

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

MICKELLY VITÓRIA SILVA LIRA DE MÉLO

**EFEITO DE DIFERENTES ADUBAÇÕES E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO
SOBRE O CRESCIMENTO INICIAL DA MANDIOCA**

RIO LARGO – AL

2025

MICKELLY VITÓRIA SILVA LIRA DE MÉLO

**EFEITO DE DIFERENTES ADUBAÇÕES E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO
SOBRE O CRESCIMENTO INICIAL DA MANDIOCA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Agronomia do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA, da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, como requisito para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Lígia Sampaio Reis

RIO LARGO – AL

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 – 1512

M528e Mélo, Mickelly Vitória Silva Lira de.

Efeito de diferentes adubações e lâminas de irrigação sobre o crescimento inicial da mandioca. / Mickelly Vitória Silva Lira de Mélo. – 2025.

47 f.: il.

Orientador: Lígia Sampaio Reis.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. *Manihot esculenta* Crantz. 2. Pulverização foliar. 3. Crescimento vegetativo. I. Título.

CDU: 635.23: 631.7

FOLHA DE APROVAÇÃO

MICKELLY VITÓRIA SILVA LIRA DE MÉLO

EFEITO DE DIFERENTES ADUBAÇÕES E LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO SOBRE O CRESCIMENTO INICIAL DA MANDIOCA

Monografia apresentada ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel/bacharela em Agronomia.

Aprovado em: 14/10/2025

Banca examinadora:

Prof.^a Dra. Lígia Sampaio Reis – CECA/UFAL (Orientadora)

Prof. Dr. Reinaldo de Alencar Paes – CECA/UFAL

Mestre Rilbson Henrique Silva dos Santos – CECA/UFAL

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus exemplos de força, coragem, perseverança e fé: minha mãe Sebastiana Paula da Silva, pelo amor incondicional e pela dedicação diária que me inspira a nunca desistir dos meus sonhos; minha tia Michelle Débora Lira de Mélo Santos, pelo carinho, apoio e palavras de incentivo em cada etapa da minha vida; minha avó materna Maria José do Carmo Amaral (*in memoriam*), cuja memória permanece viva em meu coração e continua sendo fonte de luz e motivação; e minha avó paterna Lilibeth Lira dos Santos Melo, que com sua sabedoria e acolhimento sempre me guiou com amor.

Aos homens da minha vida, que representam pilares de apoio e inspiração: meu pai Michael Frank Lira de Mélo, meu avô paterno José Aparecido Marinho de Melo (*in memoriam*) e meu noivo Álex Douglas Alves dos Santos, agradeço pelo incentivo e pela confiança depositada em mim.

A cada um de vocês, dedico não apenas este trabalho, mas também cada conquista que a vida me permitir alcançar, pois sei que nada disso seria possível sem o amor, o exemplo e a força que recebo de vocês diariamente.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida, por estar sempre ao meu lado me ajudando a superar as dificuldades, me fazendo acreditar que tudo é possível e me dando força e sabedoria para vencer todas as adversidades;

A toda minha família, por todo apoio e palavra de incentivo onde encontrei a motivação necessária para seguir em frente e transformar desafios em conquistas;

Aos meus amigos da graduação, que estiveram comigo durante 5 anos, nos momentos bons e ruins, felizes e tristes, compartilhando os desafios e tornando a trajetória mais leve. Em especial: Ana Beatriz Beserra de Andrade, Alan Douglas Fernandes Lima, Caio Vitor da Silva Anjos, Gabrielle Ferreira de Lira, Gustavo Santos Silva, Laysa Pollyanna dos Santos e Marcos Antonio Martins Feitosa;

Ao Dr. Antonio Dias Santiago e Anderson Marafron pela orientação e colaboração prestada no desenvolvimento do projeto;

A professora e orientadora Dra. Lígia Sampaio Reis, pelo apoio, incentivo e dedicação em todos os momentos. Sua generosidade em compartilhar conhecimento e seu olhar atento foram essenciais para que este trabalho se concretizasse;

Ao meu coorientador, muito obrigada por toda disponibilidade e conhecimento passado a mim;

A todos que se fizeram presentes, durante toda a caminhada acadêmica, me auxiliando e me encorajando a seguir.

