cultivares na entressafra 2019/2020, os autores registraram para a cultivar FC104 uma AF de 2.621 cm² planta⁻¹ para a condição irrigada e de 1.225 cm² planta⁻¹ para a condição de déficit hídrico no final da fase vegetativa, o que resultou em uma redução de 53,2% da AF. De acordo com Taiz; Zeiger (1991), as plantas em situações de baixa disponibilidade hídrica, tem como primeira reação limitar sua área foliar. Estes atributos ajudam as plantas não apenas a sobreviver durante períodos de escassez de água, mas também a recuperar-se rapidamente quando a água se torna disponível novamente. A capacidade de uma planta de expressar essas características morfofisiológicas sob estresse hídrico é fundamental para a sua adaptação e sobrevivência em ambientes sujeitos déficit

hídrico (Budak *et al.*, 2013; Islam *et al.*, 2021).

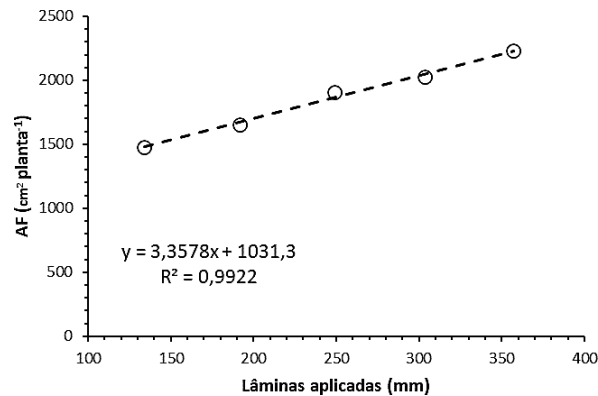


Figura 17. Área foliar (AF) de duas linhagens de feijão-mungo em função do aumento das lâminas de irrigação em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina, PI, 2022.

Em contrataste, Ratnasekera; Subhashi (2015) com o objetivo de compreender o efeito do estresse hídrico durante os estágios vegetativo e reprodutivo em características fisiológicas, e produtividade do feijão-mungo para maximizar a eficiência do uso da água, registraram AF de 153,66 cm² para o genótipo ARI, com imposição de 16 dias de supressão hídrica no estágio vegetativo e 464,66 cm² para a condição sem déficit. E de 149,6 e 565 cm² para a mesma imposição hídrica, só que o déficit aplicado no estágio reprodutivo. Além das práticas de manejo e irrigação, pesquisas futuras também podem se concentrar em identificar variedades de feijão mais resistentes a variações na umidade do solo, visando otimizar o desempenho da cultura em diferentes condições ambientais. Resultados de pesquisa de Nóbrega *et al.* (2001) revelaram que competição por água, imposta pelos diferentes tratamentos, condicionou às plantas variações na produção de fitomassa nas taxas da área foliar, índice de área foliar, assimilação líquida e na razão da área foliar.

A área foliar de uma planta depende do número e do tamanho das folhas e do seu tempo de permanência na planta, isto é, pode variar ao longo do ciclo da cultura. Uma planta que não tem uma área foliar muito grande ou que tem uma área foliar, mas tem um problema, uma deficiência ou uma praga, terá uma produção menor, pois não produzirá uma carga de fotoassimilados suficientes para segurar a produção exponencial pendente.

4.3.7 – Biomassa Seca (BS)

A biomassa seca da parte aérea é uma função do índice de área foliar (IAF) e da interceptação de luz, da eficiência do uso da radiação e do determinante mais importante da produtividade das culturas. Na presente pesquisa a biomassa apresentou uma variação de 17,6 a 34,5 g planta⁻¹ (figura 18). Essa variação resultou em uma redução de 49% entre as lâminas L160 e L40. Observa-se ainda que a aplicação da lâmina L100 resultou em 27,1 g planta⁻¹ de BS. Estas observações estão em conformidade com trabalhos realizados por De Costa *et al.* (1999), que registraram valores de biomassa de 32,9 e para a cultivar MI5 sob condições de irrigação plena e de 16,3 g planta⁻¹ para o tratamento controle (sob precipitação). Bem como o de Bag *et al.* (2020) que registraram uma biomassa média total de 35,60 g planta⁻¹ quando estudaram o efeito da época de semeadura e dos regimes de irrigação sobre o crescimento e a produtividade do feijão-mungo. Os pesquisadores concluíram que independentemente da época de semeadura, a variação da biomassa total entre os tratamentos de irrigação, durante as diferentes fases de crescimento da cultura, foi estatisticamente insignificante.

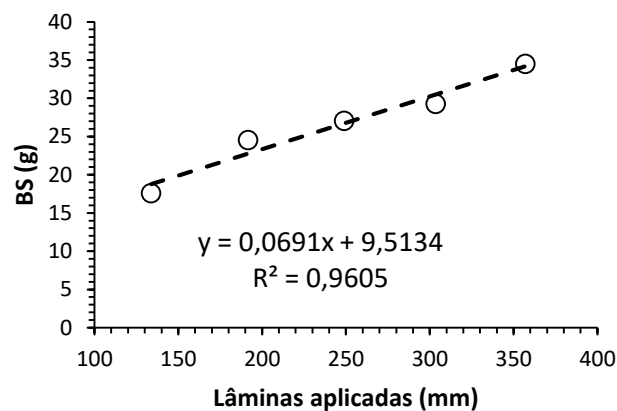


Figura 18. Biomassa seca (BS) da parte aérea de duas linhagens de feijão-mungo em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina, PI, 2022.

Do mesmo modo Mahajan *et al.* (2023) relataram achados semelhantes ao tentar quantificar o potencial produtivo de dois cultivares de feijão-mungo sob a influência conjunta de altas temperaturas e estresse hídrico. Eles notaram uma diminuição de 66,1% na biomassa da cultivar Celera II-AU, que apresentou 26,6 gramas por planta em condições normais e apenas 9,0 gramas por planta sob condições de estresse. De outra forma Rachaputi *et al.* (2019) averiguando os padrões de extração de água do feijão-mungo (*Vigna radiata*) em diversos ambientes

subtropicais, registraram BT de 62,0 g planta⁻¹ para os tratamentos irrigados com lâmina de 368 mm e 37 g planta⁻¹ para os tratamentos sob precipitação pluvial de 218 mm. Aumentar a biomassa para aumentar a produtividade de grãos provavelmente será uma estratégia mais bem sucedida em ambientes de umidade mais favoráveis.

