

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
MESTRANDO ACADÊMICO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**PRODUTIVIDADE DO USO DE ÁGUA EM CULTIVO ADENSADOS DE
MAMOEIRO TAINUNG 01 EM IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

ITAMAR CARLOS DA SILVA AMORIM

CRUZ DAS ALMAS – BA

2025

**PRODUTIVIDADE DO USO DE ÁGUA EM CULTIVO ADENSADOS DE
MAMOEIRO TAINUNG 01 EM IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

ITAMAR CARLOS DA SILVA AMORIM

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2025.

Dissertação apresentada ao
Colegiado do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia
Agrícola da Universidade Federal
do Recôncavo da Bahia, como
requisito parcial para obtenção do
Título de mestre em Engenharia
Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Eugênio Ferreira Coelho

CRUZ DAS ALMAS – BA

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

A524p	Amorim, Itamar Carlos da Silva. Produtividade do uso de água em cultivo adensados de mamoeiro tainung 01 em irrigação localizada./ Itamar Carlos da Silva Amorim._ Cruz das Almas, Bahia, 2025. 83f.; il. Orientador: Prof. Dr. Eugênio Ferreira Coelho Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrária, Ambientais e Biológicas, Mestre em Engenharia Agrícola. 1.Mamão - Cultivo. 2. Irrigação 3. Cultivo Adensado I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título. CDD: 634.651
-------	---

Ficha elaborada pela Biblioteca Central - UFRB.
Responsável pela Elaboração - Neubler Nilo Ribeiro da Cunha (*Bibliotecário - CRB5/1578*)
(os dados para catalogação foram enviados pelo usuário via formulário eletrônico)

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
MESTRANDO ACADÊMICO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**PRODUTIVIDADE DO USO DE ÁGUA EM CULTIVO ADENSADOS DE
MAMOEIRO TAINUNG 01 EM IRRIGAÇÃO LOCALIZADA**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de
Itamar Carlos Silva Amorim

Documento assinado digitalmente



EUGENIO FERREIRA COELHO

Data: 04/06/2025 13:33:21-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. Eugênio Ferreira Coelho
Embrapa Mandioca e Fruticultura
(Orientador)

Documento assinado digitalmente



DIONEI LIMA SANTOS

Data: 09/06/2025 15:06:23-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. Dionei Lima Santos
IF Baiano – Campus Teixeira de Freitas
(Examinador externo)

Documento assinado digitalmente



FRANCISCO AIRDESSON LIMA DO NASCIMENTO

Data: 07/06/2025 16:36:19-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Dr. Francisco Airdesson Lima Nascimento
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia/UFRB
(Examinador interno)

DEDICATÓRIA

À Deus, pela sua infinita bondade, amor incondicional e por me sustentar nos momentos de adversidade. Aos meus pais, Antonio Carlos Ribeiro de Amorim e Maria Helena Rodrigues da Silva Amorim, pelo apoio em cada etapa da minha jornada. Ao meu irmão, Carlos Zaqueu da Silva Amorim, pelo suporte constante e por estar sempre ao meu lado.

Feliz o homem que acha sabedoria, e o homem que adquire conhecimento.

Aumento de dias há na sua mão direita; na sua esquerda, riquezas e honra.

Provérbios 3: 13 e 16.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola/Núcleo de Engenharia de Água e Solo (NEAS) pela oportunidade de realizar esta formação.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) concessão da bolsa.

A Dr. Eugênio Ferreira Coelho, pela orientação, dando sempre o suporte acadêmico necessário para o desenvolvimento do trabalho acrescentando sempre com suas experiências.

A equipe da irrigação e fertirrigação da Embrapa mandioca e fruticultura (Tarcísio Andrade, Téo, Damiana L. Barros, Lenilson W. F. Lima, Luiz Antônio, José Lopes, Maik, Uigle e junior, pelo apoio no campo, sempre trabalho com bom humor e disposição.

Aos professores do PPGEA, pela formação disciplinar e colegas da UFRB pelos momentos divertidos e colaboração na realização das tarefas.

À Embrapa Mandioca e Fruticultura, pelo espaço, e apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

Cordialmente

Itamar Carlos da Silva Amorim

RESUMO

A utilização de altas densidades de plantio tem se destacado como uma estratégia agrônômica promissora, ao otimizar o uso de recursos hídricos e nutricionais, resultando em incrementos expressivos na produtividade. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes densidades de plantio, associado a dois sistemas de irrigação para a eficiência do uso de água na cultura do mamoeiro cv. Tainung 01. O experimento seguiu delineamento inteiramente casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições. T1 (espaçamento de 3,0 x 1,8 x 1,8, irrigados por microaspersão), T2 (espaçamento de 3,0 x 2,5 m com duas plantas por cova, irrigados por microaspersão), T3 (espaçamento 3,0 x 1,0 m, irrigados por microaspersão), T4 (espaçamento de 3,0 x 2,5 m com duas plantas por cova, irrigados por gotejamento) e T5 (espaçamento 3,0 x 1,0 m, irrigado por gotejamento). Os resultados mostraram que com relação ao crescimento das plantas, a altura foi influenciada significativamente pelos dias após o plantio (DAP), com variações de 1,30 a 2,88 m. Ao analisar a interação entre a densidade de plantio e o sistema de irrigação, observou-se efeito significativos nas variáveis altura de planta, diâmetro do caule, área foliar e índice de área foliar (IAF). Quando utilizou o sistema de irrigação por gotejamento, tanto a densidade de 2667 quanto 3333 plantas por hectare apresentaram os maiores valores de IAF. Não houve diferença significativa na produção por planta, no peso médio de frutos, na produtividade, na circunferência e no comprimento dos frutos, sendo apenas significativo o número de fruto, sendo o T2 o que apresentou maior número de frutos, com 46,95 frutos por plantas. Em relação ao sistema radicular, o tratamento com densidade de 3333 plantas hectare irrigado por microaspersão (T3) apresentou os maiores valores de comprimento total das raízes (CTr) de 400,91 cm e densidade de comprimento das raízes (DCR) de 0,200 cm³ cm⁻³, superando os demais tratamentos. Na avaliação da lâmina aplicada pelos microaspersores, o coeficiente de uniformidade de distribuição por planta (CUDp) foi superior ao CUD total em todas as densidades, indicando melhor distribuição da água nas regiões próximas às plantas.

Palavra-chave: Densidade de plantio, mamoeiro, microirrigação, produção.

ABSTRACT

The use of high planting densities has emerged as a promising agronomic strategy, as it optimizes the use of water and nutritional resources, resulting in significant increases in productivity. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of different planting densities, associated with two irrigation systems, on the efficiency of water use in papaya cv. Tainung 01. The experiment followed a completely randomized design with five treatments and four replications. T1 (spacing of 3.0 x 1.8 x 1.8, irrigated by microsprinkler), T2 (spacing of 3.0 x 2.5 m with two plants per hole, irrigated by microsprinkler), T3 (spacing of 3.0 x 1.0 m, irrigated by microsprinkler), T4 (spacing of 3.0 x 2.5 m with two plants per hole, irrigated by drip) and T5 (spacing of 3.0 x 1.0 m, irrigated by drip). The results showed that regarding plant growth, height was significantly influenced by days after planting (DAP), with variations from 1.30 to 2.88 m. When analyzing the interaction between planting density and irrigation system, significant effects were observed on the variables plant height, stem diameter, leaf area and leaf area index. When using the drip irrigation system, both the density of 2667 and 3333 plants per hectare presented the highest values of these LAI. There was no significant difference in production per plant, average fruit weight, productivity, circumference and length of the fruits, with only the number of fruits being significant, with T2 presenting the highest number of fruits, with 46.95 fruits per plant. In relation to the raticular system, the treatment with a density of 3333 plants per hectare irrigated by microsprinkler (T3) presented the highest values of CTr (400.91 cm) and DCR (0.200 cm³ cm⁻³), surpassing the other treatments. In the evaluation of the water depth applied by the microsprinklers, the coefficient of distribution uniformity per plant (CUDp) was higher than the total CUD in all densities, indicating better water distribution in the regions close to the plants.

Keywords: Planting density, papaya, microirrigation, production.

Sumário

1.1	INTRODUÇÃO.....	12
1.2	OBJETIVO GERAL.....	14
1.3	OBJETIVO ESPECÍFICOS.....	14
1.4	REVISÃO DE LITERATURA	14
1.4.1	Origem e características do mamoeiro	14
1.4.2	Cultivo em adensamento	15
1.4.3	Irrigação na agricultura	16
1.4.4	Irrigação no mamoeiro	18
1.4.5	Sistema radicular	19
1.5	REFERÊNCIAS	21
2	INTRODUÇÃO	30
2.1	MATERIAS E MÉTODOS.....	31
2.1.1	Localização e descrição da área experimental.....	31
2.1.2	Delineamento experimental.....	36
2.1.3	Condução da cultura do mamoeiro	37
2.1.4	Manejo de irrigação.....	38
2.1.5	Fertirrigações do mamoeiro	40
2.1.6	Análise de crescimento da cultura	41
2.1.7	Produtividade e qualidade dos frutos	42
2.1.8	Pegada Hídrica, Produtividade e Eficiência do Uso da Água.....	43
2.1.9	Análises dos dados.....	44
2.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
2.2.1	Crescimento do mamoeiro	44
2.2.2	Produtividade do mamoeiro	50
2.3	CONCLUSÃO.....	55
2.4	REFERÊNCIAS	56
3	INTRODUÇÃO	63
3.1	MATERIAL E MÉTODOS	64
3.1.1	Delineamento experimental.....	69
3.1.2	Coleta de raízes.....	69
3.1.3	Processamento das raízes.....	70
3.2	Resultados e Discursão.....	74
3.3	CONCLUSÃO.....	80
3.4	REFERÊNCIAS	81

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Figura 1. Imagem do google Earth localização da área experimental Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas - BA.....	31
Figura 2. Curva de retenção de água no solo para a camada de 0,00-0,30m (A) e para a camada de 0,30-0,60m (B).	34
Figura 3. Croqui da área experimental do mamoeiro cv. Tainung 01. Sistema de irrigação gotejamento (A) e sistema de irrigação por microaspersão (B).....	37
Figura 4. Altura de plantas do mamoeiro, cv. Tainung 01, ao longo do ciclo, sob diferentes densidades de plantio e sistemas de irrigação. T1: 2314 plantas ha ⁻¹ irrigadas por microaspersor, T2: 2667 plantas ha ⁻¹ , irrigadas por microaspersão, T3: 3333 plantas ha ⁻¹ , irrigadas por microaspersão, T4: 2667 plantas ha ⁻¹ , irrigadas por gotejamento, T5: 3333 plantas ha ⁻¹ irrigadas por gotejamento ...	45
Figura 5. Valores médios do diâmetro do caule (m) do mamoeiro, cv. Tainung 01, com as diferentes densidades de plantio e sistemas de irrigação, ao longo do ciclo. T1 – densidade de 2314 plantas ha ⁻¹ irrigadas por microaspersor, T2 – densidade de 2667 plantas ha ⁻¹ , irrigadas por microaspersão, T3 – densidade de 3333 plantas ha ⁻¹ irrigadas por microaspersão, T4 – densidade de 2667 plantas ha ⁻¹ , irrigadas por gotejamento, T5 – densidade de 3333 plantas ha ⁻¹ irrigadas por gotejamento.....	46
Figura 6. Área foliar do mamoeiro, cv. Tainung 01, ao longo do ciclo, sob diferentes densidades de plantio e sistemas de irrigação. T1 – densidade de 2314 plantas ha ⁻¹ irrigadas por microaspersor, T2 – densidade de 2667 plantas ha ⁻¹ , irrigadas por microaspersão, T3 – densidade de 3333 plantas ha ⁻¹ irrigadas por microaspersão, T4 – densidade de 2667 plantas ha ⁻¹ , irrigadas por gotejamento, T5 – densidade de 3333 plantas ha ⁻¹ irrigadas por gotejamento.	48
Figura 7. Índice de área foliar do mamoeiro, cv. Tainung 01, ao longo do ciclo, sob diferentes densidades de plantio e sistemas de irrigação. . T1 – densidade de 2314 plantas ha ⁻¹ irrigadas por gotejamento, T2 – densidade de 2667 plantas ha ⁻¹ , irrigadas por microaspersão, T3 – densidade de 3333 plantas ha ⁻¹ irrigadas por microaspersão, T4 – densidade de 2667 plantas ha ⁻¹ , irrigadas por gotejamento, T5 – densidade de 3333 plantas ha ⁻¹ irrigadas por gotejamento.	48
Figura 8. Curva de retenção de água no solo para a camada de 0,00-0,30m (A) e para a camada de 0,30-0,60m (B).	66
Figura 9. Registro do processamento das raízes: coleta das raízes na amostra de solo (A); secagem em papel filme (B); Scanner(C) e amostra pronta para digitalização (D).....	71
Figura 10. Disposição dos coletores em torno de um microaspersor instalado no centro da área	73
Figura 11. Avaliação da distribuição da lâmina aplicada em dois períodos distintos, com linhas de coletores cruzando o microaspersor em direção a planta. L1 e L2 Lâmina aplicada pelo microaspersor e LB lâmina calculada ...	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Temperatura (°C), precipitação (mm) e lâmina aplicada de irrigação (mm), durante o período de crescimento e produção do mamoeiro	32
Tabela 2. Macro porosidade (Macro), micro porosidade (Micro), porosidade total (Toal), densidade do solo (Ds) e água disponível (AD) nas diferentes profundidades do solo, da área experimental, Cruz das Almas - BA. 2023	33
Tabela 3. Atributos químicos do solo: SB: soma de bases trocáveis; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases e MO: matéria orgânica antes da instalação do experimento. Cruz das Almas – BA, 2023	35
Tabela 4. Aplicação do nitrogênio e o potássio via fertirrigação, utilizando-se as fontes ureia e nitrato de potássio, para todo experimento	41
Tabela 5. Efeito da interação entre a densidade de plantio e sistemas de irrigação no crescimento do mamoeiro cv. Tainung 01. ALTP- Altura da planta, DIAM- Diâmetro do caule, AF- Área foliar, IAF- Índice de área foliar.	49
Tabela 6. Produção e qualidades de frutos do mamoeiro cv. Tainung 01. NFrutosP – Número de frutos por planta, PPL – Produção por planta, Produt – Produtividade por hectare, Circun – Circunferência dos frutos e Comp – Comprimento dos frutos.	51
Tabela 7. Efeito da interação entre a densidade de plantio e sistemas de irrigação na produção e qualidades de frutos do mamoeiro cv. cv. Tainung 01. NFrutos – Número de frutos, PPL – Produção por planta, Produt – Produtividade por hectare, Circun – Circunferência dos frutos e Com – Comprimento dos frutos.	53
Tabela 8. Produtividade da Água (PROD), Eficiência de Uso da Água (EUA) e Pegada Hídrica (Kg há ⁻¹ mm ⁻¹), no cultivo do mamoeiro, cv. Tainung 01	55
Tabela 9. Temperatura (°C), precipitação (mm) e lâmina aplicada de irrigação (mm), durante o período de crescimento e produção do mamoeiro	65
Tabela 10 Atributos químicos do solo: SB: soma de bases trocáveis; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases e MO: matéria orgânica antes da instalação do experimento. Cruz das Almas – BA, 2023.....	67
Tabela 11. Médias das variáveis comprimento e densidade de raízes de plantas do mamoeiro, cv. Tainung 01	74
Tabela 12. Efeito da interação entre a densidade de plantio e sistemas de irrigação na produção, das variáveis comprimento e densidade de raízes de plantas do mamoeiro, cv. Tainung 01	75
Tabela 13. Distribuição da lâmina total para cada tratamento. Densidade da planta (Dens); lâmina bruta calculada- Lamb, evapotranspiração da cultura- Etc, lâmina média da distribuição de água do microaspersor-Lamd, coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição da água aplicada pelo microaspersor (CUD).	76
Tabela 14. Distribuição da lâmina por planta para cada tratamento em um raio de 0,75m. Densidade da planta (Dens); lâmina aplicada em por planta (Lamppl), porcentagem de lâmina aplicada em relação a lâmina bruta ou calculada por planta (%Lamppl) e coeficiente de uniformidade de distribuição da água aplicada pelo microaspersor por planta (CUDp).....	79

1. INTRODUÇÃO

A cultura do mamoeiro (*Carica papaya* L.), pertencente à família Caricaceae, é de grande importância socioeconômica para diversas regiões tropicais do mundo. Globalmente, a área dedicada ao cultivo do mamão é de aproximadamente 469 mil hectares (FAOSTAT, 2023). No Brasil, essa fruteira apresentou, em 2023, uma produção estimada em 1,14 milhões de toneladas, distribuídas em cerca de 27 mil hectares, com uma produtividade média de 42 t ha⁻¹, resultando em uma receita de R\$ 2,48 bilhões. A Bahia destacou-se como o principal estado produtor, com 355 mil toneladas, superando o Espírito Santo, que registrou produção de 352 mil toneladas (IBGE, 2023).

Apesar do desempenho expressivo, o mamão é uma cultura que requer elevados investimentos em insumos agrícolas e manejo intensivo (SÁ et al., 2013). A produção pode ser severamente afetada por adversidades climáticas, como observado nos anos de 2015 e 2016, quando houve significativa redução da oferta interna devido à escassez de chuvas e temperaturas elevadas (CAMPOSTRINI et al., 2019). Tais desafios são particularmente evidentes no Nordeste brasileiro, onde predominam condições semiáridas, com restrições edafoclimáticas importantes para o cultivo do mamoeiro (MEDEIROS et al., 2012).

Nesse contexto, estratégias de manejo que visem a eficiência no uso dos recursos tornam-se fundamentais. Uma dessas estratégias é o ajuste do arranjo espacial das plantas no pomar, o que pode influenciar diretamente na interceptação de luz, na absorção de nutrientes, no aproveitamento hídrico e na produtividade por unidade de área (SANTOS et al., 2014; LOPES et al., 2021).

A definição da densidade de plantio é um aspecto estratégico que deve levar em consideração diversos fatores, como as características do solo, as condições climáticas, a cultivar utilizada e o sistema de produção adotado. Quando se opta por altas densidades, pode-se incorrer em efeitos negativos, como sombreamento excessivo, intensificação da competição por recursos como água e nutrientes, além do favorecimento ao aparecimento de pragas e doenças e da dificuldade na realização de tratamentos culturais (PORTELA et al., 2012).