RESUMO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) destaca-se como uma das principais culturas de relevância socioeconômica no Brasil, especialmente em regiões tropicais e semiáridas. Entre as práticas que podem elevar a produtividade e qualidade das plantas, uma alternativa promissora é o uso de pulverizações foliares e tratamentos pré-plantio das manivas. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a influência da aplicação de solução nutritiva por imersão e pulverização foliar associado à diferentes lâminas de irrigação no crescimento inicial da cultura da mandioca. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, em Rio Largo – AL. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3×2 , com quatro repetições, sendo o primeiro fator constituído por três formas de adubação (imersão, pulverização foliar e ausência de adubação) e o segundo por duas lâminas de irrigação (100% e 50% da capacidade de campo). Foram avaliadas variáveis de crescimento (número de folhas, altura e diâmetro do caule, massa fresca e seca da parte aérea, densidade da raiz, massa fresca e seca da raiz e Índice de Qualidade de Dickson) e variáveis de clorofila (clorofila A e B). Os resultados obtidos foram submetidos a análises de variância pelo teste F, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 0,05. A pulverização via foliar apresentou superioridade às variáveis AP aos 30DAP, DC aos 45DAP, MSPA, MFR, MSR e IQD. O estresse hídrico afetou a produção de Clorofila A e Clorofila B, apresentando valores superiores aos que tiveram irrigação plena. A combinação de estratégias agronômicas favoreceu o desenvolvimento da cultura, principalmente sob as variáveis AP e NF aos 45DAP, MFPA e densidade da raiz, evidenciando que o tipo de fertilização adequada, associada bom manejo de irrigação, favorece o crescimento inicial da cultura.

Palavras-chave: *Manihot esculenta* Crantz, pulverização foliar, crescimento vegetativo.

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) stands out as one of the main crops with socioeconomic relevance in Brazil, especially in tropical and semi-arid regions. Among the practices that can enhance plant productivity and quality, a promising alternative is the use of foliar sprays and pre-plant treatments of cuttings. In this context, the objective was to evaluate the influence of nutrient solution application by immersion and foliar spraying associated with different irrigation levels on the initial growth of cassava. The experiment was conducted in a greenhouse at the Campus of Engineering and Agricultural Sciences of the Federal University of Alagoas, in Rio Largo – AL. The experimental design was completely randomized in a 3×2 factorial scheme with four replications, the first factor consisting of three fertilization methods (immersion, foliar spray, and absence of fertilization) and the second factor of two irrigation levels (100% and 50% of field capacity). Growth variables were evaluated (number of leaves, plant height and stem diameter, fresh and dry shoot biomass, root density, fresh and dry root biomass, and Dickson Quality Index), as well as chlorophyll variables (chlorophyll A and B). The results were subjected to analysis of variance using the F test, and means were compared using Tukey's test at 0.05. Foliar spraying showed superiority for shoot biomass at 30 DAP, stem diameter at 45 DAP, fresh and dry shoot biomass, fresh and dry root biomass, and DQI. Water stress affected chlorophyll A and B production, presenting higher values than those under full irrigation. The combination of agronomic strategies favored crop development, mainly regarding shoot biomass and number of leaves at 45 DAP, fresh shoot biomass, and root density, demonstrating that adequate fertilization, combined with proper irrigation management, enhances the initial growth of the crop.