Estresse devido à falta de água na superfície do solo acelera a maturidade da cultura em feijão-mungo e restringe o desenvolvimento da área foliar, a expansão foliar, e ramificação do caule, enquanto a senescência foliar aumenta (Chauhan; Williams, 2018). Pesquisas têm mostrado que plantas submetidas a estresse hídrico desenvolvem estratégias para lidar com as condições adversas, incluindo a regulação do crescimento da área foliar. Os resultados de Nazran *et al.* (2019) indicaram que o peso da biomassa nas quatro variedades de feijão-mungo foi maior na faixa de 90 a 100% da capacidade de campo, variando de 6,80 a 12,48 g planta⁻¹. Em relação às variáveis resposta ao crescimento, altura, peso de matéria seca da parte aérea, comprimento da raiz e peso de matéria seca da raiz, não houve uma notável interação entre cultivares e irrigação. O regime irrigado apresentou maiores alturas, peso de matéria seca da parte aérea e raízes (Pohlmann *et al.*, 2022).

Portanto, a produtividade do feijão-mungo sob estresse hídrico é geralmente decidido pela sua capacidade de crescer vigorosamente e acumular tanto quanto matéria seca antes da floração (Ratnasekera; Subhasi, 2015).

4.3.8 – Índice de clorofila (ICF)

A clorofila são pigmentos verdes, que atuam na absorção de energia luminosa. Existem vários tipos de clorofila, ou seja, clorofila a, b, c e d, no entanto, os mais abundantes são a clorofila-a e b. A clorofila-a é verde escura, enquanto a clorofila-b é verde clara (Muchow *et al.*, 1993; Christian *et al.*, 2023; Ebrahimi *et al.*, 2023). O aumento do status hídrico do solo elevou o teor de clorofila nas folhas e teve uma variação de 27,3 a 52,2 ICF (Figura 19). Aumentar a irrigação acima do nível recomendado pode levar à diminuição da cor verde das folhas, o que sugere um efeito negativo de excesso de água na absorção ou assimilação de nitrogênio, devido à lixiviação.

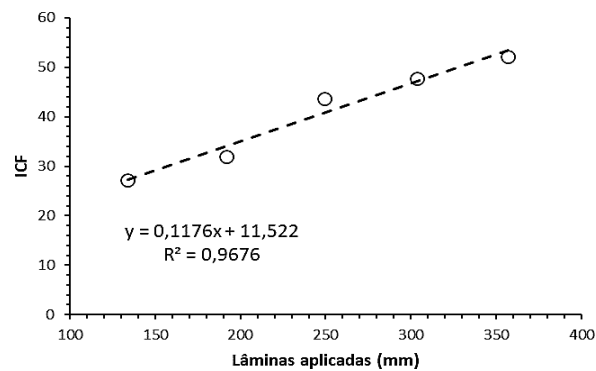


Figura 19. Índice de clorofila (ICF) de duas linhagens de feijão-mungo em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina, PI, 2022.

Pereira *et al.* (2019) estudando doses de N e níveis de irrigação em feijão-mungo, obteve uma diminuição nos valores observados de ICF, com o aumento do suprimento de água no solo. Eles encontraram o valor máximo de 40,18, com a aplicação de 25% da capacidade de campo (CC), e 29,86 ICF com a aplicação de 150% da CC. Redução essa devido ao antagonismo entre a aplicação de fertilizantes nitrogenados e a nodulação. (Hain *et al.*, 2012). O nitrogênio é um elemento vital para o metabolismo vegetal, atuando na produção de proteínas e sendo fundamental na fotossíntese, principalmente porque é necessário para a formação da clorofila (Muñoz-Huerta *et al.*, 2013). Islam *et al.* (2021) registraram diminuição no teor de clorofila com a diminuição da disponibilidade hídrica no solo. Entretanto, Bastos *et al.* (2012) avaliando produtividade de grãos verdes de feijão-caupi sob déficit hídrico, registraram maiores valores de ICF, variando 66 e 82 obtidos aos 44 dias após semeadura, com aplicação da maior lâmina de irrigação (L5). Com a aplicação da menor lâmina de irrigação (L1) os valores máximos obtidos foram 58 e 69. Pesquisa de Bhupendra *et al.* (2018) revelou que o genótipo SML-668 apresentou o maior produtividade de sementes, teor de proteína, e o menor efeito negativo do estresse hídrico sobre o teor de clorofila nas folhas. Ainda de acordo com os autores, a irrigação contínua foi o tratamento que proporcionou os melhores resultados em todos os parâmetros avaliados. Em contrapartida, os melhores resultados obtidos com irrigação contínua em alguns estudos não garantem que este será o regime de irrigação mais eficaz em todas as situações. A escolha do regime de irrigação ideal deve ser feita com base em uma avaliação cuidadosa das condições locais e das necessidades específicas das plantas (El-Nakhlawy *et al.*, 2018; Comas *et al.*, 2019)

4.3.9 – Altura de plantas (AP)

A altura da planta é um aspecto essencial do crescimento da cultura e é influenciada por fatores ambientais. Estudos destacam a importância de considerar tanto os fatores genéticos quanto ambientais quando se analisa o fenótipo de altura das plantas de feijão-mungo (Hossain *et al.*, 2018; Noletto *et al.*, 2023). Estratégias de melhoramento podem focar na seleção de genótipos que, quando combinados com as práticas agronômicas adequadas, resultam em plantas com altura desejável para facilitar tanto a eficiência da produção quanto a colheita. Os resultados para a característica altura de plantas (figura 20) das linhagens de mungo estudadas foi de 36 cm na L40, 48 cm na L100 e 71 cm na L160.

Com o aumento do percentual de água disponível, têm-se um aumento linear crescente na altura das plantas. Observa-se uma redução de 50% para AP entre a L160 e a L40. Resultados semelhantes foram observados Mahajan *et al.* (2023), que registraram valores de 35,1 cm e de 61,3 cm sem estresse hídrico para a cultivar Celera II-AU, mantida durante o dia/noite em temperaturas de 35 e 25 °C, respectivamente. Em concordância foram os trabalhos de Christian *et al.* (2023), Silva *et al.* (2019) e Duque *et al.* (1987), onde verificaram que todas as cultivares testadas, apresentaram boa altura de plantas (51 a 72 cm). Nas condições em que foram conduzidos os experimentos, observaram que a maioria das cultivares apresentaram porte ereto e/ou semiereto, e somente duas cultivares mostraram um grau de acamamento mais acentuado, que, contudo, não dificultou a colheita das vagens.

Vieira *et al.* (2003) pesquisando o cultivo de linhagens e cultivares de feijão-mungo-verde no verão em Viçosa e em Prudente de Moraes, verificou altura de plantas de 69 a 122 cm. Registraram neste ensaio um aumento no acamamento das plantas, devido principalmente aos maiores portes. Segundo os autores a localização alta das vagens na planta permite a colheita mecanizada, sendo, portanto, necessário a utilização de dessecante, uma vez que o mungo mantém a folhagem no período de maturação das vagens.