Por outro lado, quando a densidade de plantio é muito reduzida, ocorre a subutilização da área cultivada, o que compromete a produtividade por hectare e reduz a eficiência do uso dos recursos disponíveis. Diante disso, torna-se essencial buscar um arranjo espacial que proporcione um equilíbrio entre a maximização da produção e a sustentabilidade do sistema produtivo (FONTES et al., 2010), especialmente em culturas de elevado valor comercial como o mamoeiro.

Além do arranjo espacial, a disponibilidade hídrica é outro fator crítico. O mamoeiro é uma cultura altamente exigente em água, especialmente nas fases de florescimento e frutificação, as quais ocorrem simultaneamente, exigindo um suprimento contínuo de água e nutrientes para garantir o bom desenvolvimento e o potencial produtivo da planta (RAMOS, 2007; FREIRE, 2008; COELHO et al., 2011). Em regiões com déficit hídrico ou precipitação irregular, o uso da irrigação torna-se indispensável, exigindo manejo adequado que considere as condições climáticas, as propriedades do solo, o sistema de irrigação adotado e a qualidade da água (COELHO, 2013).

A aplicação eficiente da água tem sido tema de estudos recentes, visando aumentar a produtividade das culturas sem comprometer os recursos hídricos. A eficiência no uso da água por uma cultura pode ser otimizada com a adoção de sistemas de irrigação localizada, como o gotejamento e a microaspersão, que fornecem água diretamente na zona radicular, minimizando perdas por evaporação e percolação (COELHO et al., 2016; MATOS et al., 1999). Segundo Coelho et al. (2016), nesses sistemas, a percolação abaixo da zona radicular pode variar de 10% a 20%, o que exige atenção quanto ao manejo da lâmina aplicada para evitar perdas.

Diante das incertezas associadas às mudanças climáticas e da crescente importância econômica da irrigação para a agricultura, observa-se uma carência significativa de informações técnicas precisas sobre como adaptar o sistema de irrigação a diferentes níveis de adensamento das culturas, mantendo tanto a alta produtividade quanto a eficiência no uso da água.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito de diferentes densidades de plantio, associado a dois sistemas de irrigação, por gotejamento e microaspersão, na produtividade e na eficiência do uso de água na cultura do mamoeiro cv. Tainung 01.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- I. Avaliar o efeito da densidade de plantio sob sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento no crescimento da cultura do mamoeiro;
- II. Definir um adensamento associado a um sistema de irrigação por microaspersão e gotejamento que maximiza a produtividade da cultura, a produtividade da água de irrigação e a eficiência do uso de água;
- III. Avaliar a distribuição do sistema radicular em cada tratamento e a distribuição da lâmina aplicada por planta para cada tratamento.

1.3 REVISÃO DE LITERATURA

1.3.1 Origem e características do mamoeiro

O mamoeiro (*Carica papaya* L.) pertence à família botânica Caricaceae e apresenta origem ainda incerta. Estudos sugerem que a espécie pode ter se originado na América do Sul, especialmente na bacia Amazônica superior, sendo posteriormente disseminada por navegadores espanhóis durante o período das grandes navegações (SALOMÃO et al., 2007). Pesquisas genéticas indicam que o mamoeiro divergiu de seus parentes próximos há cerca de 25 milhões de anos, consolidando-se como uma espécie distinta dentro da família Caricaceae (COSTA et al., 2013).

Do ponto de vista morfológico, embora seja classificado como planta herbácea, o mamoeiro apresenta características únicas que o diferenciam de outras espécies desse grupo. Trata-se de uma erva gigante, com crescimento rápido e porte que pode ultrapassar os 9 metros de altura, o que o torna singular entre as frutíferas tropicais (MALO; CAMPBELL, 1986). Seu cultivo está amplamente difundido em regiões tropicais e subtropicais, dada sua sensibilidade a baixas temperaturas, que podem comprometer seriamente o desenvolvimento da planta (YADAVA et al., 1990; MAHAJAN et al., 2020).

No Brasil, destaca-se o cultivo do mamoeiro nos tabuleiros costeiros, especialmente nos estados do Espírito Santo e da Bahia. Esses solos, embora amplamente utilizados, apresentam limitações naturais como baixa fertilidade, reduzida capacidade de retenção de água e presença de camadas adensadas, o que favorece o encharcamento superficial, justamente onde se concentra a maior parte do sistema radicular da planta (COELHO et al., 2005).

Entre as cultivares disponíveis no mercado, a 'Tainung 01', pertencente ao grupo Formosa, vem ganhando destaque pela alta produtividade e pelas características comerciais atrativas. Seus frutos apresentam peso médio entre 900 e 1.100 gramas, possuem excelente durabilidade pós-colheita e boa resistência ao transporte, além de serem bastante aceitos pelos consumidores, devido ao sabor doce e aroma suave (MARTINS; COSTA, 2003; RODRIGUES et al., 2021).

1.3.2 Cultivo em adensamento

A disposição espacial das plantas no pomar deve ser cuidadosamente planejada, uma vez que influencia diretamente diversos aspectos do sistema produtivo, como o manejo agrônômico, a interceptação de luz, o microclima e, sobretudo, a rentabilidade da cultura. Diante disso, observa-se uma tendência crescente no ajuste do arranjo espacial das plantas com o intuito de otimizar o uso do solo, aumentando a produtividade e reduzindo os custos de produção (ARAÚJO NETO et al., 2005; BARBOSA et al., 2024).

Nos últimos anos, o adensamento tem se consolidado como uma estratégia eficaz na fruticultura moderna, principalmente em regiões onde a terra é um recurso oneroso. Essa prática consiste no aumento do número de plantas por unidade de área, o que pode resultar em incrementos expressivos na produtividade e em maior eficiência no uso de insumos, como água e fertilizantes, fatores fundamentais para a sustentabilidade econômica e ambiental da atividade agrícola (FONTES, 2008; BARBOSA et al., 2024). Contudo, para que esse sistema seja viável, torna-se necessário adotar práticas de manejo que visem à contenção do vigor vegetativo, favorecendo a formação de plantas mais compactas e a adequada penetração da luz no dossel (SOUZA et al., 2017; HOZA et al., 2015).

A distribuição eficiente da luz solar no interior do pomar é um dos principais fatores determinantes para o sucesso produtivo. A redução da radiação incidente sobre as folhas pode comprometer a taxa fotossintética, impactando negativamente o crescimento das plantas, atrasando a floração e, consequentemente, reduzindo a produção de frutos (FERREIRA et al., 2018). Assim, o adensamento demanda não apenas planejamento técnico, mas também um manejo integrado que assegure a eficiência fisiológica das plantas, especialmente em espécies de crescimento vigoroso como o mamoeiro (*Carica papaya* L.).

A eficácia do adensamento, no entanto, está condicionada a fatores como tipo de solo, sistema de cultivo, cultivar e tratos culturais empregados. O espaçamento deve promover um equilíbrio entre o desenvolvimento vegetativo e a produtividade, sem comprometer a qualidade dos frutos. Estudos demonstram que o aumento da densidade tende a induzir maior crescimento em altura das plantas, em virtude da competição por luz, podendo resultar em frutos de menor calibre (MARTELLETO et al., 2013; COSTA et al., 2003). Além disso, o cultivo adensado em regiões com clima quente e úmido pode intensificar a incidência de pragas e doenças, exigindo maior atenção ao manejo fitossanitário (BARBOZA, 2015; SANTOS et al., 2022).

O adensamento do plantio reduz a disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa para as folhas localizadas na base da planta, resultando em auto-sombreamento e diminuição na taxa fotossintética líquida por planta. No entanto, até certo ponto, a compensação na produção total pode ocorrer devido ao aumento do número de raízes (SILVA et al., 2003). Essa dinâmica promove a competição entre os indivíduos da mesma espécie e entre espécies diferentes por recursos de crescimento, como luz, água e nutrientes, podendo influenciar a produção e seus componentes (LOPES et al., 2008).

1.3.3 Irrigação na agricultura

A irrigação é uma prática agrícola fundamental que permite o cultivo de diversas culturas em regiões e períodos onde o plantio em sequeiro seria inviável. Sua importância está diretamente relacionada ao aumento da

produtividade agrícola, influenciada por fatores como o sistema de plantio, disponibilidade hídrica, condições climáticas e características do solo. Para alcançar uma produção eficiente e sustentável, é essencial o domínio técnico desses aspectos, visando minimizar os impactos ambientais e maximizar a rentabilidade do produtor (BISPO et al., 2017).

Entre os diferentes métodos de irrigação disponíveis, destaca-se a microirrigação, especialmente os sistemas por gotejamento e microaspersão, que vêm sendo amplamente adotados em culturas frutíferas como o mamoeiro (*Carica papaya* L.). Essa tecnologia permite uma aplicação localizada e controlada da água, promovendo maior eficiência no uso hídrico, redução de perdas por evaporação e lixiviação, além de favorecer o desenvolvimento radicular das plantas (Barbosa et al., 2023; Mendoza-Grimón et al., 2024).

A disponibilidade de água no solo exerce um papel crucial no metabolismo das plantas. Para Taiz et al. (2017), mesmo uma leve redução no teor de água disponível pode afetar drasticamente a fisiologia vegetal, resultando em alterações morfológicas como redução da área foliar e fechamento estomático, comprometendo a taxa fotossintética. No caso do mamoeiro (*Carica papaya* L.), a irrigação adequada é essencial, especialmente durante as fases iniciais de crescimento vegetativo e reprodutivo, pois tanto a deficiência quanto o excesso hídrico podem prejudicar severamente o desenvolvimento da cultura.

Além disso, técnicas como a irrigação por gotejamento têm sido avaliadas quanto à sua eficiência no cultivo do mamoeiro. Carvalho et al. (2013) investigaram diferentes configurações de sistemas de irrigação localizada e observaram que o uso adequado desses sistemas pode influenciar positivamente o crescimento e a produtividade do mamoeiro. Outra abordagem, a irrigação com secamento parcial da zona radicular, mostrou potencial para aumentar a eficiência do uso da água em situações de disponibilidade limitada, conforme estudo de Manjunath et al. (2017).

A adoção de tecnologias de irrigação que promovem a eficiência no uso dos recursos hídricos deve considerar não apenas a economia de água, mas também a manutenção da produtividade da cultura explorada, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e econômica do sistema produtivo (CAMARGO,

2016). Para tanto, é imprescindível um planejamento adequado do manejo da irrigação, baseado no conhecimento das necessidades hídricas específicas da cultura ao longo de seu ciclo (BARBIERI et al., 2017).

Sistemas de irrigação bem planejados resultam em expressivos ganhos no crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas. Por outro lado, a ausência de um estudo técnico pode levar a aplicações hídricas inadequadas, seja por excesso ou por déficit, acarretando prejuízos tanto à lavoura quanto ao produtor (CUNHA, 2019). Experiências internacionais reforçam essa abordagem: na Espanha, a simples reorientação de produtores quanto ao manejo da irrigação resultou em significativa redução no consumo de água, sem comprometer o rendimento das culturas, destacando a importância do assessoramento técnico e capacitação dos irrigantes (PLAYÁN; MATEOS, 2006).

1.3.4 Irrigação no mamoeiro

A exigência hídrica de um sistema de cultivo pode variar significativamente conforme as condições edafoclimáticas da região e as características da cultura implantada. No caso do mamoeiro (*Carica papaya* L.), essa necessidade é particularmente elevada, uma vez que as fases fenológicas, floração, crescimento e maturação dos frutos, ocorrem de forma simultânea. Durante a fase reprodutiva, a oferta contínua e equilibrada de água e nutrientes é essencial para garantir o vigor da planta e o seu pleno potencial produtivo (Ramos, 2007; Freire, 2008; Coelho et al., 2011).

Apesar de sua alta demanda hídrica, o mamoeiro é sensível ao excesso de água no solo, o que pode causar hipóxia radicular e reduzir o crescimento das raízes. Por outro lado, o déficit hídrico afeta diretamente a fisiologia da planta, ocasionando perda de turgidez, fechamento estomático e redução das taxas de transpiração e fotossíntese (Taiz & Zeiger, 2017; Dombroski et al., 2014). Esses distúrbios fisiológicos comprometem o desenvolvimento da planta, culminando em menor produtividade (Mitchell & O'Grady, 2015). Além disso, em períodos críticos como o florescimento, a escassez hídrica pode provocar intensa queda de flores, afetando significativamente o rendimento da cultura (Harkness, 1967).

Diante dessa sensibilidade à disponibilidade hídrica, a escolha de um sistema de irrigação eficiente é importante para o sucesso do cultivo. Entre os métodos mais adequados para o mamoeiro destacam-se a irrigação por aspersão, com sistemas como pivô central e autopropelido e, especialmente, os sistemas de irrigação localizada, como o gotejamento e a microaspersão (Sousa et al., 2011).

Os sistemas de irrigação localizada têm se destacado por operarem sob baixa pressão, oferecerem alta uniformidade de aplicação (acima de 85%) e proporcionarem economia de água ao direcionarem o volume necessário diretamente à zona radicular da planta (Lima et al., 2023). Em especial, o gotejamento enterrado tem demonstrado resultados promissores, proporcionando maior desenvolvimento vegetativo e produtividade, como observado em condições edafoclimáticas do Recôncavo Baiano (Almeida et al., 2010).

A adoção de tecnologias de irrigação mais eficientes é cada vez mais impulsionada pela crescente escassez hídrica e pela demanda por maior produtividade agrícola frente ao crescimento populacional. Nesse cenário, o manejo racional da irrigação torna-se uma ferramenta estratégica para garantir que a água seja aplicada na quantidade e no momento corretos, complementando as precipitações naturais e minimizando desperdícios (Kruashvili et al., 2016; Santos et al., 2023). Quando bem planejado, o sistema de irrigação não apenas melhora o desempenho fisiológico e produtivo do mamoeiro, como também contribui para a sustentabilidade ambiental da atividade agrícola.

1.3.5 Sistema radicular

A distribuição do sistema radicular das culturas é influenciada pelas características físicas do solo, especialmente sua estrutura e textura. Essas propriedades determinam a capacidade do solo de fornecer suporte físico, água e nutrientes necessários para o desenvolvimento das raízes e com isso garantir o crescimento da planta em uma determinada área (AVILAN et al., 1984; COELHO et al., 2022). Por exemplo, solos com boa estrutura e textura adequada promovem uma distribuição radicular mais uniforme e eficiente, enquanto solos

compactados ou com textura inadequada podem restringir o crescimento das raízes e afetar negativamente a absorção de água e nutrientes.

A distribuição do sistema radicular de qualquer cultura constitui uma ferramenta essencial para a elaboração de projetos ou planos de manejo de irrigação. A posição estratégica de sensores de umidade do solo nas zonas de absorção radicular permite inferir sobre a eficiência da aplicação de água, proporcionando dados cruciais para a otimização dos recursos hídricos (Coelho, 2001).

Diversos métodos são utilizados para a determinação do sistema radicular, incluindo o método da trincheira, do monólito, do trado e da escavação. A distribuição das raízes é comumente analisada com base no seu comprimento ou massa, permitindo a avaliação de parâmetros como a densidade de comprimento radicular e a porcentagem do comprimento total das raízes, possibilitando a compreensão de suas variações no perfil do solo (Coelho et al., 2008).

No cultivo de mamoeiro nas regiões de Tabuleiros Costeiros, a concentração do sistema radicular geralmente se encontra em um raio de 0,50 m a partir do caule da planta e em 0,40 m de profundidade. No entanto, esses valores podem variar em função da textura e da estrutura do perfil do solo (COELHO et al., 2005).

1.4 REFERÊNCIAS

ARAÚJO NETO, S. E. de; RAMOS, J. D.; ANDRADE JUNIOR, V. C. de; RUFINI, J. C. M.; MEDONÇA, V.; OLIVEIRA, T. K. de. Adensamento, desbaste e análise econômica na produção do maracujazeiro-amarelo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 394 – 398, 2005.

AVILAN, L. R.; GARCIA, M. L.; LEAL, F.; SUCRE, R. Estudio del sistema radical del limon criollo (*Citrus aurantifolia*) swing, en un suelo de origen aluvial. **Revista Faculdade Agronomia**, Maracay, v. 13, p. 61-72, 1984.

BARBIERI, J. D.; DALLACORT, R.; OLIVEIRA, T.; TIEPPO, R. C.; ARAÚJO, D. V. Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo para a microrregião da BAP, MT. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais - Anais do Simpósio Interdisciplinar de Práticas de Produção Agrícola e Conservação Ambiental**, v. 8, n. 1, p. 21-28, 2017. Acesso em: 24 jul. 2023.

BARBOSA, F. S. et al. Eficiência do uso da água em sistemas de irrigação localizada: gotejamento e microaspersão. **Irriga**, Botucatu, v. 28, n. 1, p. 160-173, 2023.

BARBOSA, L. F.; DONATO, S. L. R.; SANTOS, M. R. dos; COELHO, E. F. Fruit yield and water productivity of 'Prata Anã' banana under different planting densities and irrigation depths. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 59, e03423, 2024.

BARBOZA, A. B. **Status Fitossanitário da Cultura do mamoeiro (*Carica Papaya* L.) no estado do Ceará, com ênfase na exportação de frutas in natura para o Japão**. 2015. Dissertação (mestrado em Defesa Sanitária Vegetal) – Departamento de Entomologia, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2015.

BISPO, R. C.; FLORES, D. S.; SANTOS, V. N. H. B.; VENTURA, K. M.; QUEIROZ, S. O. P. Manejo de irrigação para cultivo de pimentão em ambiente protegido. **Anais. IV INOVAGRI International Meeting**, Botucatu, SP. 2017. Acesso em: 25 de jul. de 2023.

CAMARGO, D. C. Conservação, uso racional e sustentável da água. Ministério do Meio Ambiente e Agência Nacional de Águas (ANA), **Instituto de Pesquisa**

e Inovação na Agricultura Irrigada. Fortaleza, CE. 2016. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/251/1/Avaliacao_de_equipamentos.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2023.

CAMPOSTRINI, E.; SCHAFFER, B.; RAMALHO, J. D. C.; GONZÁLEZ, J. C.; CARVALHO, C.; KIST, B. B.; BELING, R. R. **Anuário brasileiro da fruticultura 2018-2019** / CARVALHO, C.; KIST, B. B.; BELING, R. R. – Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz, 2019. 50 p.