Keywords: *Manihot esculenta* Crantz, foliar spraying, vegetative growth.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do experimento.	18
Figura 2. Pesagem de brita e solo para compor o peso total do vaso.	20
Figura 3. Plantio das manivas nos vasos.	21
Figura 4. Manivas imersas na solução de fertilizante diluída em água.	22
Figura 5. Pesagem do vaso para reposição de água.	23
Figura 6. Folhas pulverizadas com a solução.	24
Figura 7. Remoção de plantas excedentes.	24
Figura 8. Medição do diâmetro do caule (a); Medição da altura da planta (b).	25
Figura 9. Pesagem da MFPA (a) e MSPA (b).	26
Figura 10. Raiz submersa no Becker de 250mL.	27
Figura 11. Pesagem da MFR (a) e MSR (b).	28
Figura 12. Avaliação do teor de clorofila através do equipamento ClorofiLOG CFL2060.	29
Figura 13. Médias de AP em função da fertirrigação na cultura da mandioca aos 30 dias.	33
Figura 14. Médias de NF em função da fertirrigação na cultura da mandioca aos 45 DAP.	34
Figura 15. Médias de AP em função da fertirrigação na cultura da mandioca aos 45 DAP.	35
Figura 16. Médias de DC em função da fertirrigação na cultura da mandioca aos 45 DAP.	36
Figura 17. Médias de MFPA em função da fertirrigação na cultura da mandioca.	37
Figura 18. Médias de MSPA em função da fertirrigação na cultura da mandioca.	38
Figura 19. Médias de densidade da raiz em função da fertirrigação na cultura da mandioca.	40
Figura 20. Médias de MFR e MSR em função da fertirrigação na cultura da mandioca.	41
Figura 21. Médias de IQD em função da fertirrigação na cultura da mandioca.	42
Figura 22. Médias das Clorofilas A e B em função da irrigação na cultura da mandioca aos 45 DAP.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química do solo coletado em Murici-AL, antes da instalação do experimento com mandioca.....	19
Tabela 2. Resumo das análises de variância e coeficientes de variação para as variáveis de crescimento: NF, AP, DC, MFPA e MSPA sob diferentes manejos de fertilizante e irrigação aos 15, 30 e 45DAP.....	32
Tabela 3. Resumo das análises de variância das variáveis de sistema radicular.	39
Tabela 4. Resumo das análises de variância das variáveis de clorofila.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1	Origem e botânica da mandioca	13
2.2	Variedades de mandioca.....	14
2.3	Importância econômica.....	14
2.4	Necessidade Hídrica	15
2.5	Métodos de aplicação de nutrientes na cultura.....	16
3	MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1	Localização do experimento.....	18
3.2	Obtenção e preparo do solo	18
3.3	Delineamento estatístico.....	20
3.4	Material genético e Sistema de cultivo.....	20
3.5	Variáveis analisadas	25
3.5.1	Variáveis de Crescimento	25
3.5.2	Variáveis de Clorofila.....	28
3.6	Análise estatística	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	Variáveis de Crescimento.....	31
4.2	Variáveis de Clorofila.....	42
5	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma das principais culturas alimentares de países tropicais, sendo considerada fonte de energia para humanos e animais. É considerada uma importante fonte de carboidratos e uma planta com alta capacidade de adaptação a períodos de seca (Pipatsitee et al., 2018). Essas características a torna amplamente difundida no planeta, especialmente nos países em desenvolvimento, onde é cultivada, principalmente em pequenas áreas e com baixo nível tecnológico (Salla et al., 2010).

A produção de mandioca no Brasil atingiu 19 milhões de toneladas em 2023/24, com rendimento médio que chega a 15.465 kg/ha, em uma área de 1.232.882ha (IBGE, 2024). Esta safra marcou o crescimento de 117% no valor de produção de mandioca no Brasil, entre os anos de 2019 e 2023 (Agrosustentar, 2025), o que comprova sua importância tanto econômica quanto social.

Entretanto, o Estado de Alagoas, obteve produção de 519.429 mil toneladas em uma área de 37.017ha (IBGE, 2024). Essa baixa produtividade agrícola de mandioca em Alagoas se deve, principalmente, à deficiência hídrica e ao baixo índice tecnológico utilizado nas lavouras alagoanas (Lima et al, 2022).

Por ser uma espécie com grande tolerância à seca e a solos com baixa fertilidade, normalmente são escolhidas áreas marginais da propriedade para efetuar o plantio, que ocorre com baixo ou nenhum uso de insumos, depreciando ainda mais o potencial da cultura para produção de raízes e parte aérea. Por isso, a capacidade de usar água eficientemente permite sua exploração em regiões de estações secas prolongadas, ou com baixo nível tecnológico, nas quais a cultura ocupa papel predominante nos sistemas de produção agrícola (Silva et al., 2012).

Uma alternativa promissora para potencializar o crescimento e o estabelecimento inicial da mandioca é o uso de pulverizações foliares e tratamentos pré-plantio das manivas, como a imersão em soluções nutritivas ou bioestimulantes. Essas práticas favorecem o enraizamento, a brotação e o vigor das plantas, além de possibilitarem uma absorção mais eficiente de nutrientes em estágios críticos do desenvolvimento. Estudos demonstram que o tratamento das manivas antes do plantio e a aplicação foliar de nutrientes durante o ciclo podem resultar em maior uniformidade de estande e incremento de produtividade (Khanthavong, 2012; Hassan et al., 2020; Anan et al., 2019). Contudo, ainda são necessárias pesquisas adicionais para definir concentrações, períodos de

aplicação e combinações de nutrientes mais adequadas às condições edafoclimáticas locais e às diferentes variedades de mandioca.