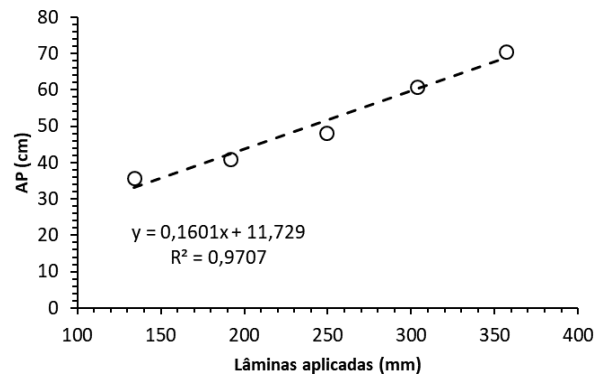


Figura 20. Altura de plantas (AP) de duas linhagens de feijão-mungo em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina, PI, 2022.

Bag *et al.* (2020) em seus estudos na Índia, não verificaram efeito da época de semeadura e dos regimes de irrigação sobre a altura de plantas. A altura média registrada foi de 53,55 cm. Entretanto, valores inferiores foram observados por Lin; Alves (2002) quando estudaram o comportamento de linhagens de mungo em sequeiro, onde encontraram altura média de plantas com 45, 29 e 56 cm, nos três experimentos pesquisados, respectivamente. Esses valores segundo os autores refletiram no produtividade de grãos, principalmente devido à dificuldade da colheita. Vieira *et al.* (2011) avaliando o desempenho do feijão-mungo-verde, semeado no inverno, na Zona da Mata de Minas Gerais, a 400 (Oratórios) e 720 m (Coimbra) de altitude, verificaram que AP foi maior em Oratórios (62,4 cm) do que em Coimbra (37,1 cm). Pesquisa com genótipo gaziantep de feijão-mungo cultivado sob irrigações deficitárias, registraram AP de 21,2 cm para o tratamento I0 (sem irrigação) a 56,8 I100 (irrigação plena) (GÖLGÜL *et al.*, 2022).

Para maximizar o produtividade é preciso lembrar que o grão do feijoeiro é consequência do hábito de crescimento, do ciclo de vida, do ambiente, do sistema de produção, das práticas agrícolas de manejo, dentre outros. Além dos genes reguladores de crescimento, condições ambientais e níveis de irrigação, a densidade de plantas pode ocasionar também esse aumento no porte das plantas, uma vez que existe uma competição entre as plantas por água, nutrientes e raios solares para obtenção dos fotossintados (Cardoso; Melo, 2023).

4.3.10 – Índice de área foliar (IAF)

O índice de área foliar (IAF) é definido como a área foliar total por unidade de

área de solo. Um IAF alto indica que o dossel está mantendo mais folhas dentro de uma determinada área de solo, o que pode aumentar a área de superfície para a interceptação radiação fotossinteticamente ativa (Taiz; Zeiger, 2017). De acordo com a figura 21, a aplicação de 133,8 mm de água resultou em um IAF de 1, em contraste com a imposição de 357 mm, que atingiu um IAF de 1,9. Essa variação entre a maior e a menor lâmina refletiu em uma redução de 47,6%. Ainda de acordo com os resultados, verificou-se um IAF correspondeu a 1,3 para a lâmina L100 (249 mm). Resultados análogos foram obtidos por El-Nakhlawy *et al.* (2018), que reportaram valores de IAF variando de 1,01 a 1,51, para os regimes de irrigação de 70 e 100%, respectivamente. Igualmente De costa *et al.* (1999), averiguando a determinação da produtividade do feijão-mungo sob diversos regimes de irrigação nas regiões seca e zonas intermediárias do Sri Lanka, registraram IAF de 1,78 para o tratamento com imposição da lâmina deficitária no florescimento e 0,98 para o déficit imposto no período vegetativo.

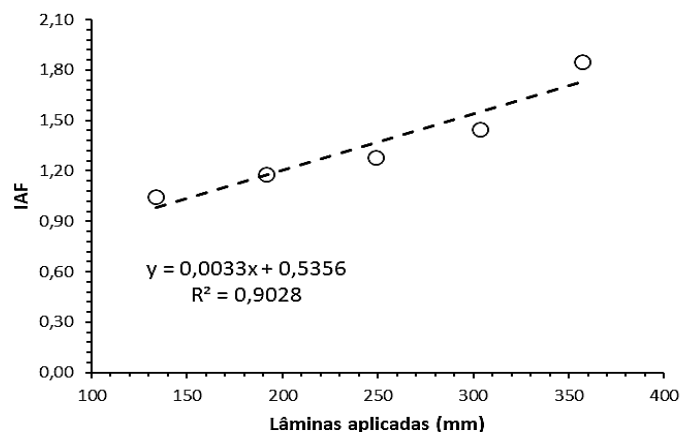


Figura 21. Índice de área foliar (IAF) de duas linhagens de feijão-mungo em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina, PI, 2022.

Bastos *et al.* (2011) avaliando déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi, registraram uma redução de 20% no IAF. A presença de um Índice de Área Foliar (IAF) baixo implica que há menos área foliar disponível para captar a luz solar, o que pode limitar a fotossíntese e, conseqüentemente, a produção de biomassa (MAGALHÃES, 1979). Estudos de Pannu; Sing (1993) observaram que um estresse hídrico leve, promoveu a floração, o desenvolvimento de vagens, uma maior eficiência do uso da água, a taxa de crescimento da cultura, componentes de produtividade e o índice de área foliar em mungo. Os autores relataram uma variação linear positiva

no IAF de 1 a 4, para o regime I₃₀₀ (aplicação de 225 mm). De outra maneira Christian *et al.* (2023), estudando os efeitos da variedade e densidade de plantio na ecofisiologia e produtividade do feijão-mungo no sudeste dos EUA, registraram valores de IAF variando de 4,15 a 5,36, valores estes superiores aos encontrados na presente pesquisa.

4.3.11 – Eficiência no uso da água (EUA)

A figura 22 apresenta os resultados sobre a eficiência no uso da água (EUA), que decresceu de 0,36 para 0,31 kg m⁻³, para os volumes de 133,8 mm e 357 mm aplicados, respectivamente. Geralmente, com a redução do suprimento de água aumenta-se a EUA, porque sob condições de déficit hídrico, a maioria das plantas usa sabiamente a água de irrigação. Slam *et al.* (2021) investigando mudanças físico-químicas do feijão-mungo em respostas a diferentes regimes de irrigação, encontraram EUA de 3,79 a 4,14 kg ha⁻¹ mm⁻¹, com a aplicação das lâminas de 169 a 277 mm. Em contrapartida, El-Nakhlawy *et al.* (2018) observaram valores de EUA superiores aos apresentados na presente pesquisa. Os autores registraram valores de 6,32 e 6,81 kg ha⁻¹ mm⁻¹, o que resultou em produtividades de 2,4 e 2,6 t ha⁻¹. Produtividades estas correspondentes a aplicações de lâminas de 70% (386 mm) e 100% da ET_c (413 mm), via sistema de irrigação por gotejamento.