CARVALHO, G. C.; COELHO, E. F.; SILVA, A. A. S. M. da. Crescimento e produtividade do mamoeiro Sunrise Solo sob irrigação localizada. In: SIMPÓSIO DO PAPAYA BRASILEIRO, 5., 2011, Porto Seguro. Inovação e sustentabilidade: anais. Porto Seguro: **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, 2011.

COELHO, E. F. C. et al. **Distribuição de raízes e extração de água do solo em fruteiras tropicais.** Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical; 2008. 80p. <https://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00051600.pdf>.

COELHO, E. F. et al. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação localizados em latossolo de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 175-178, 2005.

COELHO, E. F. et al. Distribuição do sistema radicular da mangueira sob irrigação localizada em solo arenoso de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 23, n. 2, p. 250-256, 2001.

COELHO, E. F. et al. **Root distribution and its relations with soil chemical attributes and yield of banana under fertigation with and without soil covering.** Acta Scientiarum-Agronomy, v. 44, p. e53296, 2022. Disponível em <https://www.scielo.br/j/asagr/a/Jj3XswSrvsBsipB4X6sLgww/#>.

COELHO, E. F.; DA SILVA, A. J. P.; PARIZZOTO, I.; SILVA, T. S. M. **Sistema e manejo de irrigação para agricultura familiar.** Cruz das Almas, BA, 2014. 45p.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. M. G.; SILVA, J. G. F.; COELHO FILHO, M. A.; CRUZ, J. L. Irrigação e Fertirrigação na cultura do mamão. In: SOUZA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (Org.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças.** 1ed., Brasília, 2011, p. 442-472.

COELHO, E. F.; SANTOS, M. R.; COELHO FILHO, M. A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação localizada em latossolo de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 175–178, 2005.

COELHO, E. F.; SILVA, J. G. F. da.; SOUZA, L. F. de. **Irrigação e fertirrigação**. In: TRINDADE, A.V. (Org.). Mamão produção aspectos técnicos. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 37–42 (Frutas do Brasil, 3).

COELHO, E. F.; SILVA, J. G. F. da; ALVES, A. A. C.; CRUZ, J. L. Irrigação do mamoeiro. (**Circular Técnica**, 54). Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. 8p.

COELHO, E. F.; SILVA, J. G. F.; SOUZA, L. F. S. **O produtor pergunta, a Embrapa responde, mamão: Irrigação e Fertirrigação**, Embrapa Brasília, DF 2013. 80p.

COSTA, A. de F. S. da; DANTAS, J. L. L.; PEREIRA, M. G.; CATTANEO, L. F.; COSTA, A. N. da; MOREIRA, S. O.; Botânica, melhoramento e variedades. Cultivo do mamoeiro. In: **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 34, n. 275, p. 14-24, jul/ago. 2013.

COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S. Nutrição e adubação. In: MARTINS, D.S.; COSTA, A. F.S. (Eds.). **A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção**. Vitória, ES: Incaper, p. 201-227, 2003.

CUNHA, M. M. **Desenvolvimento de um sistema embarcado para realização de manejo de irrigação**, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão / SE, 2019. Disponível em URL: < <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/10937> Acesso em: 08 abr. 2023.

DOMBROSKI, J. L. D; FREITAS, R. M. O; TOMCZAK, V. E.; PINTO, J. R. S.; FARIAS, R.M. Ecophysiology of water stressed *Handroanthus impetiginosus* (Mart. Ex. DC Mattos) seedlings. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 101, p. 155-163. 2014.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Rome: FAOSTAT, 2022. Acesso em: 19 jul. 2024.

FAO. **Food and Agriculture Organization. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura.** FAO no Brasil. 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/brasil/fao-no-brasil/pt/>>. Acesso em: 28 jul. 2024.

FERREIRA, L. V.; PICOLOTTO, L.; PEREIRA, I. S.; SCHMITZ, J. D.; ANTUNES, L. E. C. Nitrogen fertilization in consecutive cycles and its impact on high-density peach crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 53, n. 2, p. 172-181, 2018.

FONTES, R. V. Resposta do híbrido UENF/CALIMAN 01 a diferentes espaçamentos e níveis de adubação. **Tese** (Doutorado em Produção Vegetal). Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 130f., 2008.

FONTES, R. V.; VIANA, A. P.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA, J. G.; SILVA, D. M.; BROETTO, S. G.; SILVA, M. M. Diferentes espaçamentos de plantio e níveis de adubação sobre a atividade da redutase do nitrato em folhas do híbrido de mamoeiro UENF/ CALIMAN-01. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, p. 1138-1145, 2010.

FREIRE, J. O. Resposta do mamoeiro Golden a diferentes lâminas e frequências de irrigação. **Dissertação** (Mestrado em Irrigação e Drenagem). Irrigação e Drenagem, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2008.

HARKNESS, W. **Papaya growing in Florida.** Gainesville: University of Florida, 1967. 15p.

HOZA, D.; DELIAN, E.; ASANICA, A.; HOZA, G. Research regarding the intensity of certain physiological processes for peach varieties within high density plantations. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, Amsterdam, v. 6, p. 165-170, 2015.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Censo Agropecuário de 2023: Segunda Apuração. Disponível em: Acesso em julho de 2023.

KRUASHVILI, I.; BZIAVA, K.; INASHVILI, I.; LOMISHVILI, M. Determination of optimal irrigation rates of agricultural crops under consideration of soil properties and climatic conditions. **Annals of Agrarian Science**, v. 14, n. 3, p. 217-221, 2016.

LIMA, R. S. N.; FIGUEIREDO, F. A. M. M.; MARTINS, A. O.; DEUS, B. C. S.; FERRAZ, T. M.; GOMES, M. M. A.; SOUSA, E. F.; GLENN, D. M.; CAMPOSTRINI, E. Partial rootzone drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) effects on stomatal conductance, growth, photosynthetic capacity, and water-use efficiency of papaya. **Scientia Horticulturae**, v.2023.

LOPES, W. A. R.; NEGREIROS, M. Z.; TEÓFILO, T. M. S.; ALVES, S. S. V.; MARTINS, C. M.; NUNES, G. H. S.; GRANGEIRO, L. C. Produtividade de cultivares de cenoura sob diferentes densidades de plantio. **Revista Ceres**, v. 55, n. 5, 2008.

MAHAJAN, B. V. C.; DHILLON, W. S.; SINGH, H. Papaya (*Carica papaya* L.). In: SINGH, D. B. (Ed.). Fruit Crops: Volume 3: **Tropical and Subtropical Fruits**. New Delhi: Studium Press, 2020. p. 145-180.

MALO, S. E.; CAMPBELL, C. W. **O mamão**. Universidade da Flórida, Serviço de Extensão Cooperativa Frutos Culturais Fact Sheet FC-11. Gainesville. 1986.

MARTELLETO, L. A. P.; MARTELLETO, M. S.; MACHADO, A. F. L.; VASCONCELLOS, M. A. S. Manejo fitotécnico. **Informe Agropecuário**; Belo Horizonte, MG: Epamig, v. 34, n. 275, 2013.

MARTINS, D. S.; COSTA, A. F. S. **A Cultura do Mamoeiro**: tecnologias de produção. 1ed. Vitória, ES: Incaper, 2003.

MATOS, J. A.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, H. M. Avaliação da distribuição de água de um microaspersor autocompensante. In: **Revista Irriga**, Botucatu, v.4, n.3, p. 168-174, 1999.

MEDEIROS, S. S.; CAVALCANTE, A. M. B.; MARIN, A. M. P.; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H.; PINTO, T. F. **Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro**. Campina Grande: INSA, 2012. 103p.

MENDOZA-GRIMÓN, V. et al. Localized irrigation and its impact on root development and water productivity in fruit crops under semi-arid conditions. **Agricultural Water Management**, v. 290, 108774, 2024.

MITCHELL PJ, O'GRADY AP. Adaptation of leaf water relations to climatic and habitat water availability. **Forests**, v. 6, n. 7, p. 2281-2295. DOI: 10.3390/f6072281.

PLAYÁN, E.; MATEOS, L. Modernização e otimização de sistemas de irrigação para aumentar a produtividade da água. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 80, p. 100-116, 2006.

PORTEIA, L.P.; PEIL, R.M.N.; RODRIQUES, S.; CARINI, F. Densidade de plantio, crescimento, produtividade e qualidade das frutas de morangueiro “camino real” em hidroponia¹. **Revisita Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 34, n. 3, p. 792-798, 2012.

RAMOS, H. C. C. Melhoramento populacional do mamoeiro (*carica papaya* L.) assistido por marcadores microssatélites. **Dissertação** (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF 10, Campos dos Goytacazes, RJ, 2007.

SÁ, F. V. V.; BRITO, M. E. B.; MELO, A. S.; NETO, P. A.; FERNANDES, P. D.; FERREIRA, I. Produção de mudas de mamoeiro irrigadas com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 10, p. 1047–1054, 2013.

SALOMÃO, L. C. C.; SIQUEIRA, D. L.; SANTOS, D.; BORBA, A. N. **Cultivo do Mamoeiro**. Viçosa: Ed. UFV, 2007, 73p.

SANTOS, A. P. G.; VIANA, T. V. A.; SOUSA, G. G.; GOMES-DO-Ó, L. M.; AZEVEDO, B. M.; SANTOS, A. M. Produtividade e qualidade de frutos do meloeiro em função de tipos e doses de biofertilizantes. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 4, p. 409-416, 2014.

SANTOS, R. S. et al. Manejo fitossanitário do mamoeiro em sistemas de cultivo adensado no semiárido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 44, n. 1, e-117, 2022.

SILVA, J. B. C.; VIEIRA, J. V.; MACHADO, C. M. M.; LIMA, G. B. Rendimento das cultivares de cenoura Alvorada e Nantes Forto cultivadas sob diferentes espaçamentos. **Horticultura Brasileira**, 21: Suplemento 2 – CD-ROM. 2003.

SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (Ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011.

SOUZA, A. L. K.; SCHUCH, M. W.; CAMARGO, S. S.; PEREIRA, R. R.; SOUZA, E. L.; PASA, M. S. Does propagation method affect the field performance of peach trees? **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 38, n. 4, p. 2815-2822, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5th ed. Porto Alegre: Artmed; 2013.

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

YADAVA, U. L.; BURRIS, A. J.; MCCRARY, D. Mamão: uma cultura anual potencial em condições de meio da Geórgia. In: Janick J.; Simon J. E. (eds), **Advances in New Crops**, Timber Press, Oregon, p. 364-366, 1990.

CAPÍTULO 1

DESEMPENHO AGRONOMICO DO MAMOEIRO EM DIFERENTES SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO, ESPAÇAMENTOS E DENSIDADES DE PLANTIO

RESUMO:

Os sistemas de irrigação localizada, devido as áreas molhadas que geram no solo, podem influenciar a produtividade do mamoeiro conforme a densidade ou espaçamento dessa cultura. Este estudo avaliou o crescimento e a produtividade do mamoeiro cv. Tainung 01 sob diferentes densidades e espaçamentos (2.314, 2.667 e 3.333 plantas ha⁻¹) e dois sistemas de irrigação (gotejamento e microaspersão). A altura de planta, o diâmetro do caule, a área foliar e o índice de área foliar foram influenciados significativamente pelos dias após o plantio e pela interação entre densidade e sistema de irrigação. Em relação à produtividade, observou-se que a maior produtividade foi alcançada na densidade de 3.333 plantas ha⁻¹, com sistema de microaspersão. Adicionalmente, a eficiência de uso da água (EUA) e a pegada hídrica não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, com destaque para a maior eficiência no uso da água na densidade 3.333 plantas ha⁻¹, irrigados por microaspersão.

Palavra-chave: Carica papaya, espaçamento, manejo de irrigação, produtividade, desenvolvimento.

ABSTRACT:

This study evaluated the growth and production of papaya cv. Tainung 01 under different planting densities (2,314, 2,667, and 3,333 plants ha⁻¹) and two irrigation systems (drip and micro-sprinkler). Plant height, stem diameter, leaf area, and leaf area index were significantly influenced by the days after planting and by the interaction between density and irrigation system. Regarding productivity, it was observed that the highest production was achieved at a density of 3,333 plants ha⁻¹, with a micro-sprinkler system. Additionally, water use efficiency (WUE) and water footprint did not show significant differences between treatments, with emphasis on the highest water use efficiency at a density of 3,333 plants ha⁻¹, irrigated by micro-sprinkler.

Keywords: Carica papaya, spacing, irrigation management, productivity, development.

2 INTRODUÇÃO

O adensamento de plantas é uma estratégia agronômica amplamente adotada com o intuito de aumentar a produtividade por unidade de área em diversas culturas, principalmente, quando sob irrigação. No caso do mamoeiro (*Carica papaya* L.), pertencente à família Caricaceae, pesquisas têm buscado identificar os arranjos espaciais mais eficientes, considerando as condições edafoclimáticas e os objetivos produtivos, a fim de otimizar o uso do espaço, dos recursos naturais e maximizar a rentabilidade da cultura (JIMÉNEZ et al., 2014; AZEVEDO et al., 2015; OLIVEIRA, et al., 2019).

A definição do espaçamento e da densidade de plantio deve considerar fatores como o tipo de solo, o clima, as características fisiológicas das cultivares e os tratos culturais adotados (NUNES; PERUCH, 2018). Trabalhos recentes demonstram que a redução do espaçamento pode levar a maior crescimento em altura das plantas, enquanto maiores espaçamentos favorecem o diâmetro do caule e a expansão da copa, refletindo na interceptação de luz e na eficiência fotossintética (OLIVEIRA et al., 2019; SILVA et al., 2021). Assim, o arranjo ideal depende do equilíbrio entre competição por recursos e aproveitamento da área cultivada.

Além disso, o adensamento pode ser uma ferramenta eficaz para aumentar a eficiência no uso da água. Quando associado a sistemas de irrigação localizada, como o gotejamento e a microaspersão, essa prática pode otimizar o manejo hídrico e melhorar a produtividade por unidade de água aplicada (COELHO et al., 2021; SOUZA et al., 2021). O maior rendimento obtido por área cultivada reduz a quantidade de água necessária por tonelada de fruta produzida, contribuindo para uma agricultura mais sustentável.

Regiões com precipitação anual superior a 1.200 mm e bem distribuída apresentam condições ideais para o cultivo do mamoeiro. Entretanto, em áreas com irregularidade pluviométrica ou estiagens prolongadas, torna-se necessário o uso de sistemas de irrigação bem planejados, capazes de suprir adequadamente a demanda hídrica da cultura (OLIVEIRA et al., 2012; SANTOS et al., 2017). O sucesso desse manejo depende da consideração de múltiplos fatores, como as condições climáticas locais, o tipo de solo, a profundidade do

sistema radicular, o método de irrigação adotado e a qualidade da água disponível (COELHO et al., 2013; TESTEZLAF, 2017).

Nesse contexto, a escolha do método de irrigação é determinante para a eficiência do uso da água. Métodos como o gotejamento e a microaspersão destacam-se por apresentarem maior uniformidade de aplicação, menor perda por evaporação e potencial para aplicação localizada de nutrientes (fertirrigação), favorecendo o manejo de precisão (COELHO et al., 2021). Quando integrados a práticas de adensamento (espaçamentos), esses sistemas contribuem para a sustentabilidade dos agroecossistemas, otimizando recursos e minimizando a pegada hídrica da produção. Desse modo, este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho agrônômico do mamoeiro cv. Tainung 01 cultivado em diferentes densidades (espaçamentos), com os sistemas de irrigação gotejamento e microaspersão.

2.1 MATERIAS E MÉTODOS

2.1.1 Localização e descrição da área experimental

O experimento foi conduzido na Embrapa Mandioca e Fruticultura, no município de Cruz das Almas, Bahia, cujas coordenadas geográficas são 12°40'30" S e 39°05'24" W e altitude de 219 m. A Figura 1 apresenta a localização da área no campo experimental (12°40'35"S 39°05'25"W), em uma imagem de satélite obtida por meio do aplicativo Google Earth®.



Figura 1. Imagem do google Earth localização da área experimental Embrapa Mandioca e Fruticultura, Cruz das Almas - BA.

O clima local, conforme a classificação de Koppen, é do tipo Aw a Am, tropical quente e úmido, com médias anuais de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa de 1.131,17 mm, 24,5 °C e 80 %, respectivamente (REZENDE, 2004; GUIMARÃES et al, 2016).

A precipitação, a temperatura (máxima, mínima e média) e a lâmina de água aplicada na irrigação no período da condução do experimento entre 2023 e 2024 estão detalhadas na Figura 2. O acumulado da precipitação e da lâmina aplicada na irrigação em todos os tratamentos foram de 1292,40 mm e 760,06 mm, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Temperatura (°C), precipitação (mm) e lâmina aplicada de irrigação (mm), durante o período de crescimento e produção do mamoeiro.

Meses	Temperatura (°C)			Precipitação	Lâmina de irrigação
	Máxima	Mínima	Média	(mm)	(mm)
mar/23	28,96	22,30	25,63	141,70	14,73
abr/23	30,11	22,30	26,20	43,70	42,04
mai/23	27,29	21,70	24,49	109,40	27,28
jun/23	25,88	20,30	23,09	136,60	8,54
jul/23	26,15	19,40	22,77	95,30	54,51
ago/23	27,81	20,10	23,95	118,50	25,59
set/23	28,41	20,70	24,56	76,70	54,42
out/23	30,60	21,20	25,90	15,70	154,42
nov/23	32,19	22,20	27,20	25,10	116,00
dez/23	30,80	22,70	26,75	81,40	104,67
jan/24	31,75	23,50	27,63	232,80	85,33
fev/24	32,35	23,40	27,88	138,50	56,00
mar/24	33,20	23,90	28,55	77,00	16,53
Total	29,65	21,82	25,74	1.292,40	760,06

O solo da área foi classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso (SANTOS et al., 2013). Foram coletadas amostras indeformadas de solo para caracterização da macro e microporosidade. Os atributos físicos do solo, na profundidade de 0,00 - 0,60 m, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Macro porosidade (Macro), micro porosidade (Micro), porosidade total (Toal), densidade do solo (Ds) e água disponível (AD) nas diferentes profundidades do solo, da área experimental, Cruz das Almas - BA. 2023.

Camadas (m)	Atributos físicos			D _s (kg dm ⁻³)	AD (%)
	Porosidade (%)				
	Macro	Micro	Total		
0,00 - 0,30	3,84	25,27	29,11	1,84	2,14
0,30 - 0,60	5,81	21,66	27,48	1,83	3,22

As curvas de retenção de água no solo, foram ajustadas pela equação de Van Genutchen (1980), conforme a equação 1.