No contexto apresentado e buscando contribuir com pesquisas relacionadas a esta de crescente interesse econômico, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a influência da aplicação de solução nutritiva por imersão e pulverização foliar associado à diferentes lâminas de irrigação no crescimento inicial da cultura da mandioca.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem e botânica da mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é originária da América do Sul e devido à ampla adaptabilidade às condições ambientais e à capacidade produtiva, tornou-se alimento básico para muitas populações indígenas e complementar para outras (Brochado, 1977). Estudos acumulados ao longo do tempo revelam que a mandioca é uma das mais antigas plantas cultivadas pelo homem (Rogers; Fleming, 1973). Trabalhos realizados por Olsen; Schaal (1999) reportam que o centro de origem da mandioca é a região sudoeste da Amazônia, incluindo Acre, Rondônia e Bolívia.

As folhas da mandioca são caducas, simples, lobulares (três a nove), cor púrpurea a verde escuro, 18 a 22% de proteínas e de diversos tamanhos e formas. A planta de mandioca possui caule subarborescente, ereto, com nós e gemas que permite a propagação vegetativa (maniva). O caule pode ser dicotômico, tricotômico, tetracotômico, ramificado em quatro hastes e indiviso ou não apresentar ramificação observada em materiais silvestres (Nassar, 2000). O talo da mandioca, estrutura de sustentação da planta e responsável pela altura e largura varia em forma, número e ângulo de ramificação (Domínguez, 1984).

A mandioca apresenta raízes do tipo tuberosa, ou raízes de reserva, as quais têm formato cilíndrico ou cônico e cor marrom-claro, sendo o tecido interno branco ou amarelado, e possui as raízes fibrosas, que são raízes finas e ramificadas que se desenvolvem a partir da coroa da planta, atuando na absorção de água e nutrientes do solo. A planta desenvolve de cinco a 10 raízes ricas em amido, com comprimento variando entre 15 cm e 100 cm (há registros de raízes de mandioca com mais de quatro metros de comprimento) e diâmetro de três a 15 cm. As raízes da mandioca pesam, em média, de quatro a sete quilos, mas podem pesar até 40 kg. Apresenta flores masculinas e femininas na mesma inflorescência, e o fruto é trilobulado e deiscente (Santos, 2023).

2.2 Variedades de mandioca

A mandioca se divide em mansas e bravas. Podem-se classificar em bravas ou amargas as que possuem acima de 100 ppm de cianeto de hidrogênio (HCN) em suas raízes (indústria), e mansas ou doces as de teor menor que 100 ppm de HCN em suas raízes (mesa) (EMATER, 2021). A mandioca apresenta compostos cianogênicos que são liberados durante a mastigação, que são capazes de levar até à morte se consumido em altas doses (Cunha, 2011). Essa variação de teor é que determina o nome popular da planta.

Quando o teor dessas substâncias tóxicas é baixo, a mandioca recebe o nome de aipim ou macaxeira e suas raízes são utilizadas para consumo de mesa, sendo comercializadas na forma in natura ou pré-cozida, e, geralmente, consumidas nas formas cozida ou frita.

Já a mandioca “brava”, que tem teores cianogênicos mais elevados, é utilizada na indústria e transformada principalmente em farinha para uso alimentar e em fécula, que, com seus produtos derivados, tem conquistado espaço no mercado de amiláceos para a alimentação humana ou como insumo nas indústrias têxtil, farmacêutica, de panificação, alimentos embutidos, embalagens, colas, mineração e cosméticos (EMBRAPA, 2021).

. Embora a mandioca mansa e a brava não possam ser separadas por características morfológicas, elas são geneticamente divergentes e o conhecimento tradicional dos agricultores as categoriza claramente (Alves, 2022).

2.3 Importância econômica

A mandioca constitui o segundo alimento energético (atrás apenas do arroz) para 1 bilhão de pessoas, principalmente nos países em desenvolvimento. Cerca de 100 países produzem mandioca, sendo que o Brasil participa com 5,7% da produção mundial. O País é o quinto maior produtor do mundo, atrás da Nigéria, República Democrática do Congo, Tailândia e Gana, segundo dados mais recentes (2021) da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO).

De fácil adaptação, a mandioca é cultivada em todos os estados brasileiros, situando-se entre os oito primeiros produtos agrícolas do país, em termos de área cultivada, e o sexto em valor de produção. De modo geral, 40% das raízes é destinada à produção de farinha, 20% para produção de amido e o restante, destinado a usos como mandioca de mesa e alimentação animal.

O mercado de exportação de mandioca e derivados em 2021 foi de 361,24 milhões de dólares, sendo o Vietnã o maior exportador e a China, o maior comprador. No mundo, a raiz é plantada em grande parte por pequenos agricultores, e é uma das poucas culturas básicas produzidas com razoável eficiência em pequena escala (EMBRAPA, 2021).