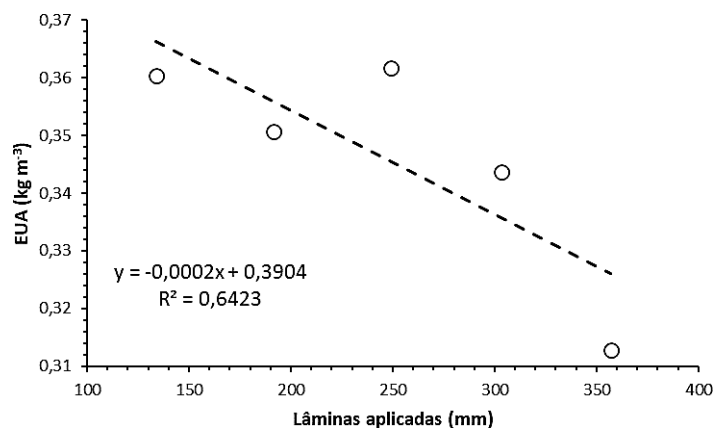


Figura 22. Eficiência no uso a água de duas linhagens de feijão-mungo em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina, PI,2022.

Estes resultados expressam o potencial produtivo da cultura, quando atendidas as condições de fertilidade do solo, clima e suprimento hídrico. Gölgül *et al.* (2022)

investigando componentes de produção em feijão-mungo cultivado sob irrigação deficitária na Universidade de Ercyies-Turquia, encontraram valores decrescentes de EUA de 0,50 a 0,35 kg m^{-3} , para os níveis de irrigação de 25% a 100% da CC. Esses resultados estão de acordo com os encontrados na presente pesquisa. Segundo Souza *et al.* (2016), a eficiência de uso da água tende a diminuir com o aumento da lâmina de irrigação porque esses fatores são inversamente proporcionais. A utilização da irrigação no cultivo de feijão-caupi deve ser realizada com manejo adequado, ou seja, os cultivares respondem à irrigação até certa lâmina que, neste caso foi, para a BRS Novaera, com a lâmina de 94% ETc (199 mm) e a BRS Guariba com 74% ETc (157,27 mm) sendo, então, desperdício, a utilização de lâmina superior a essas (Locatelli *et al.*, 2014).

4.3.12 – Eficiência no uso da água (EUA) x Produtividade (PGC)

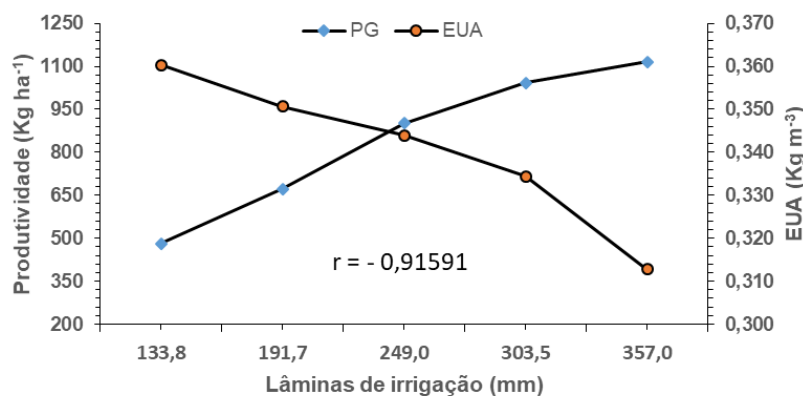


Figura 23. Eficiência no uso da água versus produtividade de grãos de duas linhagens de feijão-mungo em função do aumento das lâminas de irrigação. Teresina, PI, 2022.

Na figura 23 apresenta-se a alta correlação negativa entre produtividade de grãos versus de irrigação versus PGC e EUA. Nota-se que à medida que se eleva o suprimento de água para as plantas, a produtividade de grãos teve uma resposta linear sempre crescente, por outro lado, ocorreu o inverso com a EUA, que decresceu com o aumento percentual das lâminas aplicadas. O ponto de intersecção entre as duas variáveis se deu com a aplicação de 245 mm, resultando em uma produtividade de grãos de 850 kg ha^{-1} . Do ponto de vista econômico e ambiental esse nível representa a lâmina recomendada para as condições da presente pesquisa, uma vez que a partir desta, a eficiência no uso da água decresce linearmente. Estes resultados evidenciam como a cultura responde à disponibilidade de água em termos de produção de grãos. No entanto, a relação entre a aplicação de água e a

produtividade de grãos deve ser analisada em conjunto com os custos associados, levando em consideração os custos diretos e indiretos da água utilizada. Dessa forma, a irrigação só deve ser realizada quando a relação custo-benefício for positiva (Andrade Júnior *et al.*, 2018), ou seja a, eficiência do uso da água é um indicador de viabilidade econômica da aplicação de água na irrigação em uma determinada cultura. Sendo que, quando a lâmina de irrigação que proporciona a maior produtividade de grãos da cultura for maior que a lâmina que proporciona a maior eficiência do uso da água, esta primeira só deve ser aplicada quando a água não é um fator limitante na produção ou possuir um baixo custo (Andrade Júnior *et al.*, 2002).

Rocha *et al.* (2021) relatam que a produtividade de grãos é uma característica complexa, muito influenciada pelo meio ambiente, sobretudo o déficit hídrico, envolve praticamente todos os genes da planta e, portanto, depende do resultado da expressão de várias características, tais como floração, altura da planta e massa do grão.

5. CONCLUSÕES

A redução na disponibilidade hídrica no solo, causou diminuição em todas as variáveis estudadas.

Não houve diferenças significativas para produtividade de grãos entre as duas linhagens de feijão-mungo-verde com a imposição da diferenciação das lâminas de irrigação.

A aplicação da lâmina 247mm, correspondente a 110% da evapotranspiração de referência para o feijão-mungo, resultou na eficiência máxima do uso da água. O incremento de água acima desse nível só deve ser efetuado se a água não for um fator limitante na região.