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha h)^n]^m} \quad (1)$$

em que:

θ = Umidade volumétrica cm³ cm⁻³; θ_r

r = Umidade residual cm³ cm⁻³;

θ_s = Umidade na saturação cm³ cm⁻³; h

= Potencial matricial (m).

Os parâmetros de ajuste, para camada de 0,00-0,30m, foram $\alpha = 3,817$; $n = 1,346$ e $m = 0,257$, sendo a umidade saturada = 0,2471 cm³ cm⁻³, umidade residual = 0,1617 cm³ cm⁻³. Os parâmetros de ajuste, para camada de 0,30-0,60m, foram $\alpha = 1,469$; $n = 1,500$ e $m = 0,333$, com a umidade saturada = 0,2623 cm³ cm⁻³, umidade residual = 0,1400 cm³ cm⁻³. As curvas características de retenção de água no solo então apresentada na figura 2.

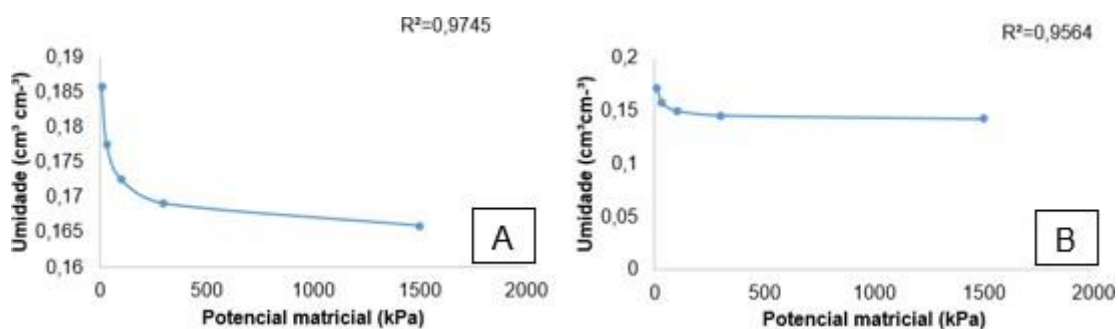


Figura 2. Curva de retenção de água no solo para a camada de 0,00-0,30m (A) e para a camada de 0,30-0,60m (B).

Também foram coletadas amostras deformadas, nas profundidades de 0,00 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m de solo da área experimental para análise química que podem ser observados na Tabela 3. A partir dos dados da análise química não houve a necessidade da aplicação de calcário.

Tabela 3. Atributos químicos do solo: SB: soma de bases trocáveis; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases e MO: matéria orgânica antes da instalação do experimento. Cruz das Almas – BA, 2023.

Atributos químicos												
Camada (m)	pH (H ₂ O)	P (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	Na	H+Al	SB	CTC	V (%) (g Kg ⁻¹)
0,0-20	6,0	17	0,43	1,94	1,27	3,21	0,0	0,12	1,30	3,76	5,06	74
20-40	5,8	14	0,48	1,48	0,90	2,38	0,0	0,07	1,36	2,94	4,30	68

2.1.2 Delineamento experimental

O experimento seguiu delineamento em blocos casualizados com cinco tratamento e quatro repetições. Tratamento T1 (espaçamento de 3,0 x 1,8 x 1,8 m em fileira dupla perfazendo 2.314 plantas hectare, irrigados por microaspersão, com uma linha lateral por duas fileiras de plantas), Tratamento T2 (espaçamento de 3,0 x 2,5 m, em fileira simples com duas plantas por cova perfazendo 2.666 plantas hectare, irrigados por microaspersão, com a linha lateral na fileira de plantas e o microaspersor entre duas covas de plantio), Tratamento T3 (espaçamento 3,0 x 1,0 m, perfazendo 3.333 plantas hectare, em fileira simples com uma planta por cova, irrigados por microaspersão, com a linha lateral entre duas fileiras de plantas), Tratamento T4 (espaçamento de 3,0 x 2,5 m, em fileira simples com duas plantas por cova perfazendo 2.666 plantas por hectare, irrigados por gotejamento) e Tratamento 5 (espaçamento 3,0 x 1,0 m perfazendo 3.333 plantas hectare, em fileira simples com uma planta por cova, irrigado por gotejamento). Nas distribuições com duas plantas por cova, as mudas foram plantadas com distância de 0,50 m entre elas, segundo esquema demonstrativo na Figura 3.

As pragas e doenças referente a planta foram controladas utilizando o método químico, por meio de pulverizações com fungicida, a base de trifloxistrobina, tebuconazol, tiofanato-metílico e difenoconazol seguindo as orientações dos fabricantes. Realizou-se também a remoção das folhas secas, frutos doentes e/ou abortados, bem como o desbaste para eliminação de brotos laterais, os quais foram retirados da área conforme necessário.

2.1.4 Manejo de irrigação

O experimento com mamoeiros foi conduzido utilizando o método de irrigação localizada, implementado através dos sistemas: gotejamento e microaspersão. No sistema de gotejamento, foram empregados tubos gotejadores com vazão de $2,1 \text{ L h}^{-1}$ espaçados de 0,30 m na linha lateral, dispostos em duas linhas laterais por fileira de plantas, com espaçamento de 0,30 m entre emissores, sendo que no tratamento T4 foi utilizado dezesseis gotejadores por touceira e no tratamento T5 foi utilizado seis gotejadores para uma planta. Nos sistemas de microaspersão, foi disposta uma linha lateral por fileira de plantas no tratamento T2, com emissores foi de 70 L h^{-1} instalados entre duas covas de plantas; nos tratamentos 1 e 3 foi disposta uma linha lateral por duas fileiras de plantas. Nos tratamentos 1 e 2 foi utilizado um microaspersor para quatro planta, no tratamento 3 foi utilizado um microaspersor para seis plantas.

O manejo da irrigação foi realizado a partir de dados climáticos, com os quais se definiu a lâmina de irrigação. Esta foi efetuada em acordo com a redução da umidade do solo correspondente ao potencial de água do solo a -10 kPa abaixo da umidade a capacidade de campo ($0,1858 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). As leituras de umidade do solo, foram feitas em um intervalo de dois dias, antes das irrigações, usando reflectometria no domínio do tempo (TDR) com sondas artesanais (COELHO et al., 2005). A lâmina de irrigação aplicada para atender a demanda da planta, foi calculada tomando como base a evapotranspiração de referência, por Hangreaves Samani (1985), utilizando os dados de temperatura (máxima, média e mínima) e da radiação solar extraterrestre (equação 2).

$$ET_o = 0,0023 \times (T_m + 17,8) \times (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} \times R_a \quad (2)$$

Em que:

ET_o: Evapotranspiração de referência (mm/dia);

T_m= Temperatura média diária do ar (°C);

T_{max}= Temperatura máxima diária do ar (°C);

T_{min}= Temperatura mínima diária do ar (°C);

R_a= Radiação solar extraterrestre (MJ/m²/dia)

A lâmina de irrigação aplicada foi calculada a partir da evapotranspiração da cultura (ET_c) acumulada desde a última irrigação (equação 3). Os valores da ET_c foram obtidos pelo produto da evapotranspiração de referência (ET_o) e o coeficiente de cultivo (K_c), nos diferentes estádios fenológicos do mamoeiro (Coelho Filho, 2007) e corrigida pelo coeficiente de localização (K_l).

$$ET_c = E_{to} \times K_c \times K_l \quad (3)$$

Em que:

ETC = Evapotranspiração da cultura;

ET_o= Evapotranspiração de referência;

K_c= Coeficiente de cultivo, adimensional;

K_l= Fator de localização, adimensional.

O fator de localização foi calculado a partir da área sombreada através do fator de localização, conforme equação 4 (Keller e Bliesner, 1990).

$$K_l = 0,10\sqrt{PAS} \quad (4)$$

Em que:

K_l= Fator de localização, adimensional;

PAS= Porcentagem de área sombreada.

A lâmina bruta de irrigação foi determinada a partir da diferença entre a evapotranspiração da cultura e a precipitação acumulada, desde a última irrigação, ajustada em função da eficiência do sistema de irrigação, assumida em 90%.

$$LB = \frac{ET_c - PT}{E_f} \quad (5)$$

Em que:

LB= Lâmina bruta (mm);

ET_c = Evapotranspiração da cultura (mm);

PT = precipitação total entre as irrigações;

E_f = Eficiência do sistema (0,9).

2.1.5 Fertirrigações do mamoeiro

A fertirrigação foi realizada semanalmente, conforme as recomendações Coelho (2011) de para o cultivo do mamoeiro, baseadas na análise química do solo. A solução de injeção de fertilizantes foi preparada em um recipiente plástico com capacidade de 70 litros, onde os fertilizantes foram dissolvidos. A aplicação da fertirrigação foi realizada utilizando um injetor tipo Venturi, conectado à tubulação da linha principal da área irrigada.

O cronograma semanal de fertirrigação do mamoeiro, abrangendo as fases de crescimento e produção, para todos os tratamentos, estão detalhados na Tabela 4.

Tabela 4. Aplicação do nitrogênio e o potássio via fertirrigação, utilizando-se as fontes ureia e nitrato de potássio, para todo experimento.

		Gotejamento		Microaspersão	
Ano	Mês	Ureia	Nitrato	Ureia	Nitrato
----- g -----					
2023	jan	224	204	572	1016
2023	fev	224	204	572	1016
2023	mar	224	204	572	1016
2023	abr	652	204	1672	1016
2023	mai	652	680	1672	3360
2023	jun	2860	680	7340	3360
2023	jul	2860	1652	7340	8184
2023	ago	2860	1652	7340	8184
2023	set	1256	1652	3224	8184
2023	out	1256	816	3224	4040
2023	nov	1256	816	3224	4040
2023	dez	1256	816	3224	4040
2024	jan	1256	816	3224	4040
2024	fev	1256	816	3224	4040
2024	mar	1256	816	3224	4040
Total		19348	12028	49648	59576

2.1.6 Análise de crescimento da cultura

O crescimento da cultura foi avaliado a intervalos de 30 dias. Para cada avaliação, foi selecionada uma planta por parcela, e a planta foi devidamente identificada para análises subsequentes. Na parcela onde haviam duas plantas por cova, separadas por 0,50 m, ambas as plantas foram avaliadas. Em cada planta, foram mensurados o número de folhas (NF), a área foliar (AF), a altura da planta (ALP) e o diâmetro do caule (DIAM).

As avaliações foram realizadas mensalmente até aos 375 dias após o plantio. As medidas morfológicas da altura das plantas foram obtidas do nível do solo até a gema apical, enquanto o diâmetro do caule foi medido a 0,20 m do solo. Ambas as medidas foram realizadas com o auxílio de uma fita métrica. A

contagem do número de folhas (NF) foi realizada de maneira manual, por meio da contagem direta de todas as folhas de cada planta durante as avaliações mensais. O comprimento do lóbulo central de duas folhas por planta foi medido para o cálculo da área foliar (AF). Nas covas com duas plantas, foi determinada a área foliar média das duas plantas. O método utilizado para estimar a área foliar foi o desenvolvido por Posse et al., (2009), através da equação 1:

$$AF = [-89,6623 + [(5,0328 \times NF)(4,9998 \times NF \times L)(7,512 \times L)] \times 1,2607 \times 10 \quad (6)$$

Em que:

AF= área foliar estimada em (m²);

NF= número de folhas da planta;

L= comprimento do lóbulo central das folhas, em m).

Com os valores de área foliar foi possível calcular o índice de área foliar (IAF), que é definido pela relação entre a área foliar de uma planta e a área de solo ocupada pela mesma (HEIFFIG et al., 2006; SOUZA et al., 2019). usando a equação 2:

$$IAF = \frac{AF}{AP} \quad (7)$$

Em que:

IAF= índice de área foliar estimada em (m²);

AP= área da planta em (m²).

Para as variáveis índice de área foliar, altura e diâmetro da planta foi calculada a diferença entre a última e a primeira avaliação.

2.1.7 Produtividade e qualidade dos frutos

A colheita do primeiro ciclo da cultura, foi iniciada em agosto/2023 e finalizada em março/2024. Durante os dez meses de colheita, os frutos foram colhidos semanalmente, por meio de uma leve torção lateral, quando ainda apresentavam menos que 15 % da superfície da casca amarela, ou seja, no estágio I de maturação (Morais et al., 2007). No momento da colheita, os frutos

foram pesados e devidamente identificados de acordo com seus respectivos tratamentos.

Durante a fase de produção, foram avaliadas as seguintes variáveis dos frutos: número e peso; comprimento, medido pela curvatura externa da fruta, da inserção do pedúnculo ao ápice, utilizando uma fita métrica; e diâmetro do fruto, medido na região mediana, também com o auxílio de uma fita métrica. Os valores obtidos nas pesagens foram transformados em produtividade.

2.1.8 Pegada Hídrica, Produtividade e Eficiência do Uso da Água

Adotou-se a nomenclatura Produtividade da Água de Irrigação (PAI), conforme sugerido por Fernandes et al. (2020), para representar a relação entre o rendimento comercializável da cultura ao longo do ciclo produtivo e o volume de água de irrigação aplicado no mesmo período, conforme expresso na Equação 5:

$$PAI = \frac{P}{V} \quad (8)$$

Em que:

PAI= Produtividade da água de irrigação;

P= Produção da cultura (kg);

V= Volume de água aplicado via irrigação (m³).

A escolha da PAI deve-se ao fato de que a água aplicada não se restringe ao uso consuntivo da cultura (ETc), mas também inclui perdas por escoamento superficial e drenagem.

A eficiência do uso da água (EUA) foi determinada com base na relação entre a produtividade de frutos e a evapotranspiração da cultura, conforme adotando a metodologia utilizada por (Rosales & Estrada, 2007; Silva et al., 2011; Matsunaga et al., 2022; Andrade et al., 2023, Li et. al, 2024). A equação utilizada para o cálculo da eficiência do uso da água é apresentada a seguir:

$$EUA = \frac{P}{ETC} \quad (9)$$

Em que:

EUA = Eficiência do uso da água (kg mm⁻¹);

P= Produtividade de frutos de cada tratamento (kg ha⁻¹);

ETC = evapotranspiração da cultura (mm).

A pegada hídrica, por sua vez, foi calculada a partir da relação inversa, considerando a lâmina de irrigação aplicada e a produtividade dos frutos, conforme a equação:

$$\text{Pegada hídrica} = \frac{\text{ETC}_{\text{total}}}{P} \quad (6)$$

Em que:

Pegada hídrica = Volume de água utilizado por unidade de produção (mm.kg^{-1});

$\text{ETC}_{\text{total}}$ = Lâmina de uso consumido (ETc total no ciclo) (mm);

P = Produtividade de frutos de cada tratamento (kg ha^{-1}).

2.1.9 Análises dos dados

Os valores obtidos em função dos tratamentos foram submetidos a duas análises de variância: uma seguindo delineamento em blocos casualizados com cinco tratamentos (T1, T2, T3, T4 e T5) e quatro repetições. A outra análise envolveu apenas os tratamentos T2, T3, T4 e T5 em um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições em esquema fatorial 2×2 , parcelas subdivididas, considerando a densidade na parcela e o sistema de irrigação na subparcela. Constatado a homocedasticidade dos dados e o efeito das fontes de variação nas variáveis dependentes, foi feito a aplicação do teste de Tukey (5 % de probabilidade) para comparação das médias dos tratamentos, utilizando-se o software Sisvar (FERREIRA, 2019).

2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.2.1 Crescimento do mamoeiro

A análise de variância mostrou que a altura da planta foi influenciada pelos dias após o plantio (DAP), mas não foi influenciada pelos tratamentos (Figura 5). O crescimento do mamoeiro apresentou um comportamento linear em todo o período analisado. Os valores médios de altura da planta variaram entre 1,30 e 2,88 m. Esses valores correspondem aos tratamentos T5 (aos 111 DAP) e T4 (aos 375 DAP), respectivamente (Figura 5). Em geral pode ser observado esse comportamento linear nas fases iniciais do desenvolvimento do mamoeiro, como

observado por Marques et al (2015), avaliando o Crescimento inicial e desenvolvimento do mamoeiro sob diferentes lâminas de irrigação por gotejamento, identificaram comportamento linear para altura e diâmetro do caule nos primeiros 150 dias após o plantio, Silva et al. (2007) observaram também o mesmo comportamento linear para altura do mamoeiro cv. Tainung N°1 até os 180 DAP sob irrigação por gotejamento.

Na primeira análise realizada aos 111 DAP, pode se observar em termos de valores absolutos médios, o tratamento T1, foi maior com valor de 1,34 m, essa vantagem em relação aos outros tratamentos se manteve em todo o período vegetativo do cultivo do mamoeiro. Durante todo o ciclo da cultura do mamoeiro os tratamentos T3 e T5 foram os de menores valores absolutos médios.

Os fatores que influenciam o crescimento vegetativo das plantas no campo são fundamentais para o sucesso econômico da atividade agrícola. Segundo Py et al. (1984), existe uma correlação positiva entre a altura das plantas e o peso dos frutos, indicando que um bom desenvolvimento vegetativo pode refletir diretamente em uma maior produtividade e qualidade dos frutos, aspectos essenciais para a competitividade no mercado.

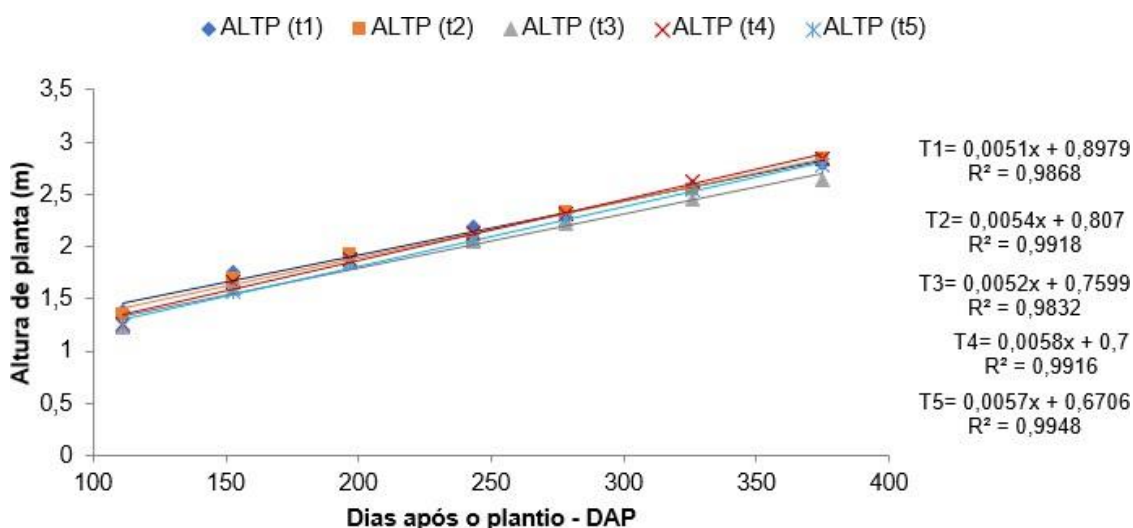


Figura 4. Altura de plantas do mamoeiro, cv. Tainung 01, ao longo do ciclo, sob diferentes densidades de plantio e sistemas de irrigação. T1: 2314 plantas ha⁻¹ irrigadas por microaspersor, T2: 2667 plantas ha⁻¹, irrigadas por microaspersão, T3: 3333 plantas ha⁻¹, irrigadas por microaspersão, T4: 2667 plantas ha⁻¹, irrigadas por gotejamento, T5: 3333 plantas ha⁻¹ irrigadas por gotejamento.