Sua raiz tuberosa, que é rica em amido, representa uma fonte valiosa de carboidratos na alimentação humana e possui diversas aplicações nos setores alimentícios como a fécula e a farinha de mandioca, farmacêutico na utilização do amido na composição de medicamentos e de biocombustíveis na produção de álcool onde são utilizados os mesmos processos da cana de açúcar (EMBRAPA, 2021).

2.4 Necessidade Hídrica

Embora a mandioca apresente elevada tolerância ao déficit hídrico, seu crescimento e produtividade podem ser significativamente reduzidos quando exposta a longos períodos de seca. A falta de água, principalmente na fase inicial do desenvolvimento da cultura pode ocasionar redução da produção de raízes, destacando a importância do planejamento para o plantio em períodos que proporcionem o suprimento necessário de água para a planta (Oliveira, 1982). Ademais, como seu cultivo ocorre, em sua maioria, sob condições de sequeiro, o alcance de seu potencial produtivo acaba sendo limitado (Alves, 2002).

Nesse contexto, na busca por aumento de produtividade, a irrigação surge como alternativa viável, ao trazer uma série de benefícios socioeconômicos relevantes, entre os quais se destacam: o expressivo aumento da produtividade agrícola, a ampliação das oportunidades de emprego e a elevação da renda no meio rural (Agricultura irrigada, 2017).

No cultivo da mandioca, a adoção de irrigação pode dobrar o rendimento em raízes quando comparado com áreas de sequeiro, além de melhorar a qualidade da matéria-prima entregue às indústrias, por aumentar o teor de amido das raízes e reduzir o teor de cianeto de hidrogênio (Coelho Filho, 2020a).

Segundo Coelho (2020b), em condições semiáridas quando a produtividade média em condições de sequeiro é de 2 a 7 t/ha, geralmente em 24 meses de cultivo, no plantio irrigado essa condição pode passar de 30 t/ha em 10 meses, indicando um aumento na produtividade e colheita precoce.

Em relação a disponibilidade de água para a cultura, Silva (2021) em estudo sobre níveis de irrigação níveis de irrigação em função da evapotranspiração da cultura - ETC

(L0 = 0% (sequeiro), L1 = 40%, L2 = 80%, L3 = 120%, L4 = 160% e L5 = 200% da ETC) obteve o maior comprimento de raízes (49cm) sob 120% da ETC, observado nas áreas irrigadas com a lâmina total estimada de 926 mm. O maior comprimento de raiz (49cm) se deu em L3 (120%), e o menor comprimento de raiz (28cm) estimado foi constatado sob L0 (sequeiro), havendo uma redução de 43% do comprimento de raiz em relação ao máximo obtido. E quando o solo foi saturado com a L5 (200% da ETC), equivalente a lâmina total de 1.023 mm no ciclo da mandioca, o excesso de água reduziu o CR estimado para 48 cm, o que indica queda no CR com aplicação de lâminas totais superiores a 926 mm, e concluiu que a mandioca sob déficit e excesso hídrico, sofre redução no comprimento radicular.

2.5 Métodos de aplicação de nutrientes na cultura

A mandioca absorve grandes quantidades de nutrientes e praticamente exporta tudo o que foi absorvido, quase nada retornando ao solo sob a forma de resíduos culturais: as raízes tuberosas são destinadas à produção de farinha, fécula e outros produtos, bem como para a alimentação humana e animal; a parte aérea (manivas e folhas), para novos plantios e também para a alimentação humana e animal. Em média, para a produção de 25 toneladas de raízes + parte aérea de mandioca por hectare, são extraídos 146 kg de K, 123 kg de N, 46 kg de Ca, 27 kg de P e 20 kg de Mg; assim, a ordem decrescente de absorção de nutrientes é a seguinte: $K > N > Ca > P > Mg$ (Gomes; Silva, 2006). Uma das maneiras de resolver este problema é com a utilização de adubos minerais, estes que estão na forma adequada para a absorção direta das plantas.

O método de aplicação via pulverização foliar consiste na aplicação de soluções fertilizantes diretamente nas folhas da planta, com o objetivo de prover nutrientes que, por diversos fatores (por exemplo baixa mobilidade no solo, deficiência de umidade, alta fixação ou bloqueio químico), não estão sendo adequadamente absorvidos pelas raízes. Por exemplo, em estudo realizado na Nigéria, os autores apontam que a aplicação foliar permite a “correção de deficiências nutricionais, particularmente de micronutrientes, durante fases críticas de crescimento quando a absorção via solo é limitada por estresse hídrico, estrutura pobre ou imobilização de nutrientes” (Mesele, 2025).