6. REFERÊNCIAS

- ALI, R.; MUHAMMAD, S. M.; RAHAT, S.; MADIHA, H.; WARDA, J.; CHENG, Z.; HUA, C.; ZHONG-HUA, C.; KADAMBOT, H. M.; SIDDIQUE. W. ZHUANG., RAJEEV, K. VA. Developing drought-smart, ready-to-grow future crops. **The Plant Genome**. v. 16, n. 1 p. 1-37, 2022.
- ALLEN, R. G. PEREIRA L. S.; DIRK P., MARTIN S.; Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation Drainage. Report modeling and application. **Journal of Hydrology**. v. 285. p. 19-40, 1998.
- ALVES, S. M.; MENEZES JUNIOR, J. A.; RAMOS, L. G.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D. **ENCONTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIAS AGROSSUSTENTÁVEIS, II.; JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 7.**, 2018. Sinop, MT. Resumos... Sinop, MT: Embrapa Agrossilvipastoril, p. 61-64, 2018. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1139359>.
- AMBACHEW, S.; ALAMIREW, T.; MELESE, A. Performance of mungbean under deficit irrigation application in the semi-arid highlands of Ethiopia, **Agricultural Water Management**, v.136, p. 68-74, 2014.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS E. A.; RIBEIRO, V. Q.; LOPES, A. S.; SILVA, M. V. P.; SILVA, J. F. **Produtividade de colmos e eficiência do uso de água em cultivares de cana-de-açúcar em gotejamento subsuperficial**. Comunicado Técnico, n. 244 - Embrapa Meio-Norte. 12p, 2018.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H.; 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, 2002.
- ARAUJO, R. F.; ZONTA, J. B.; ARAUJO, E. F.; HEBERLE E.; ZONTA, F. M. G. Teste de condutividade elétrica para sementes de feijão-mungo-verde. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 123-130, 2011.
- BAG, H.; MUKHERJEE, A.; BHOI, L. Effect of Date of Sowing and Irrigation Regimes

on Growth and Yield of Mung Bean. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**. v. 9, n. 8, p. 1274-1281, 2020.

BASHANDI, Moheb MH; POEHLMAN, JM t. Photoperiod response in mungbeans (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). **Euphytica**, v. 23, n. 3, p. 691-697, 1974

BASHIR, A. M.; RAZA, Q. U. A.; ALI RAZA, H. M.; SIAL M. U.; REHIM, A.; ALI KHAN, K. F.; WASIF, M. Key Aspects of plant hormones in agricultural sustainability under climate change. **IntechOpen**, 214 p, 2022.

BEZERRA, A. A. DE C.; NEVES, A. C.; ALCÂNTARA NETO, F. de; SILVA JÚNIOR, J. V. da. Morfofisiologia e produção de feijão-caupi, cultivar brs novaera, em função da densidade de plantas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 4, p. 135-141, 2014.

BHUPENDRA, K.; SITARAM; RIZVI, G. Physiology of yield determination of Mungbean (*Vigna radiata* L.) Genotypes to Irrigation at Various Growth Stages in Bundelkhand Region, Jhansi, Uttar Pradesh, India, **Indian Journal of Pure and Applied Bioscience**. v. 6, n. 2, p. 1460-1466, 2018.

BUDAK, H.; KANTAR, M.; KURTOGLU, K. Y. Drought tolerance in modern and wild wheat. **The Scientific World Journal**. v. 10, 2013.

CARBONELL S. A. M.; CHIORATO A. F.; BEZERRA L. M. C. **A planta e o grão de feijão e as formas de apresentação aos consumidores**. In Ferreira C and Barrigossi J (eds) Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar. Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, p. 101-116, 2021.

CARDOSO, M. J.; MELO, F. B. **Performance de uma linhagem elite de feijão-mungo em arranjos de plantas e espaçamentos entre linhas na microrregião de Teresina**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 150 - Embrapa Meio-Norte. 18p, 2023.

CHAUHAN, Y. S.; WILLIAMS, R. Physiological and Agronomic Strategies to Increase Mungbean Yield in Climatically Variable Environments of Northern Australia.

Agronomy, v. 8, n. 6, p. 83, 2018.

CHEN, S.; QIN, L.; XIE, L.; YU, Q.; CHEN, Y.; CHEN, T.; LU, H.; XIE, J. Physicochemical characterization, rheological and antioxidant properties of three alkali-extracted polysaccharides from mung bean skin. **Food Hydrocolloids**, v. 132, p. 107867, 2022.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. "Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água". **Bahia Agrícola**, Salvador, v. 7, n. 1, p. 57-60, 2005.

CHOUHAN, S.; KUMARI, S.; KUMAR, R.; CHAUDHARY, P. L. Climate Resilient Water Management for Sustainable Agriculture. **International Journal of Environment and Climate Change**, v. 13, n. 7, p. 411–426, 2023.

CHRISTIAN, J.; HUI, D.; KAUR, N.; KIEFFER, C.; MOGHADDAM, S.; TOURAY, A.; BORLAY J.; BLAIR, M. W.; MENTREDDY, S. R.; TEGEGNE, F.; ILLUKPITIYA, P. Effects of Variety and Planting Density on Mung Bean Eco-Physiology and Yield in the Southeastern US. **Agricultural Sciences**, v. 14, n. 7, p. 898-914, 2023.

COMAS, L. H.; TROUT, T. J.; DEJONGE, K. C.; ZHANG, H.; GLEASON, S. M. Water productivity under strategic growth stage-based deficit irrigation in maize. **Agricultural Water Management**, v. 212, p. 433-440, 2019.

CONSOLI, S.; O'CONNELL, N.; SNYDER, R. Measurements of light interception by orange orchard canopies: the case study of Lindsay. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 132, p. 9-20, 2006.

DHALIWAL, S. S.; SHARMA, V.; SHUKLA, A. K.; KAUR, M.; KAUR, J.; VERMA, V.; HOSSAIN, A. Biofortification of mungbean (*Vigna radiata* L. (Wilczek)) with boron, zinc and iron alters its grain yield and nutrition. **Scientific Reports**, v. 13, n. 1, 2023.

DIKR, W. Mung Bean (*Vigna radiata* L.) Production Status and Challenges in Ethiopia, Global. **Academic Journal of Agriculture and Biosciences**; v. 5, p. 13-22, 2023.

DOURADO, L. G. A. **Irrigação e adubação potássica no crescimento e produção do girassol**. Universidade Federal de Mato Grosso. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Rondonópolis, MT, 78p, 2015.

DUQUE, F. F.; PESSANHA, G. G. Comportamento de dez cultivares de mungo-verde nos períodos das águas e da seca em condições de campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 7, p. 963-969, 1990.

DUQUE, F. F.; PESSANHA, G. G.; QUEIROZ, P. H. S. Estudo preliminar sobre o comportamento de 21 cultivares de feijão mungo em Itaguaí-RJ. **Pesquisa Agropecuária**, v. 22, n. 6, p.593-598, 1987.