O diâmetro do caule apresentou também crescimento linear em todos os tratamentos, durante todo o período de coleta de dados. Dantas et al. (2013), analisado o desenvolvimento inicial de plantas de mamoeiro submetidas a diferentes substratos e doses de fósforo, observou-se crescimento linear para o diâmetro do caule nos primeiros 120 DAP.

O diâmetro do caule do mamoeiro, cv. Tainung 01 também não foi influenciado pelo sistema de irrigação combinado com o espaçamento do mamoeiro. Considerando os valores absolutos médios foi superior para o tratamento T1, quando comparado aos demais tratamentos, durante todo o período de avaliação (Figura 7). Os valores do diâmetro do caule, para o tratamento T1, variaram entre 0,082 m (aos 111 DAP) e 0,134 m (aos 375 DAP), conforme apresentado na figura 7. O diâmetro do caule é um indicador importante do vigor das plantas e está diretamente relacionado à produtividade, uma vez que reflete a capacidade da planta em sustentar o fluxo de água, nutrientes e fotoassimilados. De acordo com Coelho et al. (2010), plantas com maior diâmetro de caule tendem a apresentar melhor desenvolvimento vegetativo e maior produção de frutos, evidenciando a importância desse parâmetro como indicativo do potencial produtivo da cultura.

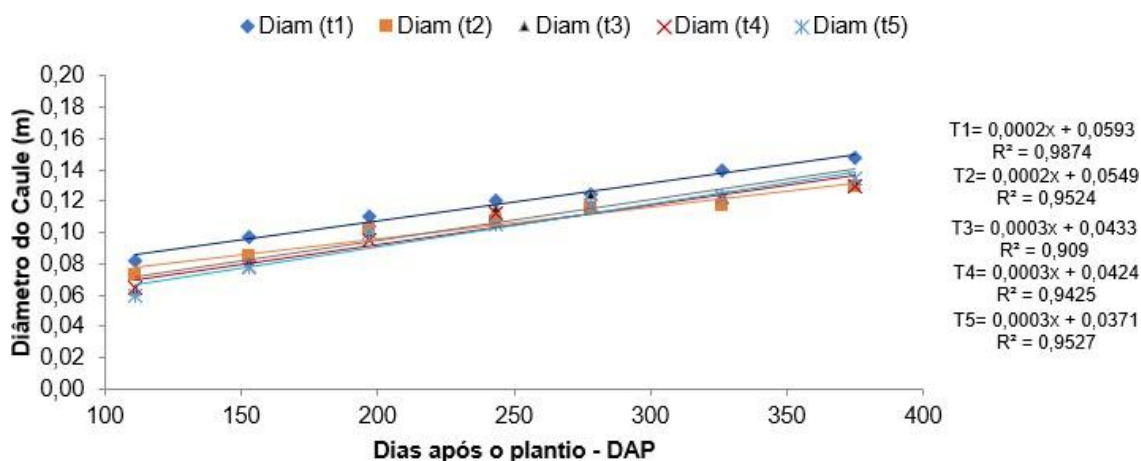


Figura 5. Valores médios do diâmetro do caule (m) do mamoeiro, cv. Tainung 01, com as diferentes densidades de plantio e sistemas de irrigação, ao longo do ciclo. T1 – densidade de 2314 plantas ha^{-1} irrigadas por microaspersor, T2 – densidade de 2667 plantas ha^{-1} , irrigadas por microaspersão, T3 – densidade de 3333 plantas ha^{-1} irrigadas por microaspersão, T4 – densidade de 2667 plantas

ha⁻¹, irrigadas por gotejamento, T5 – densidade de 3333 plantas ha⁻¹ irrigadas por gotejamento.

Ao analisar o crescimento médio das plantas até 375 dias após o plantio (DAP), verificou-se que as diferenças nos valores de altura e diâmetro do caule entre os tratamentos foram pouco expressivas. Os resultados indicam um comportamento semelhante entre os tratamentos, com altura variando de 2,71 a 2,88 m e diâmetro de caule entre 0,130 e 0,156 m. Esses achados são consistentes com os observados por Coelho Filho et al. (2007), que, ao avaliarem os efeitos de diferentes sistemas de irrigação localizada na produtividade do mamoeiro cv. Sunrise Solo sob as condições edafoclimáticas do Recôncavo Baiano, também constataram variações reduzidas nesses parâmetros, com altura de plantas entre 2,28 e 2,48 m e diâmetro do caule entre 0,10 e 0,13 m.

A área foliar do mamoeiro, cv. Tainung 01, não foi influenciada pelas diferentes densidades de plantio e sistemas de irrigação. Entretanto, a área foliar para os tratamentos T1, T3 e T5 apresentaram um crescimento constante ao longo do período de avaliação (Figura 9). Os demais tratamentos, apresentaram uma diminuição de área foliar. Essa diminuição da área foliar ocorreu aos 111 e 153 DAP para o tratamento T2, quando a área foliar foi 2,48 e 2,50 m², respectivamente; e também ocorreu aos 375 DAP para o tratamento T4, quando a área foliar foi 4,76 m² (Figura 9).

A área foliar exerce papel fundamental na produtividade das culturas por estar diretamente associada à capacidade de captação de luz e à realização da fotossíntese. No mamoeiro, uma área foliar bem desenvolvida favorece a produção de fotoassimilados, que são essenciais para o crescimento e o enchimento dos frutos. Dessa forma, há uma estreita relação entre o desenvolvimento da área foliar e o desempenho produtivo das plantas. Segundo Flôres et al. (2012), o acúmulo de biomassa e a produtividade estão diretamente ligados à expansão foliar, sendo a área foliar um dos principais indicadores da eficiência do sistema planta solo-atmosfera.

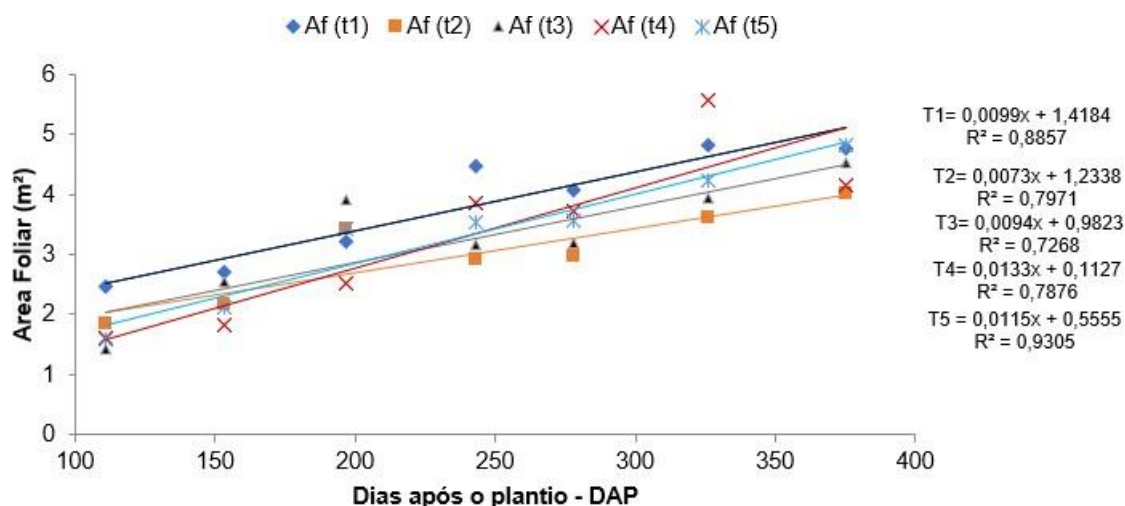


Figura 6. Área foliar do mamoeiro, cv. Tainung 01, ao longo do ciclo, sob diferentes densidades de plantio e sistemas de irrigação. T1 – densidade de 2314 plantas ha^{-1} irrigadas por microaspersor, T2 – densidade de 2667 plantas ha^{-1} , irrigadas por microaspersão, T3 – densidade de 3333 plantas ha^{-1} irrigadas por microaspersão, T4 – densidade de 2667 plantas ha^{-1} , irrigadas por gotejamento, T5 – densidade de 3333 plantas ha^{-1} irrigadas por gotejamento.

As diferentes densidades de plantio (espaçamentos) e os sistemas de irrigação tiveram efeito sobre o índice de área foliar do mamoeiro, cv. Tainung 01. O tratamento 2 apresentou valores de índice de área foliar variando entre 0,34 e 0,60 $m^2 m^{-2}$. E o tratamento 4 apresentou valores de índice de área foliar variando entre 0,28 e 0,68 $m^2 m^{-2}$ (Figura 10). Ou seja, os tratamentos T2 e T4 apresentaram os menores índices de área foliar, ao longo do ciclo, quando comparados aos demais tratamentos avaliados. Isso pode ser justificado pela densidade de 2667 plantas ha^{-1} utilizada nesses tratamentos. Essa densidade de plantas apresenta uma maior área por planta, em comparação com a densidade de 3333 plantas ha^{-1} .

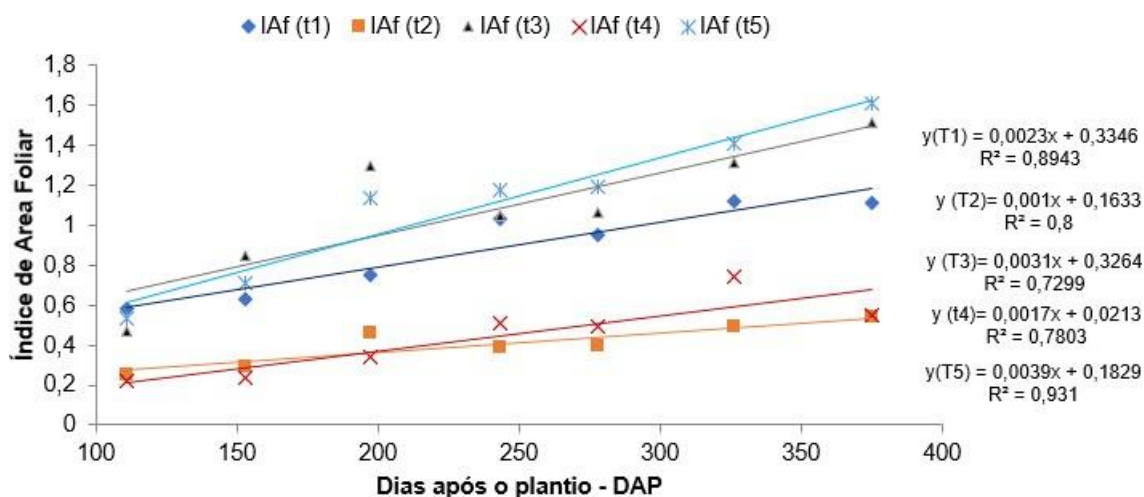


Figura 7. Índice de área foliar do mamoeiro, cv. Tainung 01, ao longo do ciclo, sob diferentes densidades de plantio e sistemas de irrigação. . T1 – densidade de 2314 plantas ha⁻¹ irrigadas por gotejamento, T2 – densidade de 2667 plantas ha⁻¹, irrigadas por microaspersão, T3 – densidade de 3333 plantas ha⁻¹ irrigadas por microaspersão, T4 – densidade de 2667 plantas ha⁻¹, irrigadas por gotejamento, T5 – densidade de 3333 plantas ha⁻¹ irrigadas por gotejamento.

A análise de variância considerando o delineamento em blocos casualizados em parcelas subdivididas, mostrou efeito ($p < 0,05$) da interação entre os sistemas de irrigação, nas variáveis de crescimento altura de planta, diâmetro do caule, área foliar e índice de área foliar (Tabela 4).

Tabela 5. Efeito da interação entre a densidade de plantio e sistemas de irrigação no crescimento do mamoeiro cv. Tainung 01. ALTP- Altura da planta, DIAM- Diâmetro do caule, AF- Área foliar, IAF- Índice de área foliar.

Sistema de Irrigação	ALTP (m)		DIAM (m)		ÁF (m)		IAF (m)	
	Densidade (Plantas hectare ⁻¹)							
	2667	3333	2667	3333	2667	3333	2667	3333
Gotejo	1,183aA	1,208aA	0,053aA	0,065aA	2,338aA	2,690aA	0,623aB	0,898Aa
Micro	1,160bA	1,045bA	0,045bA	0,050bA	1,847bA	2,413bA	0,493bA	0,865bA

Medias seguida da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

Considerando as médias das variáveis ALTP, DIAM, AF e IAF quanto aos dois sistemas de irrigação, as médias obtidas com o sistema de irrigação por gotejamento foram superiores às do sistema de microaspersão, independente da densidade de plantas ou dos espaçamentos das mesmas. Não houve diferença entre as médias de ALTP, DIAM, AF e IAF das duas densidades de

plantio ou espaçamento (Tabela 4). Apresentaram o mesmo comportamento, com maiores médias para o sistema de irrigação por gotejamento.

Considerando os sistemas de irrigação, seja gotejamento ou microaspersão, não houve diferença significativa comparando as variáveis ALTP, DIAM e AF para as duas densidades de plantio, exceto para o sistema de gotejamento na densidade 3333 plantas ha^{-1} , em que a média da variável IAF foi maior em relação a densidade de 2667 ou espaçamento 3,0 m x 2,5 m com duas plantas por cova (Tabela 4). Os resultados encontrados nesse trabalho comparando a densidade de plantio, diferem dos resultados de observado por Costa (2003), onde segundo ele a densidade populacional do mamoeiro exerce influência direta sobre seu crescimento e desenvolvimento. O aumento no número de plantas por unidade de área intensifica a competição por recursos essenciais, como luz, nutrientes e água, podendo impactar o desempenho fisiológico e produtivo da cultura. RIOS et al (2019) observou que, na avaliação do mamão Tainig 01 em diferentes densidades de plantio, houve efeito significativo apenas para o diâmetro de caule e área foliar nas diferentes densidades de plantio, não sendo significativo para altura de planta.

SOUZA et al. (2008), ao avaliarem o desenvolvimento do mamoeiro do grupo “Formosa” sob diferentes espaçamentos no Sul do Espírito Santo, em condições de casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), município de Alegre – ES, não observaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos quanto ao diâmetro do caule.

2.2.2 Produtividade do mamoeiro

A análise de variância mostrou que apenas o número de frutos foi influenciado ($p < 0,05$) pelos tratamentos, conforme tabela 5, ou seja, não houve efeito dos tratamentos densidade-espaçamento na produção por planta, no peso médio de frutos, na produtividade, na circunferência e no comprimento dos frutos (Tabela 5). Apesar disso, a produtividade de todos os tratamentos, no primeiro ciclo da cultura, ficou acima da produtividade média nacional ($42.414 \text{ kg ha}^{-1}$) e do Estado da Bahia ($37.675 \text{ kg ha}^{-1}$), com base nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). Esses resultados encontrados (Tabela

5) demonstram que o adensamento contribui, de modo geral, para o aumento da produtividade do mamoeiro, cv. Tainung 01.

Os valores de produtividade, de modo geral, considerando o sistema de microaspersão quando utilizado na densidade de 3333 plantas ha⁻¹ apresentou resultado mais expressivo com 75,25 t ha⁻¹ (Tabela 5), seguido pela produtividade de 66,57 t ha⁻¹ correspondente a densidade de 2667 plantas com duas plantas por cova irrigadas também por microaspersão. Essas diferenças em valores absolutos na produtividade são atribuídas à maior quantidade de plantas por unidade de área cultivada e pelas melhores condições de umidade do solo geradas pela microaspersão num volume de solo superior ao volume sob gotejamento, pois o número de frutos e a produção por planta, desse tratamento, apresentaram valores gerais menores que alguns dos demais tratamentos avaliados.

Os resultados obtidos neste estudo contrastam com os de Resende (2016), que analisou o desempenho do mamoeiro "Sunrise Golden" sob diferentes densidades de plantio. Resende observou que o aumento da densidade resultou em uma redução no peso dos frutos comerciais, neste experimento, apesar de ser com mamoeiro do grupo formosa, não foi detectada diferença estatisticamente significativa no tamanho médio dos frutos (circunferência e comprimento) com o aumento da densidade de plantio.

Tabela 6. Produção e qualidades de frutos do mamoeiro cv. Tainung 01. NFrutosP – Número de frutos por planta, PPL – Produção por planta, Produt – Produtividade por hectare, Circun – Circunferência dos frutos e Comp – Comprimento dos frutos.

TRAT	NfrutosP	PPL	Pmed	Produt	Circun	Comp
	-	Kg	kg	t ha ⁻¹	cm	cm
T1	22,39c	25,75 a	1,11 a	58,11a	36,02a	26,70a
T2	46,95a	24,86a	1,06 a	66,57a	34,72a	25,57a
T3	22,63c	22,52a	1,01 a	75,25a	35,54a	26,18a
T4	37,48b	25,27a	1,23a	57,07a	38,63a	28,39a
T5	19,66c	19,97a	1,01a	57,84a	34,82a	25,12a

Medias seguida da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F (p<0,05). NFrutos – Número de frutos, PPL – Produção por planta, Produt – Produtividade por hectare, Circun – Circunferência dos frutos, e Comp – Comprimento dos frutos

A análise de variância considerando o delineamento em blocos casualizados em parcelas subdivididas, mostrou que as variáveis de produção e qualidade de fruto, tais como produção por planta, peso médio de frutos, produtividade e circunferência, não foram influenciadas pela interação entre a densidade de plantio e sistemas de irrigação (Tabela 7). A interação entre a densidade de plantio e o sistema de irrigação, teve efeito ($p < 0,05$) nas variáveis número e comprimento de frutos (Tabela 7). Considerando o sistema de irrigação por gotejamento, as variáveis número de frutos e comprimento do fruto foram maiores quando utilizou a densidade de 2667 plantas ha^{-1} . Para o sistema de irrigação por microaspersão, a variável número de frutos foi maior quando utilizou a densidade de 2667 plantas ha^{-1} .