Por outro lado, o método de imersão de manivas antes do plantio representa uma estratégia preventiva e corretiva, sobretudo em situações de deficiência de micronutrientes ou solos de pH elevado que dificultam a absorção via solo.

No trabalho de Feltran et al. (2009), para o método de imersão das manivas, as manivas-semente foram imersas na calda por 1 minuto e plantadas em vasos. Aos 20DAP notou-se comportamento variável em função da aplicação do bioestimulante e verificou-se que a aplicação do produto não promoveu efeitos significativos na massa de matéria seca de parte aérea e diâmetro radicular.

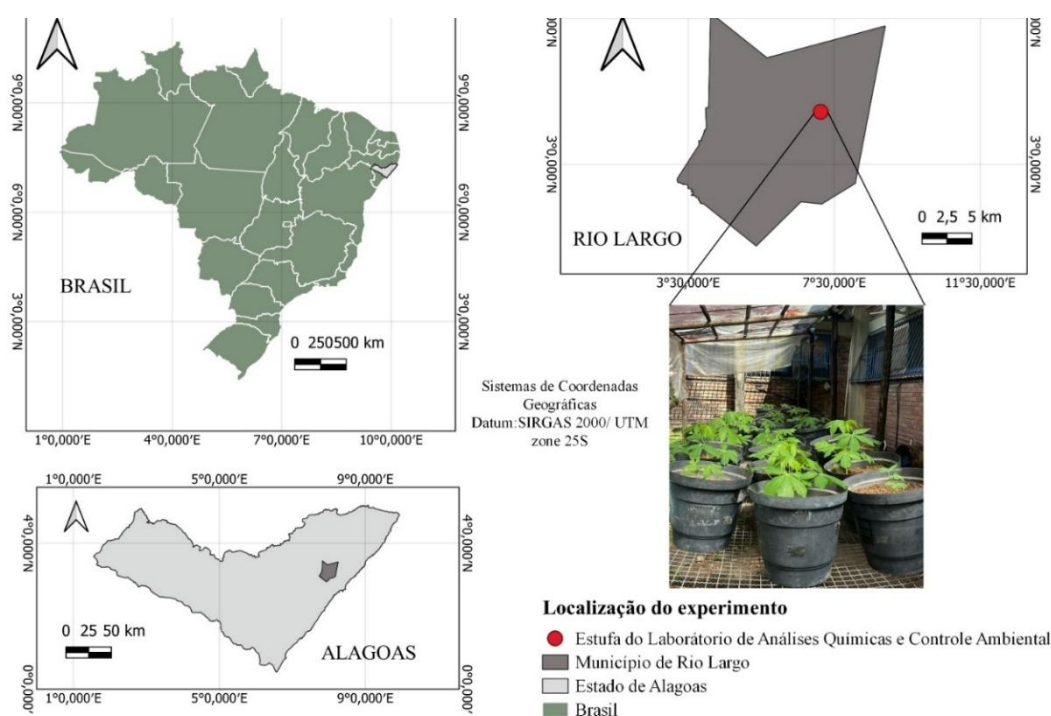
Já no trabalho avaliado por Prado et al. (2019), os métodos de aplicação utilizados foram imersão por 05 segundos e pulverização no sulco com pulverizador costal. Os autores encontraram que a aplicação de bioestimulante por imersão proporcionou maior comprimento de raiz, enquanto a pulverização no sulco, proporcionou maior número de raízes, exceto na dose 6% que o maior número de raízes foi obtido no método de imersão. Assim, os autores concluíram que o uso do bioestimulante, de forma geral, não interferiu no crescimento de plantas e, o método de aplicação, interferiu no crescimento número de raízes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O trabalho foi realizado no período de julho até setembro de 2025, em uma casa de vegetação vinculada ao Laboratório de Análise Química e Controle Ambiental, situada no Campus de Engenharias e Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), no município de Rio Largo, Alagoas. Com coordenadas geográficas $9^{\circ} 27' 55''$ de latitude Sul e $35^{\circ} 49' 46''$ de longitude oeste, e altitude média de 127 m (Figura 1). De acordo com classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), o clima da região é úmido, megatérmico, com deficiência de água moderada no verão e grande excesso de água no inverno. A precipitação pluvial média anual é 1.829,2 mm, a temperatura do ar, apresenta variação de 18,1 e 33,7°C e umidade do ar, apresenta variação de 82,2 e 100°C (LIA CECA UFAL, 2025).