EBRAHIMI P.; SHOKRAMRAJI Z.; TAVAKKOLI S.; MIHAYLOVA D.; LANTE A. Chlorophylls as Natural Bioactive Compounds Existing in Food By-Products: A Critical Review. **Plants**. v. 12, n. 7, 2023;

EL-NAKHLAWY S. F.; BASAHI M. ANDJALAL ISMAIL M. SALEH. Optimizing mungbean productivity and irrigation water use efficiency through the use of low water-consumption during plant growth stages. **Legume Research**. v. 41, n. 1, p. 108-113, 2017.

FONTES, J. R. A., ATROCH, L., DE MORAIS, R. R. **Influência da Densidade de Plantas de Feijão-Mungo-Verde no Crescimento de Capim-Camalote**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 49 - Embrapa Amazônia Ocidental. 16p, 2023.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por aspersão; uniformidade e eficiência**. Serie Didática. Depto Engenharia Rural. n. 3, p. 1-53, 1992.

FULLER, D. Q., HARVEY, E. L. The Archeobotany of Indian Pulses: Identification, Processing and Evidence for Cultivation. **Environmental Archeology**, v. 11, n. 2, p. 219-246, 2006.

GARCÍA-TEJERO, I. F.; DURÁN-ZUAZO, V. H. Plant Water Use Efficiency for a Sustainable Agricultural Development. **Agronomy**, v. 12, n. 1806, 2022.

GAYACHARAN, A., S.; GUPTA, K.; GUPTA, V., TYAGI, V., SINGH, K. Mungbean Genetic Resources and Utilization. In: Nair, R., Schafleitner, R. and Lee, S.-H., Eds., The Mungbean Genome. **Compendium of Plant Genomes**, p.9-25, 2020.

GEETIKA, G.; HAMMER, G. L.; SMITH, M.; SINGH, V.; COLLINS, M. J.; MELLOR, V.; RACHAPUTI, R. C. Canopy and reproductive development in mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Crop and Pasture Science*. v. 72, n. 10, p. 1142–1155, 2022.

GÖLGÜL, İ.; KIRNAK, H.; ALI İRIK, H. Yield Components and Crop Water Stress Index (CWSI) of Mung Bean Grown Under Deficit Irrigations. **Gesunde Pflanzen**, v. 75, n. 2, p. 271–281, 2022.

GOMES, A. A.; ARAÚJO, A. P.; ROSSIELLO, R. O. P.; PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e produtividade de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1927-1937, 2000.

HUPPERTZ, M.; MANASA S. L.; KACHHAP, D.; DALAI, A.; YADAV, N.; BABY, D.; KHAN, M. A.; BAUER, P.; PANIGRAHI, KISHORE, C. S. Exploring the potential of mung bean: From domestication and traditional selection to modern genetic and genomic technologies in a changing world. **Journal of Agriculture and Food Research**. v.14, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FEIJÃO E PULSES. **Tudo sobre feijão-mungo**. Disponível em: <https://www.ibrafe.org/artigo/tudo-sobre-feijao-mungo>. Acessado em: 15 de outubro de 2023.

ISLAM, M. R., HOSSAIN, A., HOSSAIN, J.; ALAM, M. A.; AKHTER, M.; EL SABAGH, A.; AONTI, A. J.; ISLAM, M. S. Assessing the Productivity and Water Use Efficiency of Two Summer Mungbean (*Vigna radiata* L.) Genotypes Grown Under Drought Stress Condition. **Journal of Crop Health**. v. 76, p, 499-506, 2024.

ISLAM, M. R.; KAMAL, M. M.; ALAM, M. A.; HOSSAIN, J.; SOUFAN, W.; SKALICKY,

M.; BRESTIC, M.; HABIB-UR-RAHMAN, MUHAMMAD.; EL SABAGH, AYMAN.; ISLAM, M. S. Physiochemical changes of Mung bean [*Vigna radiata*(L.) R. wilczek] in responses to varying irrigation regimes. **Horticulturae**. v.7, n. 12, p. 565, 2021.

JANNAT, O. **Short term waterlogging effect on mungbean**. Thesis. Faculty of Agriculture Sher-e-Bangla Agricultural University, Dhaka. 106p, 2020.

KAHRAMAN, A.; Adali, M.; Onder, M.; Koc, N.; Kaya, C. Mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] as human food. **International Journal of Agriculture and Economic Development**, v. 2, n. 2, p. 9, 2014.

KAUR, R.; BAINS, T. S.; BINDUMADHAVA, H.; NAYYAR, H. Responses of mungbean (*Vigna radiata* L.) genotypes to heat stress: Effects on reproductive biology, leaf function and yield traits. **Scientia Horticulturae**. v. 197, p. 527-541, 2015.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, v. 3, n. 5, p. 86-96, 1990.

KERES, G.; SILVA, E.; OLIBONE, D.; PIVETTA, L.; OLIBONE, A. Desempenho de feijoeiro mungo em densidades populacionais e espaçamento entre linhas no Mato Grosso. **Scientia Agraria Paranaensis**. v. 18, n. 3, p. 251-258, 2020.

LAMBRIDES, C. J.; GODWIN, I. D. Mungbean. In: Chittarajan, K., **Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants - Pulses, Sugar and Tuber Crops**. v. 3: p. 69-90, 2006.

LEVINSH, G. Water Content of Plant Tissues: So Simple That Almost Forgotten? **Plants**, v. 12, n. 6, p. 1238-1238, 2023.

LIN, S. S.; ALVES, A. C. Comportamento de Linhagens de Feijão-mungo (*Vigna radiata* L.) em Santa Catarina. **Ciência Rural**. v. 32, n. 4, p. 553-558, 2002.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency

of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. **Scientia Horticulturae**, v. 102, n. 1, p.15-27, 2004.

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.

MADRIZ ISTURI, P. M; LUCIANI MARCANO, J. F. Caracterización agronómica de 20 cultivares de frijol mungo, *Vigna radiata* (L.) Wilczek, en tres épocas de siembra, en Maracay, estado Aragua, Venezuela. **Revista de la Facultad de Agronomía**, Caracas. v. 21, n. 1, p. 19-35, 2004.

MAGALHÃES, A. C. N. Fotossíntese. In: Ferri, M.G. (Coord.). *Fisiologia vegetal*, v.1. São Paulo: EPU/Ed. USP. 1979. p.117-163.

MAHAJAN, G.; WENHAM, K.; CHAUHAN, B. S. Mungbean (*Vigna radiata*) Growth and Yield Response in Relation to Water Stress and Elevated Day/Night Temperature Conditions. **Agronomy**, v. 13, n. 10, p. 1-9, 2023.