Na densidade de plantio de 2.666 plantas por hectare, com duas plantas por cova, o sistema de irrigação por microaspersão proporcionou a maior média de produtividade, atingindo 66,55 t ha^{-1} . Esse desempenho foi mais que o dobro do observado por Oliveira et al. (2019), que, avaliou a cultivar Tainung 01 sob diferentes densidades de plantio, incluindo 2.857 plantas por hectare em fileiras simples com duas plantas por cova e avaliando o uso ou não de cobertura plástica ("mulch").

No estudo conduzido por Marinho et al. (2007), a variedade "Golden" alcançou uma produtividade de 79,4 t ha^{-1} ao longo de um ciclo de 11 meses e 21 dias, sob condições de diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio no norte do Espírito Santo. Esse desempenho superou os resultados obtidos em todos os tratamentos avaliados no presente estudo, inclusive na densidade de 3.333 plantas por hectare com irrigação por microaspersão, em que a produtividade registrada foi de 75,25 t ha^{-1} .

Tabela 7. Efeito da interação entre a densidade de plantio e sistemas de irrigação na produção e qualidades de frutos do mamoeiro cv. cv. Tainung 01. NFrutos – Número de frutos, PPL – Produção por planta, Produt – Produtividade por hectare, Circun – Circunferência dos frutos e Com – Comprimento dos frutos.

Manejo	Nfr		PPL(Kg)		Pmed (Kg)		Prod (ton há ⁻¹)		Circ (cm)		Com (cm)	
	Densidade (Plantas hectare ⁻¹)											
	2667	3333	2667	3333	2667	3333	2667	3333	2667	3333	2667	3333
Gotejo	37,47aA	19,66aB	25,27ns	19,97ns	1,23ns	1,01ns	57,07ns	66,56ns	38,63ns	34,82ns	28,39aA	25,12aB
Micro	46,95aA	22,64aB	24,87ns	22,58ns	1,06ns	1,01ns	66,57ns	75,25ns	34,72ns	35,54ns	25,57bA	26,18aA

Medias seguida da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

A análise de variância mostrou que não houve efeito do sistema de irrigação na produtividade da água (PROD), eficiência de uso da água (EUA) e pegada hídrica (Tabela 8). Em termo de valores médios absolutos, o tratamento T3 (duas plantas por cova –microaspersão) apresentou os maiores valores para a PROD e EUA, com valores de 36,66 e 29,56 Kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente.

Lima et al. (2015) investigaram o cultivo do mamoeiro cv. Golden no norte do Espírito Santo, utilizando espaçamento de 1,5 m × 3,6 m (1.852 plantas por hectare) com irrigação por gotejamento. A pegada hídrica relatada foi de 220 L água por kg de fruto produzido. No presente estudo, todos os tratamentos apresentaram valores superiores a esse, evidenciando uma maior demanda hídrica por quilograma de mamão colhido. Dentre os tratamentos avaliados, o T3, caracterizado pela densidade de 3.333 plantas por hectare sob irrigação por microaspersão, apresentou o menor valor de pegada hídrica, com 357,62 L H₂O kg⁻¹. Esse valor foi determinado considerando a lâmina total de irrigação aplicada, somada ao volume de precipitação pluviométrica ocorrida ao longo do primeiro ano de cultivo. Esses valores também se mostraram superiores aos observados em condições de cultivo protegido nas Ilhas Canárias, onde a cultivar Formosa de mamoeiro, conduzida com uma densidade de 1.600 plantas por hectare e irrigada por gotejamento, alcançou uma produtividade média de 60 kg por planta. Nessa configuração, a pegada hídrica foi estimada em aproximadamente 100 L de água por quilograma de fruto produzido, conforme reportado por Campostrini et al. (2018).

Tabela 8. Produtividade da Água (PROD), Eficiência de Uso da Água (EUA) e Pegada Hídrica (Kg há⁻¹ mm⁻¹), no cultivo do mamoeiro, cv. Tainung 01.

TRAT	PROD	EUA	PEGADA HÍDRICA
	Kg há ⁻¹ mm ⁻¹	Kg há ⁻¹ mm ⁻¹	LH ₂ O Kg ⁻¹
T1	28,31 ^{ns}	22,82 ^{ns}	477,13 ^{ns}
T2	32,44 ^{ns}	26,15 ^{ns}	392,58 ^{ns}
T3	36,66 ^{ns}	29,56 ^{ns}	357,62 ^{ns}
T4	27,81 ^{ns}	22,42 ^{ns}	452,60 ^{ns}
T5	32,43 ^{ns}	26,15 ^{ns}	392,39 ^{ns}
CV (%)	21,99	21,99	25,19

Medias seguida da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste F ($p < 0,05$) e ns não significativo ($p < 0,05$).

2.3 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que tanto a densidade de plantio quanto o sistema de irrigação têm impacto direto no desenvolvimento e produtividade do mamoeiro cv. Tainung 01.

A densidade de plantio de 2.667 plantas ha⁻¹ associada ao sistema de gotejamento foi a que apresentou os melhores resultados para as variáveis vegetativas, enquanto a densidade de 3.333 plantas ha⁻¹, irrigada por microaspersão, destacou-se na produção de frutos, evidenciando a importância de se adaptar o manejo de irrigação às características do solo e à demanda hídrica da cultura.

Além disso, a análise da eficiência de uso da água e da pegada hídrica revelou que, apesar das variações no desempenho entre os tratamentos, o sistema de microaspersão mostrou-se vantajoso em termos de redução do consumo hídrico.

2.4 REFERÊNCIAS

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

ANDRADE, D. D. S., SILVA, M. M., De OLIVEIRA, C. L., LEAO, P. D. S., CORREIA, F. C., ANTONINO, A. C. D., LIMA, J. D. S., (2023) Evapotranspiração, coeficiente de cultivo e eficiência no uso de água de uvas viníferas cultivadas no Agreste Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 03, p. 1376-1386.

AZEVEDO, A. M. de et al. Influência do espaçamento sobre o crescimento e a produtividade do mamoeiro 'Formosa'. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v. 37, n. 2, p. 407–414, 2015.

CAMPOSTRINI, C.; E. Light effects on photosynthetic capacity and growth of papaya (*Carica papaya* L.): a short review. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, p.480-485, 2019..

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; CRUZ, J. L.; SOUZA, L. F. da S.; OLIVEIRA, A. M. de; SILVA, T. S. M. da. Marcha de absorcao de macro e micronutrientes do mamoeiro sunrise solo. In: MARTINS, D. dos S.; COSTA, A. N.; COSTA A. F. S. (ed.). Papaya Brasil: manejo, qualidade e mercado do mamao. Vitoria: **Incaper**, p. 29-40, 2007.

COELHO, E. F. et al. Eficiência do uso da água em diferentes sistemas de irrigação. **Embrapa Mandioca e Fruticultura** - Documentos, n. 278, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1137185>. Acesso em: 10 abr. 2025.

COELHO, E. F. SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M. Irrigação e fertirrigação em hortaliças e fruteiras tropicais. Brasília, DF: **Embrapa**, 2013. cap. 9, p. 339-377.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. M. G.; SANTOS, A. N. Produção e crescimento do meloeiro em função da densidade de plantio e do espaçamento entre linhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 563–568, 2010.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. M. G.; SILVA, J. G. F.; COELHO FILHO, M. A.; CRUZ, J.L. Irrigação e Fertirrigação na cultura do mamão. In: SOUZA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (Org.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. 1ed., Brasília, 2011, p.442-472.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. M. G.; SILVA, J. G. F.; COELHO FILHO, M. A.; CRUZ, J. L. Irrigação e Fertirrigação na cultura do mamão. In: SOUZA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (Org.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. 1ed., Brasília, p.442-472, 2011.

COELHO, E. F.; SANTOS, M. R. dos; DONATO, S. L. R.; REIS, J. B. R. da S.; CASTRICINI, A. Produção e eficiência de uso da água em cultivares de bananeira sob irrigação com déficit controlado. **Irriga**, Botucatu, v. 26, p. 94-110, 2021.

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

COELHO, E. F.; SANTOS, D. L.; LIMA, L. W. F.; CASTRICINI, A.; BARROS, D. L.; FILGUEIRAS, R.; CUNHA, F.F. Water regimes on soil covered with plastic film mulch and relationships with soil water availability, yield, and water use efficiency of papaya trees. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 269, article 107709, 2022.

COMPANHIA DE ARMAZÉNS GERAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO (CAGESP) Disponível em: < <http://www.ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2015/07/mamaopdf> >Acesso,julho 2024.

FAO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Rome: FAO, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 05 mai. de 2024.

FERNANDES, J. E.; ALCON, F.; DIAZ-ESPEJO, A.; HERNANDEZ-SANTANA, V.; CUEVAS, M. V. Water use indicators and economic analysis for on-farm irrigation decision: A case study of a super high density olive tree orchard. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 237, p.1-13, 2020.

FLÔRES, J. A.; MALAVASI, M. M.; MALAVASI, U. C. Área foliar e produção de matéria seca de cultivares de mamoeiro em diferentes épocas de avaliação. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 34, n. 4, p. 1135–1142, 2012.

GUIMARÃES, M.; LOPES, I.; OLDONI, H.; COELHO FILHO, M. A. Balanço hídrico para diferentes regimes pluviométricos na região de Cruz das Almas-BA. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 59, n. 3, p. 252-258, 2016.

HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. S.; MARQUES, L. A.; PEDROSO, D. B.; PIEDADE, S. M. S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/mamao/br>.

JIMÉNEZ, H. A. et al. Efeito do espaçamento e densidade de plantio na produção de mamoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 1, p. 88–95, 2014.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: **Chapman & Hall**, 1990.

LI, X., QIANG, X., Yu, Z., LI, S., SUN, Z., HE, J., HE, L., (2024). Effects of different water stresses under subsurface infiltration irrigation on eggplant growth and water productivity. **Scientia Horticulturae**, v. 337, p. 113548, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113548>

MATSUNAGA, W. K., SILVA, V. D. P., AMORIM, V. P., SALES, E. S., DANTAS, S. M., OLIVEIRA, A. B. Evapotranspiration, crop coefficient and water use efficiency of onion cultivated under different irrigation depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 219-225, 2022.

NUNES, E. C. da; PERUCH, L. A. M. Recomendações técnicas para a produção de mandioca de indústria e mesa em Santa Catarina. (Epagri. Sistema de Produção, 51). Florianópolis: **Epagri**, 2018. 80p.

OLIVEIRA, A. M. A. et al. Cultivo do mamoeiro irrigado no semiárido: uma alternativa sustentável. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 5, p. 166–174, 2012.

OLIVEIRA, A. M. G.; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; SOUZA, L. F. S. Fertirrigação em fruteiras tropicais. 2 ed, rev e ampl, Cruz das Almas, BA, **Embrapa Mandioca e Fruticultura**, il; 21 cm. 2009.118p.

OLIVEIRA, F. L. de. Crescimento, produção e qualidade de mamoeiro ‘Formosa’ sob diferentes espaçamentos e adubação fosfatada. 2019. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2019.

PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 16, n. 4, p. 118-43, 1997.

POSSE, R.P.; SOUSA, E.F.; BERNARDO, S.; PEREIRA, M.G.; GOTTARDO, R.D. Total leaf área of papaya trees estimated by a nondestructive method. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v.66, n.4, p.462-466, 2009.

REZENDE, J. O. **Recôncavo Baiano, berço da Universidade Federal segunda da Bahia: passado, presente e futuro**. Salvador: P&A, 2004. 194p.

RODRIGUES, W. P.; SILVA, J. R.; LIMA, R. S. N. Environmental factors controlling carbon assimilation, growth, and yield of papaya (*Carica papaya* L.) under waterscarcity scenarios. In: TEJERO, I.F.G.; ZUAZO, V.H.D (Org). **Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment**. London: Academic Press, 2018.

SANTOS, D. L.; COELHO, E. F.; CUNHA, F. F. da; DONATO, S. L. R.; BERNADO, W. de P.; RODRIGUES, W. P.; CAMPOSTRINI, E. Partial root-zone drying in field-grown papaya: Gas exchange, yield, and water use efficiency. **Agricultural water management**, Amsterdam, v. 243, article 106421, 2021.

SANTOS, H.G. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, Brasília: Embrapa Produção de informação, Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 3 ed, ver. ampl, 2013, 353p.

SANTOS, M. R. et al. Growth, yield, and water-use efficiency of papaya plants in the semi-arid region of Bahia State, Brazil. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 6, n. 2, p. 141–149, 2017.

SILVA, J. R.; RODRIGUES, W. P.; RUAS, K.F.; PAIXÃO, J.S.; ROBERTA, S. N. de; SINGH, G.; SINGH, A. K.; MISHRA, D. High Density Planting in Guava. **The Haghe Acta Horticulturae**, v. 735, p. 235-241, 2007.

SILVA, M. J. da et al. Efeito de diferentes espaçamentos de plantio sobre o crescimento do mamoeiro em sistema irrigado. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v. 10, n. 5, p. 14–28, 2021.

SOUZA, A. L. P.; COSTA, M. M.; SENA JUNIOR, D. G.; PAZ, R. B. O. Avaliação de três métodos de obtenção do índice de área foliar para cultura da soja. **Nativa**, v. 7, n. 3, p. 284-287, 2019.

SOUZA, H. A. de et al. Uso racional da água na fruticultura irrigada. Embrapa Semiárido - **Documentos**, n. 308, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1137602>. Acesso em: 10 abr. 2025.

SOUZA, M. F.; SANTOS, J. G. dos; PEREIRA, E. de O.; COELHO, R. I.; Influência do espaçamento no desenvolvimento do mamoeiro (Carica papaya L.). **Anais**. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale da Paraíba, 2008.

SOUZA, V. A. P. de; SANTOS, M. R.; ARAÚJO, A. M. de; COSTA, L. T.; DONATO, S. L. R. Root system of 'BRS Platina' banana under irrigation levels and planting densities. **Comunicata Scientiae**, v. 12, e3605, 2021.

TESTEZLAF, R. Irrigação: conceitos e métodos. 1. ed. Campinas: FEAGRI/UNICAMP, 2017. 264 p.

CAPITULO 2

DISTRIBUIÇÃO RADICULAR DO MAMOEIRO CULTIVADO EM DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTIO COM DOIS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

RESUMO:

O crescimento do sistema radicular e a extensão da área de solo explorada pelas raízes estão diretamente influenciados pela disponibilidade de água e nutrientes, fatores essenciais para o desenvolvimento das plantas e a eficiência na absorção de recursos do solo. O objetivo desse trabalho foi avaliar o desenvolvimento radicular do mamoeiro (*Carica papaya* L.) cv. Tainung 01 sob diferentes densidades de plantio e sistemas de irrigação. A análise de variância demonstrou efeito significativo dos tratamentos sobre o comprimento total de raízes (CTr) e a densidade de comprimento de raízes (DCR) a 0,20 m de profundidade e 0,25 m de distância da planta. O tratamento T3, correspondente à densidade de 3.333 plantas ha⁻¹ com uma planta por cova, irrigado por microaspersão, apresentou os maiores valores médios de CTr (400,91 cm) e DCR (0,200 cm³ cm⁻³). A interação entre densidade de plantio e sistema de irrigação foi significativa, com superioridade do sistema de microaspersão na densidade mais elevada. A análise da distribuição da lâmina de irrigação revelou maior uniformidade (CUC = 85,13% e CUD = 77,35%) na densidade de 2.314 plantas ha⁻¹. A uniformidade de distribuição por planta (CUDp), em um raio de 0,75 m ao redor do tronco, foi superior à da área total irrigada, com médias de 86,98%, 77,05% e 67,92% para as densidades de 2.314, 2.667 e 3.333 plantas ha⁻¹, respectivamente.

Palavra-chave: Carica papaya, espaçamento, raízes, manejo de irrigação, lâmina aplicada.

ABSTRACT:

The growth of the root system and the extension of the soil area explored by the roots are directly influenced by the availability of water and nutrients, essential factors for plant development and the efficiency in the absorption of soil resources. The objective of this study was to evaluate the root development of papaya (*Carica papaya* L.) cv. Tainung 01 under different planting densities and irrigation systems. The analysis of variance showed a significant effect of the treatments on the total root length (CTr) and root length density (DCR) at 0.20 m depth and 0.25 m distance from the plant. The T3 treatment, corresponding to the density of 3,333 plants ha⁻¹ with one plant per hole, irrigated by microsprinkler, presented the highest mean values of CTr (400.91 cm) and DCR (0.200 cm³ cm⁻³). The interaction between planting density and irrigation system was significant, with superiority of the microsprinkler system at the highest density. The analysis of the distribution of the irrigation depth revealed greater uniformity (CUC = 85.13% and CUD = 77.35%) at the density of 2,314 plants ha⁻¹. The distribution uniformity per plant (CUDp), in a radius of 0.75 m around the trunk, was superior to that of the total irrigated area, with averages of 86.98%, 77.05% and 67.92% for the densities of 2,314, 2,667 and 3,333 plants ha⁻¹, respectively.

Keyword: *Carica papaya*, spacing, roots, irrigation management, applied depth.

3 INTRODUÇÃO

A disposição do sistema radicular das culturas é influenciada pelas características genéticas da planta e pelas condições ambientais em que se desenvolvem, tais como o clima e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (SMITH et al., 2021; LIU et al., 2020). O volume de solo disponível para o desenvolvimento das raízes influencia diretamente o crescimento e a absorção de água e nutrientes pela planta (BÜNEMANN et al., 2018).

O crescimento das raízes e a extensão do solo explorado pelo sistema radicular estão diretamente ligados à disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, refletindo a qualidade do manejo agrícola do solo e sua fertilidade (ABICHEQUER, 2004; SOUZA et al., 2008). Quanto maior esse valor de comprimento da raiz e de densidade, maior a eficiência na absorção de nutrientes por unidade de volume de solo (DONATO et al., 2012).