Figura 1. Localização do experimento.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

3.2 Obtenção e preparo do solo

O solo utilizado para a execução do experimento foi coletado em uma área de Zona da Mata, localizada no município de Murici, Alagoas, com profundidade de 0-20cm.

Antes de ser iniciado o plantio, foi realizado a análise química do solo no Laboratório de Solo, Água e Planta, localizado o Campus de Engenharia e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, com resultados expostos na Tabela 1.

Tabela 1. Análise química do solo coletado em Murici-AL, antes da instalação do experimento com mandioca.

Camada	pH	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H + Al	¹ CTC _t
cm	H ₂ O	---mg dm ⁻³ ---					-----Cmol.dm ⁻³ -----		
0-20	5,0	2	67	10	1,28	1,58	0,42	5,26	3,49
Camada	² CTC _T	MO	³ V	⁴ m					
cm	Cmol.dm ⁻³	g kg ⁻¹	-----%-----						
0-20	8,33	33,3	37	12					

¹Capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_t); ²Capacidade de troca de cátions total (CTC_T); ³Saturação por bases (V); ⁴Saturação por alumínio (m).

Com base nos resultados obtidos (Tabela 1), foi feita a correção do solo com calcário, prática que implica na diminuição da acidez e eleva a saturação por bases, promovendo um ambiente mais favorável ao desenvolvimento das plantas. A quantidade utilizada foi calculada pela fórmula de necessidade de calagem (equação 1), baseada na elevação da saturação por bases:

$$NC = \frac{(V_2 - V_1) \times T}{PNRT}$$

onde V₂ é a saturação por bases desejada, V₁ é a saturação por bases atual (obtida em análise do solo), T é a capacidade de troca de cátions e PNRT é o poder relativo de neutralização total do calcário, no qual obteve-se 11,2g de calcário por vaso.

Posteriormente, os vasos foram pesados contendo 800g de brita, cujo intuito é melhorar a drenagem e evitar o apodrecimento das raízes e 8,700kg de solo, totalizando 9,500kg por vaso (Figura 2).

Figura 2. Pesagem de brita e solo para compor o peso total do vaso.



Fonte: Autor (2025).

3.3 Delineamento estatístico

O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3x2, com quatro repetições. O primeiro fator foi composto de fertilizante (T1-fertilizante aplicado via imersão; T2- fertilizante aplicado via pulverização foliar; T3- sem adubação). O segundo fator foi de lâminas de irrigação (L1=100% irrigação plena, L2= 50% da capacidade de campo).

3.4 Material genético e Sistema de cultivo

Foram utilizadas manivas de plantas adultas da variedade Recife obtidas através da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, coletadas no município de Arapiraca - Alagoas. As manivas foram cortadas com auxílio de serra, no terço médio, já que essa parte possui o equilíbrio ideal de nutrientes e vigor para a brotação, com um tamanho de aproximadamente 10cm, contendo de sete a 10 gemas. Os pedaços foram padronizados em tamanho e diâmetro e foram plantadas horizontalmente e centralizadas no vaso, em uma profundidade de 5cm (Figura 3).

Figura 3. Plantio das manivas nos vasos.



Fonte: Autor (2025).

A aplicação do tratamento do fertilizante por imersão, foi efetuado antes do plantio. Para isso, as manivas foram imersas por 5min em uma solução de 50g de fertilizante mineral misto NPK 9-45-11 + ácido cítrico, diluída em 5L de água e em seguida foram plantadas nos vasos (Figura 4). A brotação total ocorreu aos 15 DAP (dias após o plantio), e durante esse período, todas as plantas receberam a mesma quantidade de água necessária para o desenvolvimento dos brotos.

Figura 4. Manivas imersas na solução de fertilizante diluída em água.



Fonte: Autor (2025).

Para determinação da Capacidade de Campo (CC), os vasos foram saturados com água, até que todos os poros estivessem cheios de água, e cobertos com um saco plástico, para evitar perdas por evapotranspiração e forçar a perda a ser apenas por gravidade. Após drenagem livre por 48 h, os vasos foram pesados para obtenção do peso correspondente a 100% da CC. A partir desse valor, estabeleceu-se o tratamento de 100% da CC, em que os vasos eram irrigados até atingir o peso de referência, e o tratamento de 50% da CC, em que os vasos eram mantidos com metade da água disponível, repondo-se a diferença até o peso correspondente sempre que necessário.

A diferenciação das lâminas dos tratamentos L1=100% irrigação plena, L2= 50% da capacidade de campo foi iniciada aos 19 dias após o plantio.