MARISCAL, M. J.; ORGAZ, F.; VILLALOBOS, F. J. Radiation-use efficiency and dry matter partitioning of a young olive (*Olea europaea*) orchard. **Tree Physiology**, v. 20, p. 65-72, 2000.

MBEYAGALA, K. E., AMAYO, R.; OBUO, J. P.; PANDEY, A. K.; WAR, A. R.; NAIR, R. M. A manual for mungbean (greengram) production in Uganda. **National Agricultural Research Organization (NARO)**, v. 32, 2017.

MIRANDA, G. V.; SANTOS, I. C.; PELUZIO, J. M.; SANTOS, G. R. Avaliação do feijão-mungo (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) e do feijão-arroz (*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & Ohashi) em diferentes populações de plantas. **Revista Ceres**, v. 44, n. 251, p. 241-248, 1997.

MIRANDA, G. V.; SANTOS, I. C.; PELUZIO, J.M.; BESSA, J. C. A.; COIMBRA, R.R.

Comportamento de linhagens de feijão-mungo no sul do Estado do Tocantins. **Horticultura Brasileira**, v. 14, n. 2, p. 148-51, 1996.

MMBANDO, F.; MBEYAGALA, E.; BINAGWA, P.; KARIMI, R.; OPIE, H.; OCHIENG, J.; MUTUOKI, T.; NAIR, R.M. Adoption of Improved Mungbean Production Technologies in Selected East African Countries. **Agriculture**. v. 11, n. 528, 2021.

MOGOTSI, K. K. *Vigna radiata* (L.) R. Wilczek. In: Brink, M. & Belay, G. (Editors). PROTA 1: **Cereals and pulses/Céréales et légumes secs**. [CD-Rom]. PROTA, Wageningen, Netherlands, 2006.

MUCHOW, R. C.; ROBERTSON, M. J.; PENGELLY, B. C. Radiation-use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different environmental conditions, **Field Crops Research**, v. 32, n. 2, p. 1-16, 1993.

MUÑOZ-HUERTA R. F.; GUEVARA-GONZALEZ R. G.; CONTRERAS-MEDINA L. M.; TORRES-PACHECO I.; PRADO-OLIVAREZ J.; OCAMPO-VELAZQUEZ RV. A Review of Methods for Sensing the Nitrogen Status in Plants: Advantages, Disadvantages and Recent Advances. **Sensors**. v. 13, n. 8, p. 10823-10843, 2013.

NAIR, R. M.; PANDEY A. K.; WAR A. R.; HANUMANTHARAO B.; SHWE T.; ALAM A.; PRATAP A.; MALIK S. R.; KARIMI R.; MBEYAGALA E. K.; DOUGLAS C. A.; RANE J.; SCHAFLEITNER R. Biotic and Abiotic Constraints in Mungbean Production - Progress in Genetic Improvement. **Frontiers in Plant Science**. v. 10, 2019.

NALAMPANG, A. **Grain legumes in the tropics**. Bangkok, Department of Agriculture, 98p, 1992.

NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. (2011). Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, v. 15, n. 8, p. 853–860, 2011.

NAZRAN, A.; AHMED, J.; KARIM, A.; GHOSH, T. Physiological responses of mungbean (*Vigna radiata*) varieties to drought stress. **Bangladesh Journal of**

Agricultural Research, v. 44, n, 1, p. 1–11, 2019.

NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. M.; FIDELES FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 437-443, 2001.

NOLETO, M. P.; MENEZES JÚNIOR, J. Â. N.; OLIBONE, D.; GOBBI, S. D.; PIVETTA, L. G.; SILVA, K. J. D. Adaptability and stability of mungbean genotypes in the Mid-North of Mato Grosso, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 47, 2023.

PANNU, R. K.; SINGH, D. P. Effect of irrigation on water use, water-use efficiency, growth and yield of mungbean. **Field Crops Research**. v. 31, n. 1-2, p. 87-100, 1993.

PASLEY, H.; WENHAM, K.; BELL, L.; HUTH, N.; HOLZWORTH, D.; CHAKI, A.; GAYDON, D.; COLLINS, M. APSIM next generation mungbean model: A tool for advancing mungbean production. **Field Crops Research**. v. 298, 2023.

PEREIRA, C. S.; VILLA NETO, R. D.; FIORINI, I. V. A.; PONTELO, L.; SILVA, A. A. Doses de nitrogênio e níveis de irrigação em feijão mungo (*Vigna radiata*L.). **Tecnológica**. v. 23, n. 1, p. 63-69, 2019.

PINHO, J. L. N.; TÁVORA, F. J. A. F.; GONÇALVES, J. A. **Aspectos Fisiológicos**. IN: FREIRE FILHO, F. R; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed). Feijão-Caupi – **Avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa informação Tecnológica. p.192-210, 2005.

POEHLMAN, J. M. What we have learned from the International Mungbean Nurseries. In: **The 1st International Mungbean Symposium**. AVRDC, 1978.

POHLMANN, V.; LAGO, I.; LOPES, S. J.; ZANON, A. J.; STRECK, N. A.; MARTINS, J. T. D. S.; CAYE, M.; BITTENCOURT, P. N.; SANTANA, V. F. K.; PORTALANZA, D. Water deficit tolerance of bean cultivars. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, 2022.

PRATAP A., KUMAR S., POLOWICK P. L., BLAIR M., W., BAUM M. Accelerating Genetic Gains in Pulses. **Frontiers in plant science**. V.13, 2022.

PRATAP, A., GUPTA, S., BASU, S., TOMAR, R., DUBEY, S., RATHORE, M.; SINGH, P.; KUMARI, G.; PRAJAPATI, U. S.; SINGH, P.; KUMARI, G. Towards development of climate smart mungbean: challenges and opportunities. **Genomic designing of climate-smart pulse crops**, p. 235-264, 2019.

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, p. 33-47, 2005.

RACHAPUTI, R.C.N; CHAUHAN, Y.; DOUGLAS, C.; MARTIN, W.; KROSCH, S.; AGIUS, P.; KING, K. Physiological basis of yield variation in response to row spacing and plant density of mung bean grown in subtropical environments. **Field Crops Research**. v.183, p. 14–22, 2015.

RACHAPUTI, R. C. N.; SANDS, D.; MCKENZIE, K.; LEHANE, J. AGIUS, P.; SEYOUM, S.; PEAK, A. "Water extraction patterns of mungbean (*Vigna radiata*) in diverse subtropical environments," **Agricultural Water Management**. v. 219, p. 109-116, 2019.