Nesse contexto, destaca-se que a raiz é o primeiro órgão da planta a perceber e reagir às condições do solo, especialmente em situações de escassez hídrica (CHEN et al., 2020). Considerando que o mamoeiro é uma cultura sensível à deficiência de água, torna-se fundamental a adoção de sistemas de irrigação eficientes, principalmente em períodos em que a precipitação natural não supre as exigências hídricas da planta (COELHO et al., 2011).

Dentre os métodos disponíveis, a microirrigação, especialmente os sistemas de gotejamento e microaspersão, destaca-se por promover maior eficiência no uso da água, fornecendo-a diretamente na zona de maior atividade radicular, o que é particularmente vantajoso para o mamoeiro (SANTOS et al., 2015; COELHO et al., 2011). A escolha do sistema de irrigação e a definição da densidade de plantio estão interligadas, uma vez que influenciam a competição entre plantas, uniformidade da lâmina de irrigação aplicada e a distribuição do sistema radicular (SOUZA et al., 2020; DONATO et al., 2015).

O conhecimento sobre o comprimento e densidade do sistema radicular das culturas no entorno da planta é importante para compreender as regiões de absorção de água pelas raízes e com isso, aprimorar o desempenho agrônômico das plantas, definindo espaçamento adequado, melhor práticas de manejo de irrigação e fertilização no pomar, além de poder compreender o crescimento das

plantas em uma determinada região (COELHO et al., 2007; SANTOS et al., 2005; COELHO et al., 2003; COELHO et al., 2022).

Nas regiões de Tabuleiros Costeiros, o sistema radicular do mamoeiro apresenta uma concentração significativa num raio de aproximadamente 0,35 m a partir do tronco da planta (COELHO et al., 2000). Em um estudo sobre a distribuição do sistema radicular do mamoeiro 'Tainung 01', cultivado em Argissolo Amarelo de Tabuleiro Costeiro na Bahia, SOUZA et al. (2016) constataram que aproximadamente 93 % das raízes estavam concentradas até a profundidade de 0,60 m na linha e 0,40 m na entrelinha, em um raio de 0,50 m ao redor da planta. No entanto, essa distribuição pode variar consideravelmente devido às diferentes texturas e estruturas do solo (COELHO ET AL., 2002).

O objetivo deste trabalho foi: (i) avaliar a distribuição de raízes do mamoeiro cv. Tainung 01, em três densidades de plantas e dois sistemas de irrigação; (ii) avaliar para o sistema de microaspersão, as relações entre as lâminas de irrigação calculada e efetiva para o sistema radicular da planta em três densidades ou espaçamentos de plantio.

3.1 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Embrapa Mandioca e Fruticultura, localizada no município de Cruz das Almas, estado da Bahia, Brasil, nas coordenadas geográficas 12°40'30"S e 39°05'24"W, a uma altitude de 219 m. O clima local, classificado de acordo com Köppen como tipo Aw a Am, é caracterizado como tropical quente e úmido, com médias anuais de precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa de 1.131,17 mm, 24,5 °C e 80%, respectivamente (REZENDE, 2004; GUIMARÃES et al., 2016).

A tabela 9 mostra os dados de temperatura (°C), chuva (mm) e lâmina de irrigação aplicada (mm) na área do experimento durante o período de desenvolvimento e produção da cultura.

Tabela 9. Temperatura (°C), precipitação (mm) e lâmina aplicada de irrigação (mm), durante o período de crescimento e produção do mamoeiro.

Meses	Temperatura (°C)			Precipitação	Lâmina de irrigação
	Máxima	Mínima	Média	(mm)	(mm)
mar/23	28,96	22,30	25,63	141,70	14,73
abr/23	30,11	22,30	26,20	43,70	42,04
mai/23	27,29	21,70	24,49	109,40	27,28
jun/23	25,88	20,30	23,09	136,60	8,54
jul/23	26,15	19,40	22,77	95,30	54,51
ago/23	27,81	20,10	23,95	118,50	25,59
set/23	28,41	20,70	24,56	76,70	54,42
out/23	30,60	21,20	25,90	15,70	154,42
nov/23	32,19	22,20	27,20	25,10	116,00
dez/23	30,80	22,70	26,75	81,40	104,67
jan/24	31,75	23,50	27,63	232,80	85,33
fev/24	32,35	23,40	27,88	138,50	56,00
mar/24	33,20	23,90	28,55	77,00	16,53
Total	29,65	21,82	25,74	1.292,40	760,06

O solo da área foi classificado como Latossolo amarelo distrocoeso (SANTOS et al., 2013). Foram coletadas amostras indeformadas de solo para caracterização dos atributos físicos do solo nas profundidades de 0,00 a 0,60m, para a determinação da curva de retenção de água no solo.

As curvas de retenção de água no solo, foram ajustadas pela equação de Van Genutchen (1980), conforme a equação 7.

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \phi m)^n]^m} \quad (7)$$

em que:

Em que:

θ = Umidade volumétrica cm³ cm⁻³;

θ_r = Umidade residual cm³ cm⁻³;

θ_s = Umidade na saturação cm³ cm⁻³;

ψ_m = Potencial matricial (m).

Os parâmetros de ajuste, para camada de 0,00-0,30m, foram $\alpha = 3,817$; $n = 1,346$ e $m = 0,257$, sendo a umidade saturada = $0,2471 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, umidade residual = $0,1617 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Os parâmetros de ajuste, para camada de 0,30-0,60m, foram $\alpha = 1,469$; $n = 1,500$ e $m = 0,333$, com a umidade saturada = $0,2623 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, umidade residual = $0,1400 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

As curvas características de retenção de água no solo então apresentada na figura 2.

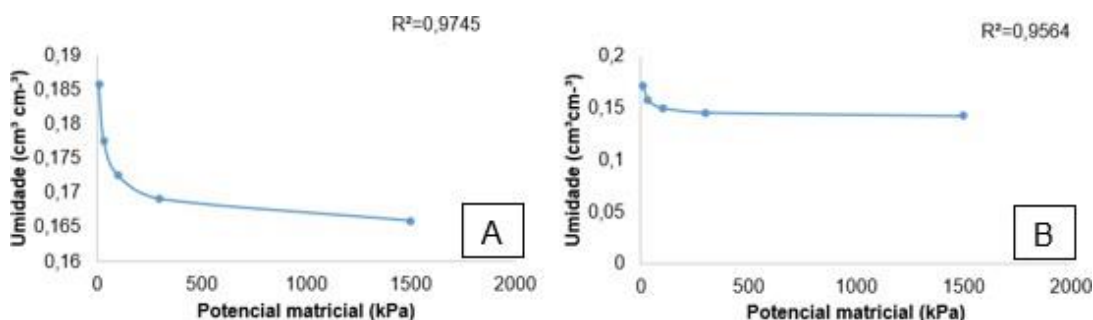


Figura 8. Curva de retenção de água no solo para a camada de 0,00-0,30m (A) e para a camada de 0,30-0,60m (B).

Também foram coletadas amostras de solo deformadas para a determinação das características químicas do solo como mostra a tabela 10. As coletas foram feitas nas profundidades 0-20 e 20-40 cm.

Tabela 100 Atributos químicos do solo: SB: soma de bases trocáveis; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases e MO: matéria orgânica antes da instalação do experimento. Cruz das Almas – BA, 2023.

Atributos químicos													
Camada (m)	pH (H ₂ O)	P (mg dm ⁻³)	K	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	Na	H+Al	SB	CTC	V (%)	MO (g Kg ⁻¹)
0,0-20	6,0	17	0,43	1,94	1,27	3,21	0,0	0,12	1,30	3,76	5,06	74	
20-40	5,8	14	0,48	1,48	0,90	2,38	0,0	0,07	1,36	2,94	4,30	68	

O objeto de estudo foi a cultura do mamoeiro cv. Tainung nº 1, do grupo Formosa. As mudas foram preparadas utilizando como substrato "solo orgânico". O plantio na área experimental ocorreu em 03 de janeiro de 2023, com as plantas apresentando cerca de 0,25 metros de altura. A adubação de fundação foi realizada de acordo com as recomendações descritas por Oliveira et al. (2009).

A irrigação do mamoeiro foi pelo método de irrigação localizada, utilizando dois sistemas distintos: gotejamento e microaspersão. No sistema de gotejamento, foram empregados gotejadores com vazão de $2,1 \text{ L h}^{-1}$, dispostos em duas linhas por fileira de plantas, com espaçamento de 0,30 m entre os gotejadores, totalizando dezesseis gotejadores para o tratamento T4 e seis gotejadores para o tratamento T5. Já no sistema de microaspersão, foram utilizados emissores com vazão de 70 L h^{-1} espaçados de 3,0 m, para os tratamentos com espaçamentos de $3,0 \text{ m} \times 1,8 \text{ m} \times 1,8 \text{ m}$ (fileira dupla) e $3,0 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$, foi adotado um emissor para cada quatro plantas. Já no espaçamento mais adensado, de $3,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m}$, cada emissor atendeu a seis plantas.

A lâmina de irrigação aplicada para atender a demanda da planta, foi estimada tomando como base a evapotranspiração de referência, calculada por Hangeaves Samani, utilizando os dados de temperatura (máxima, média e mínima) e da radiação solar extraterrestre (equação 8). A escolha da equação de Hangeaves Samani, para estimar a demanda hídrica do mamoeiro foi devido à estação meteorológica da EMBRAPA não está fornecendo todos os dados para os cálculos da equação de Penman-Monteith.

$$ET_o = 0,0023 \times (T_m + 17,8) \times (T_{\max} - T_{\min})^{0,5} \times R_a \quad (8)$$

Em que:

ET_o : Evapotranspiração de referência (mm/dia);

T_m = Temperatura média diária do ar ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{\max}$ = Temperatura máxima diária do ar ($^{\circ}\text{C}$);

$T_{\min}$ = Temperatura mínima diária do ar ($^{\circ}\text{C}$);

R_a = Radiação solar extraterrestre ($\text{MJ/m}^2/\text{dia}$)

3.1.1 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento blocos casualizado, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram definidos da seguinte forma: Tratamento 1 (espaçamento de 3,0 x 1,8 x 1,8 m, em fileira dupla, totalizando 2.314 plantas por hectare, irrigadas por microaspersão); Tratamento 2 (espaçamento de 3,0 x 2,5 m, em fileira simples, com duas plantas por cova, totalizando 2.666 plantas por hectare, irrigadas por microaspersão); Tratamento 3 (espaçamento de 3,0 x 1,0 m, em fileira simples, com uma planta por cova, totalizando 3.333 plantas por hectare, irrigadas por microaspersão); Tratamento 4 (espaçamento de 3,0 x 2,5 m, em fileira simples, com duas plantas por cova, totalizando 2.666 plantas por hectare, irrigadas por gotejamento); e Tratamento 5 (espaçamento de 3,0 x 1,0 m, em fileira simples, com uma planta por cova, totalizando 3.333 plantas por hectare, irrigadas por gotejamento). Nas distribuições com duas plantas por cova, as mudas foram plantadas com espaçamento de 0,50 m entre si.

3.1.2 Coleta de raízes

A coleta das raízes do mamoeiro foi realizada, na fase produtiva da cultura conforme Coelho et al (2008), com abertura de trincheiras, utilizando picareta e enxadão. As amostras do sistema radicular foram coletadas na profundidade 0-20 m, na distância de 0-0,25 m. Esses locais foram selecionados para coleta das raízes, por estarem na região do sistema radículas de maior atividade das raízes (Rios, 2019). Nos sistemas de irrigação por gotejamento as amostras foram coletadas paralelamente à linha de gotejamento já no sistema de microaspersão as coletas foram feitas da planta em direção ao microaspersores, como pode ser observado na figura 8. As dimensões das amostras de solo contendo raízes do mamoeiro foi de 0,10 m x 0,10 m x 0,20 m, correspondendo a um volume de 0,002 m³ de solo.

As amostras foram coletadas com ajuda de um cavador, faca e trena para medir o comprimento e a largura da amostra. Depois de retirar a amostra

foi acondicionada em embalagens plásticas, identificadas com uso de etiquetas de placas metálicas e, sendo processadas posteriormente.

3.1.3 Processamento das raízes

Após a finalização da coleta em campo, as raízes foram submetidas a um processo inicial de lavagem com água para separação do solo. Em seguida, as raízes foram separadas e acondicionadas em embalagens plásticas contendo uma solução de álcool diluído em 50% de água destilada. Posteriormente, essas amostras foram armazenadas em refrigerador a uma temperatura de 5°C (KASPAR e EWING, 1997).

As amostras das raízes foram retiradas do armazenamento e colocadas para secagem natural em folhas de papel toalha. Posteriormente, foi realizada a separação de possíveis sujeiras, como raízes de plantas, restos de folhas ou outras impurezas. Em seguida, as raízes foram dispostas sobre folhas de transparência e digitalizadas em arquivos no formato Tagged Image File Format (TIFF), utilizando um scanner com resolução de 600 dpi, escala de 100% e brilho entre 100 (KASPAR e EWING, 1997; COELHO et al., 1999).



Figura 9. Registro do processamento das raízes: coleta das raízes na amostra de solo (A); secagem em papel filme (B); Scanner(C) e amostra pronta para digitalização (D).

Os arquivos digitalizados foram importados e analisados com o aplicativo Rootedge (KASPAR e EWING, 1997) para a determinação das características geométricas das raízes. Os dados de comprimento total de raízes (L_r) foram utilizados para a determinação da densidade de comprimento de raízes (DCr), obtida conforme metodologia descrita por Coelho et al. (2008). A equação utilizada para essa determinação é apresentada a seguir:

$$DCr = \frac{CTr}{V_s} \quad (9)$$

Em que:

- DCr = Densidade de comprimento de raízes, (cm cm^{-3});
- CTr = comprimento total de raízes (cm);
- V_s = Volume de solo da amostra, (cm^3).

3.1.4 Distribuição de água dos sistemas de irrigação

Foram realizados dois testes de uniformidade de aplicação de água dos microaspersores em dois momentos. A primeira avaliação foi nos dias 30/08/2023 e 01/09/2023 nos horários de 16:00 horas e 10:00 horas onde a velocidade do vento foi de 0,5 e 0,1 m/s, respectivamente. A segunda avaliação foi no dia 10/10/2023 nos horários de 10:00 e 14:00 horas, onde a velocidade do vento foi de 0,4 e 3,4 m/s respectivamente. Coletores de precipitação foram dispostos em uma malha de pontos distantes 0,50 m entre si com o microaspersor no centro. A malha de coletores abrangeu a área destinada as plantas de forma que fosse possível coletar água de todo raio de ação do microaspersor (Figura 10). Dessa forma foi possível uma análise detalhada da distribuição de precipitação proporcionada pelo microaspersor. O Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), foi obtido conforme equação 10 e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), conforme equação 11.

$$CUC = 100 * \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n\bar{X}}\right) \quad (10)$$

Em que:

CUC= Coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

N= Número de coletores;

X_i = Lâmina coletada em um ponto, mm;

$\bar{X}$ = Lâmina média em todos os pontos, mm.

$$CUD = 100 * \left(\frac{X_{25\%}}{\bar{X}}\right) \quad (11)$$

Em que:

CUD= Coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

$X_{25\%}$ = Lâmina média de 25% dos coletores com menores valores mm;

$\bar{X}$ = Lâmina média de todos os coletores de mm.

A figura 10 mostra a distribuição dos coletores, em torno do microaspersor e também em voltas das plantas que abrange a área de cada planta, nos diferentes espaçamentos.

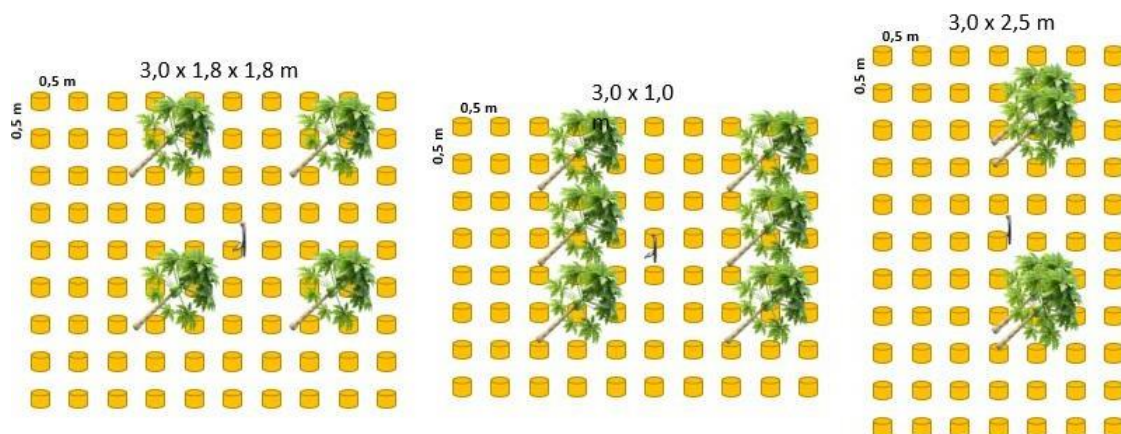


Figura 10. Disposição dos coletores em torno de um microaspersor instalado no centro da área.

A partir dos dados obtidos para o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), foi possível avaliar a eficiência e homogeneidade da aplicação de água no sistema de irrigação adotado. Esses indicadores permitiram analisar o comportamento da distribuição da lâmina de irrigação por planta em cada tratamento, considerando os diferentes espaçamentos e configurações do sistema de microaspersão, fundamentais para garantir uma irrigação uniforme e adequada às exigências hídricas da cultura.

Os valores obtidos em função dos tratamentos foram submetidos a duas análises de variância: (i) considerando o delineamento inteiramente casualizados com cinco tratamentos (T1, T2, T3, T4 e T5) e (ii) considerando inteiramente casualizados em parcelas subdivididas 2x2, duas densidades de plantio (2667 e 3333 plantas por hectare) e dois sistemas de irrigação (gotejamento e microaspersão). Constatado o efeito da fonte de variação nas variáveis dependentes, o teste de Tukey (5 % de probabilidade) foi usado para comparação das médias dos tratamentos, utilizando-se o software Sisvar (FERREIRA, 2019).