RAHIM, F. S., KHAN, D. G., HAMEED, F., ULLAH, W. Effect of Deficit Irrigations and Sowing Methods on Mung Bean Productivity. **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**, v. 4, p. 76-83, 2014.

RAM, H.; SINGH, G.; AGGARWAL, N.; SEKHON, H. Effect of sowing methods, nutrients and seed rate on mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) growth, productivity and water-use efficiency. **Journal of Applied and Natural Science**. v. 10, p. 190-195, 2018.

RATNASEKERA, D.; SUBHASHI, AP. Morpho-Physiological Response of Selected Mungbean (*Vigna radiata* L.) Sri Lankan Genotypes to Drought Stress. **Journal of AgriSearch**. n. 2, v. 3. p. 162-166, 2015.

RANAWAKE, A. DAHANAYAKA N., AMARASINGHA U. G. S., RODRIGO W. D. R. J., RODRIGO U. T. D. Effect of water stress on growth and yield of mungbean (*Vigna radiata* L.). **Tropical Agricultural Research and Extension** v. 12, n. 4, 2011.

RAO C. N.; RACHAPUTI, D. S.; KERRY M., JOHN LEHANE, P. A.; SOLOMON S., ALLEN P., Water extraction patterns of mungbean (*Vigna radiata*) in diverse subtropical environments. **Agricultural Water Management**, v. 219, p. 109-116, 2019.

RAZA M. H.; SADOZAI, G. U.; BALOCH, M.S.; KHAN, E.A.; DIN, I; WASIM, K. Effect of irrigation levels on growth and yield of mungbean. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 11, n. 10, p. 876–879, 2012.

RO, S.; ROEURN, S.; SROY, C.; PRASAD, P.V.V. Agronomic and Yield Performance of MaizeMungbean Intercropping with Different Mungbean Seed Rates under Loam y Sand Soils of Cambodia. **Agronomy**. v.13, n. 5, 2023.

SADEGHIPOUR, O. Effect of withholding irrigation at different growth stages on yield and yield components of Mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) varieties. **American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences**. n. 4. p. 590-594, 2008.

SALEH, S.; LIU, G.; LIU, M.; JI, Y.; HE, H.; GRUDA, N. Effect of Irrigation on Growth, Yield, and Chemical Composition of Two Green Bean Cultivars. **Horticulturae**. v.4, n. 3, 2018.

SHANMUGASUNDARAM, S. Exploit mungbean with value-added products. **Acta Horticulturae**. v. 752, n. 2, p.99-102, 2007.

SHARMA, L.; PRIYA, M.; BINDUMADHAVA, H.; NAIR, R. M.; NAYYAR H. Influence of high temperature stress on growth, phenology and yield performance of mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] under managed growth conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 213, p. 379-391, 2016.

SILVA, E. C.; PEIXOTO, N.; ARRUDA, N.; FERREIRA, N. C F.; OLIVEIRA, L. A. B. Yield and development of mung bean according to the plant density. **Journal of Neotropical Agriculture**. v. 6, n. 4, p. 14-20, 2019.

SINGH, R. Thesis. **Development of iron and zinc enriched mungbean (*Vigna radiata* L.) cultivars with agronomic traits in consideration**, 175p, 2013.

SHRESTHA, S.; VAN 'T HAG, L.; HARITOS V. S.; SUSHIL, D. Lentil and Mungbean protein isolates: Processing, functional properties, and potential food applications. **Food Hydrocolloids**. v. 135, 2023

SNAK, C.; DELGADO-SALINAS, A. *Vigna in Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB620410>>. Acesso em: 06 nov. 2023.

SOSIAWANL, H.; ADIL, S. H.; YUSUF. W. A. IOP Conference Series: **Earth and Environmental Science**. 648p, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TANG, D.; DONG, Y.; REN, H.; LI, L.; HE, C. A Review of Phytochemistry, Metabolite Changes, and Medicinal Uses of the Common Food Mung Bean and Its Sprouts (*Vigna radiata*). **Chemistry Central Journal**. v. 8, n. 4, 2014.

United Nations World Water Assessment Programme (WWAP). **The United Nations World Water Development Report: Valuing Water**; UNESCO: Paris, France, 206p, 2021.

VIEIRA R. F.; OLIVEIRA V. R., VIEIRA C. Cultivo do feijão-mungo-verde no verão em Viçosa e em Prudente de Moraes. **Horticultura Brasileira**. v. 21, n. 1, p. 37-43, 2003.

VIEIRA, R. F.; PAULA JÚNIOR, T. J. D., JACOB, L. L., LEHNER, M. S., & SANTOS, J. (2011). Desempenho de genótipos de feijão-mungo-verde semeados no inverno na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 58, p. 402–405, 2011.

DIKR, W. Mung Bean (*Vigna radiata* L.) Production Status and Challenges in Ethiopia, **Global Academic Journal of Agriculture and Biosciences**; v. 5, p. 13-22, 2023.

YANOS, M. H. A.; LEAL, R. C. Mungbean (*Vigna radiata*) as a Source of Income among Farmers. **Journal of Business and Economics Review**, v. 5, n. 1, p. 10-17, 2020.

CARDOSO, M. O, coord. Hortaliças não-convencionais da Amazônia. Embrapa SPI-, Manaus: EMBRAPA-CPAA, p. 53-61, 1997.

WANG, X., FAN, J., XING, Y., XU G., WANG H., DENG J., WANG Y., ZHANG, F., LI, P., LI, Z. The Effects of Mulch and Nitrogen Fertilizer on the Soil Environment of Crop Plants. **Advances in Agronomy**, v. 153, p. 121-173, 2019.

WANG, H.; HUANG, M.; YANG, S. LI, XI., GAO Y., YANG, P., GAO, J., GAO, X. "Study on nutritional characteristics and antioxidant capacity of mung bean during germination. **Czech Academy of Agricultural Sciences**. v. 39, n. 6, p. 469-478, 2021.

ZABOT, L.; DUTRA, L. M. C.; JAUER, A.; LUCCA FILHO, O. A.; UHRY, D.; STEFANELO, C.; LOSEKAN, M. E.; FARIAS, J. R.; LUDWIG, M. P. Análise de crescimento da cultivar de feijão BR IPAGRO 44 Guapo brilhante cultivada na safrinha em quatro densidades de semeadura em Santa Maria-RS. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 3, n. 2, p. 105–115, 2004.

ZHANG, X.; SHANG, P.; QIN, F.; ZHOU, Q.; GAO, B.; HUANG, H.; YANG, H.; SHI, H.; YU, L. Chemical composition and antioxidative and anti-inflammatory properties of ten commercial mung bean samples. **LWT - Food Science and Technology**, v. 54, n.1, p. 171-178, 2013.