3.2 RESULTADOS E DISCURSÃO

A análise de variância mostrou que houve efeito dos tratamentos no comprimento total de raízes e na densidade de comprimento de raízes a 0,20 m de profundidade e 0,25m da planta. O tratamento T3, mostrou maior comprimento de raízes e maior densidade de comprimento de raízes do mamoeiro, cv. Tainung 01 em relação aos demais tratamentos (Tabela 11). Os valores de comprimento e densidade das raízes para o tratamento T3 onde a densidade de plantio foi de 3333 plantas por hectare, com uma planta por cova, foi de 400,91 cm e 0,200 cm³ cm⁻³, respectivamente. RIOS et al (2019) ao avaliar a distribuição de raízes do mamoeiro cv. Tainung nº1 em diferentes densidades de plantas com e sem uso de cobertura plástica do solo, verificou que na densidade de plantio de 2.857 plantas ha⁻¹ espaçamento 3,5 x1,0 m, sem o uso de cobertura, com uma planta por cova apresentou maior crescimento radicular.

Tabela 111. Médias das variáveis comprimento e densidade de raízes de plantas do mamoeiro, cv. Tainung 01.

TRATAMENTO	COMPRIMENTO (cm)	DENSIDADE (cm ³ cm ³)
T1	163,61 b	0,082b
T2	64,83 b	0,032b
T3	400,91 a	0,200 a
T4	99,99 b	0,050b
T5	107,91b	0,054 b
CV (%)	45,09	45,23

Medias seguida da mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem entre si pelo teste F (p<0,05) e ns não significativo (p<0,05).

A análise de variância considerando os quatro tratamentos T2, T3, T4 e T5 em parcelas subdivididas 2 x 2 mostrou efeito da densidade de plantas, do sistema de irrigação e da interação entre as duas fontes de variação nas variáveis dependentes densidade de comprimento e comprimento de raízes a 0,20 m de profundidade (tabela 12). Considerando a densidade de 3333 plantas hectare, as variáveis comprimento de raiz e densidade de raiz, apresentaram as maiores médias no sistema de irrigação por microaspersão, com valores de 400,91cm e 0,200 cm³ cm³, respectivamente. Para densidade 2667 plantas por hectare, não houve diferença significativa entre essas variáveis nos dois sistemas de irrigação. Considerando o sistema de irrigação por gotejamento, as

variáveis comprimento e densidade de comprimento não diferiram entre as duas densidades de plantas; no sistema de microaspersão os maiores valores de CTr e DCR ocorreram para a maior densidade de plantas (espaçamento 3,0 m x 1,0 m).

Tabela 122. Efeito da interação entre a densidade de plantio e sistemas de irrigação na produção, das variáveis comprimento e densidade de raízes de plantas do mamoeiro, cv. Tainung 01.

Manejo	COMP.RAIZ (cm)		DCR (cm ³ cm ³)	
	2667	3333	2667	3333
Gotejo	99,98aA	107,77bA	0,050aA	0,054bA
Micro	64,83aB	400,91aA	0,0323aB	0,200aA
CV1 (%)	28,17	28,17	28,28	28,28
CV2 (%)	35,26	35,26	35,30	35,30

As lâminas de água aplicadas através do teste de uniformidade para os tratamentos onde utilizou o sistema de microaspersão, pode ser observado na tabela 13. A lâmina média da distribuição de água do sistema de irrigação da área total ocupada pelo miciroaspersor para as densidades 2314, 2667 e 3333 plantas por hectare, foram de 3,55, 3,70 e 3,1 mm, respectivamente. A densidade de 2314 plantas por hectare, apresentou os maiores valores do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e Coeficiente de uniformidade e distribuição (CUD), sendo 85,13 e 77,35 %, respectivamente. Esse resultado era esperado, uma vez que as folhas e caule das plantas interrompem as trajetórias dos jatos de água causando desuniformidade de distribuição e quanto maior o número de plantas maior incidência dessas interrupções.

Tabela 133. Distribuição da lâmina total para cada tratamento. Densidade da planta (Dens); lâmina bruta calculada- Lamb, evapotranspiração da cultura- Etc, lâmina média da distribuição de água do microaspersor-Lamd, coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição da água aplicada pelo microaspersor (CUD).

Dens	Lâmbmm.....	ETc	Lamd	CUC%.....	CUD
2314	3,5	6,59	3,55	85,13	77,35
2667	3,5	6,59	3,7	79,50	62,20
3333	3,5	6,59	3,1	70,95	47,91

O comportamento da distribuição da lâmina de água aplicada nas densidades 2314 e 3333 plantas por hectare, com o microaspersor localizado entre duas linhas de plantas do mamoeiro, pode ser observado na Figura 11. As coletas dos dados das fig. 11A e 11D, foram realizadas no período da tarde enquanto que os dados da fig. 11B e 11C, fora realizada no período da manhã. As linhas L1 e L2, representam as lâminas aplicadas ortogonalmente entre si, cruzando o microaspersor no centro entre duas fileiras de plantas. A linha LB representa a lâmina bruta calculada. A densidade de plantio 2314 planta por hectare, apresentou melhor distribuição das lâminas L1 e L2 no segundo momento (Fig.11C), quando as lâminas em cada posição do coletor são próximas da lâmina calculada tanto em L1 como em L2. No primeiro momento (Fig. 11A). Essa densidade apresentou menor de uniformidade na distribuição da lâmina aplicada com as lâminas superiores a lâmina calculada em todas as posições dos coletores nas linhas L2 e L1. No caso da densidade de 3333 plantas por hectare, a distribuição das lâminas L1 e L2 por coletor apresentou – se de forma mais característica a encontrada na literatura com as regiões mais afastadas do microaspersor, com lâminas abaixo da calculada e o contrário mais próximo do microaspersor nos dois momentos avaliados. Essas variações das distribuições das lâminas são esperadas devido aos efeitos principalmente da velocidade e da direção do vento durante a execução da irrigação.

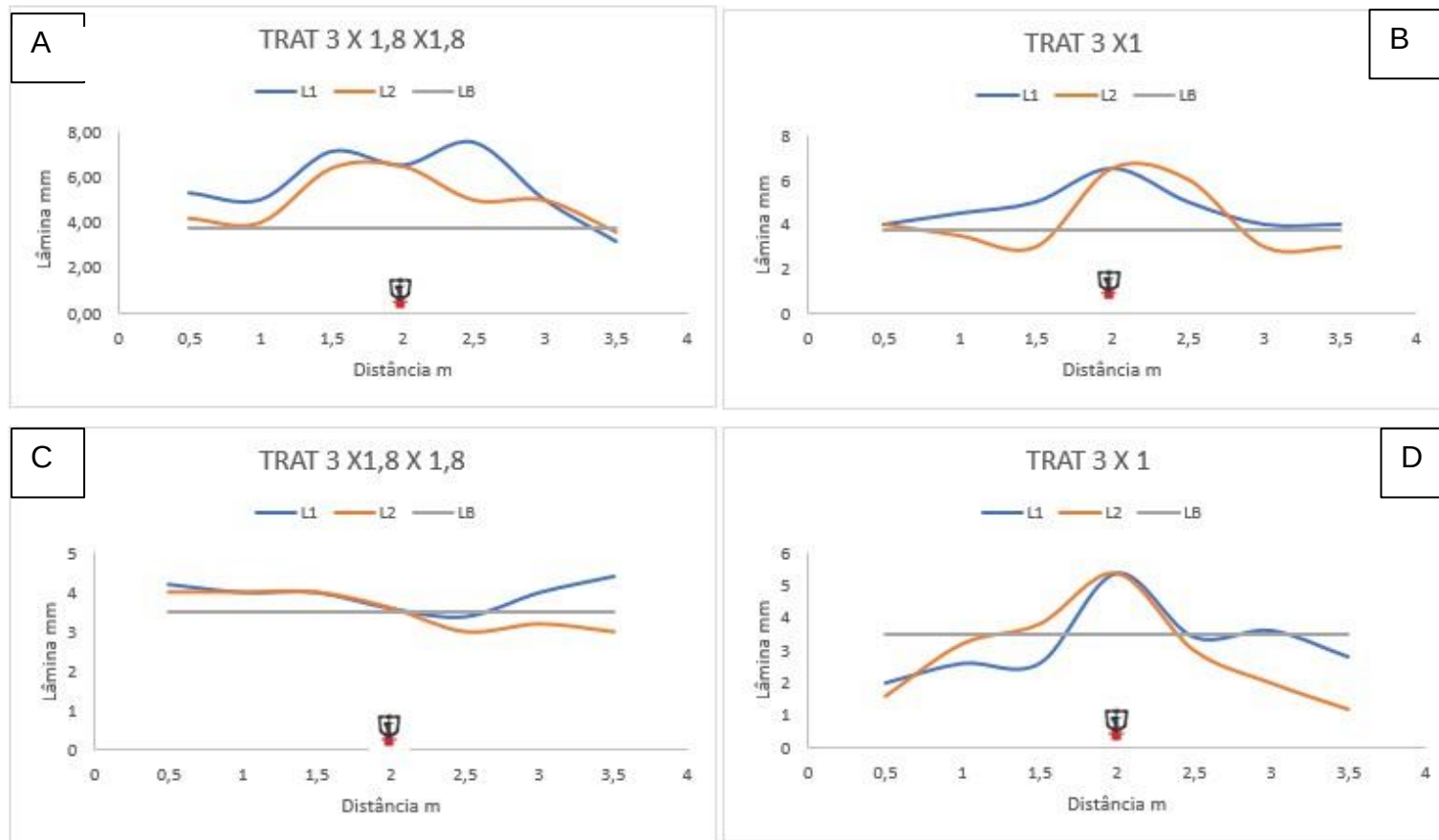


Figura 11. Avaliação da distribuição da lâmina aplicada em dois períodos distintos, com linhas de coletores cruzando o microaspersor em direção a planta. L1 e L2 Lâmina aplicada pelo microaspersor e LB lâmina calculada.

A distribuição da lâmina de água aplicada no raio de 0,75m no entorno de cada planta tiveram médias superiores à lâmina média da distribuição de água do microaspersor-Lamd, calculada para a densidade de plantios 2314 e 2667 planta por hectare. Para a densidade 2314 e 2666 planta por hectare, os valores médios das quatro planas foram, 3,65 mm, e 4,16 mm respectivamente. Na densidade 3333 planta por hectare, o valor médio da lâmina no raio de 0,75m da planta foi de 3,11mm, esse valor ficou abaixo do valor da lâmina calculada que foi de 3,55mm. Nas densidades 2314 e 2666 plantas por hectare, esses valores corresponde um aumento de 4,29% e 18,57 % superior a lâmina calculada superior a lâmina calculada (Tabela 14). Na densidade de 3333 plantas por hectare apenas 92,10% da lâmina calculada-lamb, foi aplicada na região próxima as plantas.

A diferença entre a lâmina calculada e a lâmina aplicada em cada planta pode ser observado na tabela 14. Para a densidade 2314 plantas por hectare, apenas uma planta ficou abaixo da lâmina calculada, na densidade 2667 planta por hectare, todas as plantas apresentam valores maiores que o da lâmina calculada, na densidade de 3333 planta por hectare, 50% das plantas receberam uma quantidade de água a baixo da lâmina calculada.

Tabela 144. Distribuição da lâmina por planta para cada tratamento em um raio de 0,75m. Densidade da planta (Dens); lâmina aplicada em por planta (Lamppl), porcentagem de lâmina aplicada em relação a lâmina bruta ou calculada por planta (%Lamppl) e coeficiente de uniformidade de distribuição da água aplicada pelo microaspersor por planta (CUDp).

Dens	Plan	Lamppl	%Lamppl	CUDp	Dif. Lpp – Lc
		mm	%		(mm)
2314	1	3,10	88,57	90,32	-0,4
	2	3,60	102,86	83,33	0,1
	3	4,10	117,14	92,68	0,6
	4	3,80	108,57	81,58	0,3
Média	---	3,65	104,29	86,98	
2667	1	3,8	108,57	76,32	0,3
	2	4,5	128,57	77,78	1,0
Média	---	4,16	118,57	77,05	
3333	1	3,80	108,57	78,94	0,3
	2	2,40	68,57	66,67	-1,1
	3	2,30	65,71	63,04	-1,2
	4	4,60	131,43	58,10	1,1
	5	3,60	102,86	63,89	0,1
	6	2,64	75,43	76,92	-0,9
Média	----	3,11	92,10	67,92	

Na análise da uniformidade de distribuição da água aplicada pelo microaspersor por planta (CUDp), houve um aumento na uniformidade para as densidades 2314 e 2666 plantas por hectare, em relação ao raio de ação do microaspersor. Na densidade 2314 plantas por hectare em uma das plantas analisadas, o CUDp, chegou há 92,68 %, porem em valores médios o CUDp foi de 86,98%, valor superior ao CUD, que foi de 77,35%, na densidade de 2666 plantas por hectare, o valor médio do CUDp, chegou a 77,05%, sendo o valor do CUD de 62,20%. Dessa forma, a lâmina de água aplicação pelo microaspersor, nas densidades 2314 e 2666 plantas por hectare, no raio de 0,75m da planta foi mais eficiente em relação a área de aplicação do microaspersor. O mesmo comportamento pode ser observado na densidade 3333 plantas por hectare, mesmo apresentando valores mais baixos do CUDp, em relação as outras densidades de 67,92%, também apresentou um aumento em relação ao CUD total da área que foi de 47,91%.

O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) médio da lâmina de irrigação aplicada em um raio de 0,75 m ao redor da planta foi superior ao CUD total em todas as densidades avaliadas. Esse resultado indica que a distribuição da água foi mais homogênea nas regiões próximas às plantas em comparação com a área total irrigada.

3.3 CONCLUSÃO

A densidade de 3.333 plantas hectare, associada ao sistema de microaspersão, promoveu os maiores valores médios de comprimento total de raízes e densidade de comprimento radicular, indicando maior exploração do volume de solo pelas raízes sob essas condições.

Em contrapartida, a densidade de 2.314 plantas hectare, obteve os maiores índices de uniformidade, revelando melhor homogeneidade na aplicação da lâmina de irrigação, ainda que com menor desenvolvimento radicular em comparação ao tratamento de maior densidade.

Em todas as densidades a uniformidade de distribuição por planta (CUDp), em um raio de 0,75 m ao redor do tronco, foi superior à da área total irrigada.

3.4 REFERÊNCIAS

ABICHEQUER, A. D. Morfologia e distribuição de raízes de arroz irrigado por inundação e sua relação com a absorção de nutrientes e o rendimento de grãos. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). **Faculdade de Agronomia da UFRGS**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 66 f. 2004.

BÜNEMANN, E. K. et al. Soil quality—A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120; p. 105-125; 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071718300294>. Acesso em: 10 de jun. de 2024.

CHEN, Y., PALTA, J., PRASAD, P.V.V., SIDDIQUE, K.H.M. Phenotypic variability in bread wheat root systems at the early vegetative stage. **BMC Plant Biol.** 2020.

COELHO, E. F. et al. Root distribution and its relations with soil chemical attributes and yield of banana under fertigation with and without soil covering. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 44, p. e53296, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/Jj3XswSrvsBsjpB4X6sLgww/#>.

COELHO, E. F.; OLIVEIRA, A. M. G.; SILVA, J. G. F.; COELHO FILHO, M. A.; CRUZ, J. L. Irrigação e Fertirrigação na cultura do mamão. **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. 1ed., Brasília, p.442-472, 2011.

COELHO, E. F.; OR, D. Modelo de distribuição de água e de potencial matricial no solo sob gotejamento com extração de água por raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 225-234, 1999.

COELHO, E. F.; SANTOS, M. R.; COELHO FILHO, M. A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação localizada em Latossolo de tabuleiros costeiros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n.1, p. 175-178, 2005.

COELHO, E. F.; SIMÕES, W. L.; CARVALHO, J. E. B.; COELHO FILHO, M. A. Distribuição de raízes e extração de água do solo em fruteiras tropicais. Cruz das Almas, **EMBRAPA Mandioca e Fruticultura Tropical**, 2008. 80p.

COELHO, E.F.; CRUZ, J. L.; COELHO FILHO, M.A.; SANTOS, M R. dos. 57. Distribuição e absorção de água pelas raízes do mamoeiro sob três frequências de irrigação por gotejamento. In: **Papaya Brasil: qualidade do mamão para o mercado interno**. Vitória: INCAPER. v. 1, p. 503-506, 2003.

DONATO, S. L. R. et al. Crescimento e produção do mamoeiro sob diferentes espaçamentos e épocas de plantio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 37, n. 4, p. 1016–1024, 2015.

DONATO, S. L. R. et al. Relações hídricas I: considerações fisiológicas e ecológicas. In. COELHO; E. F. **Irrigação da bananeira**. Brasília; DF. EMBRAPA; 2012. 280p.

KASPAR, T. C.; EWING, R. P. Rootedge: software for measuring root length from desktop scanner images. **Agronomy journal**, Madison, v. 89, n. 6, p. 932940, 1997.

LIU, H.; ZHANG, X.; CHEN, Y. Root development in response to soil physical and chemical properties: A comprehensive review. **Agricultural Sciences**, v. 11, n. 4, p. 456–468, 2020.

SANTOS, A. N. et al. Sistemas de irrigação localizada: princípios e aplicações. In: MEDEIROS, J. F.; ARAÚJO, L. V. A. (Org.). **Irrigação: fundamentos e aplicações**. 2. ed. Mossoró: EdUFERSA, 2015. p. 155–186.

SANTOS, D. B. dos; COELHO, E. F.; AZEVEDO, C. A. V. de. Absorção de água pelas raízes do limoeiro sob distintas frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 323–328, 2005.

SANTOS, H.G. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, Brasília: Embrapa Produção de informação, Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 3 ed, ver. ampl, 2013, 353p.

SMITH, J. A.; JOHNSON, L. M.; WANG, Y. Environmental and genetic factors influencing root system architecture in crops. **Plant Physiology**, v. 185, n. 3, p. 1234–1245, 2021.

SOUZA, C. F.; SILVA, A. J. P.; SILVA, A. R. Uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão e gotejamento. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 1, p. 952-960, 2017.

SOUZA, L. D.; SOUZA, L. da S.; LEDO, C. A. da S.; CARDOSO, C. E. L. Distribuição de raízes e manejo do solo em cultivo de mamão nos Tabuleiros Costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1937-1947, 2016.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; PAIVA, A. Q.; RODRIGUES, A. C. V.; RIBEIRO, L. S. Distribuição do sistema radicular de citros em uma topos seqüência de solos de tabuleiro costeiro do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 503-513, 2008.

SOUZA, R. J. et al. Efeito da densidade de plantio e da irrigação na cultura do mamoeiro. **Agropecuária Técnica**, v. 41, n. 2, p. 153–160, 2020.

VAN GENUCHTEN, M.T. van. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.