O monitoramento da umidade dos vasos foi realizado a cada 2 dias por meio de pesagem gravimétrica (Figura 5).

Figura 5. Pesagem do vaso para reposição de água.



Fonte: Autor (2025).

A aplicação do tratamento via pulverização foliar foi realizada com 30 dias após o plantio, período em que as folhas verdadeiras começam a expandir e contribuir fotossinteticamente para o desenvolvimento da planta.

As aplicações ocorreram no período da manhã, evitando horários de maior radiação solar, a fim de reduzir a evaporação da calda e favorecer a absorção foliar.

A solução de pulverização foi preparada no momento da aplicação, com a mesma concentração utilizada no tratamento 1, com 50g do fertilizante mineral misto NPK 9-45-11 + ácido cítrico, diluídos em 5L de água.

Cada planta recebeu pulverização até o ponto de escorrimento (Figura 6), assegurando a cobertura homogênea de toda a área foliar, incluindo as superfícies adaxial e abaxial e para evitar deriva e contaminação cruzada entre tratamentos, a pulverização

foi realizada separadamente. Durante a aplicação, as plantas permaneceram devidamente espaçadas e dispostas de modo a impedir contato físico ou respingos.

Figura 6. Folhas pulverizadas com a solução.



Fonte: Autor (2025).

Aos 23 dias após o plantio, foi feito o desbaste, que consiste na remoção seletiva de plantas excedentes, de modo a evitar a competição, garantir uniformidade e melhorar a confiabilidade dos dados (Figura 7).

Figura 7. Remoção de plantas excedentes.



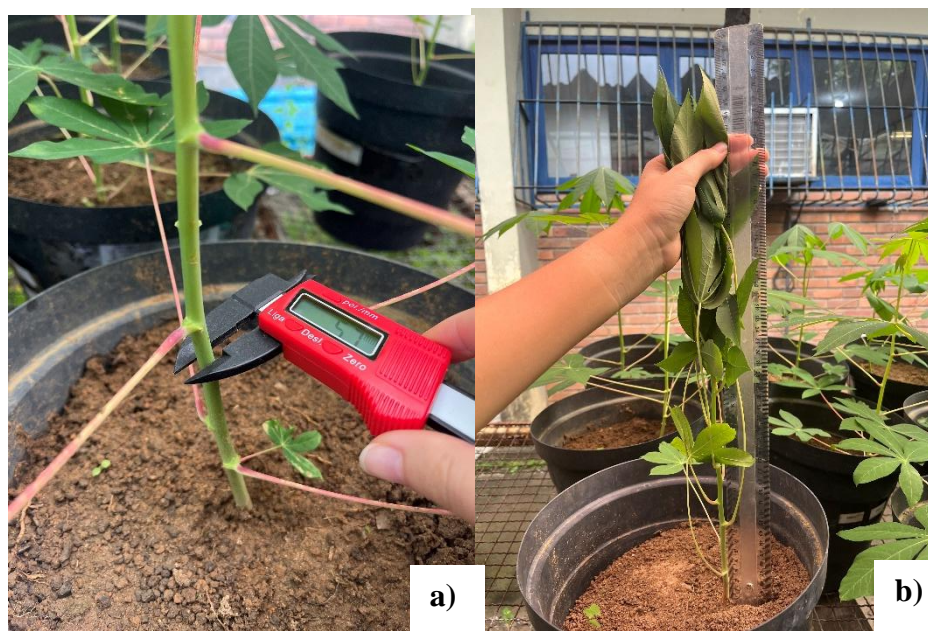
Fonte: Autor (2025).

3.5 Variáveis analisadas

3.5.1 Variáveis de Crescimento

As variáveis analisadas foram: Número de folhas (NF), Altura da planta (AP) e Diâmetro do caule (DC) (Figura 8), massa fresca da parte aérea – MFPA (g) e massa seca da parte aérea – MSPA (g) (Figura 9). As medições de NF, AP e DC foram realizadas aos 15, 30 e 45 DAP sempre no mesmo período do dia (manhã), para reduzir variação por turgor. Além dessas, foram avaliadas também as variáveis de crescimento do sistema radicular, sendo: densidade da raiz, massa fresca da raiz – MFR (g) e massa seca da raiz – MSR (g), e conseguinte, índice de qualidade de Dickson (IQD).

Figura 8. Medição do diâmetro do caule (a); Medição da altura da planta (b).



Fonte: Autor (2025).

Para a variável NF, foram contadas todas as folhas totalmente expandidas.

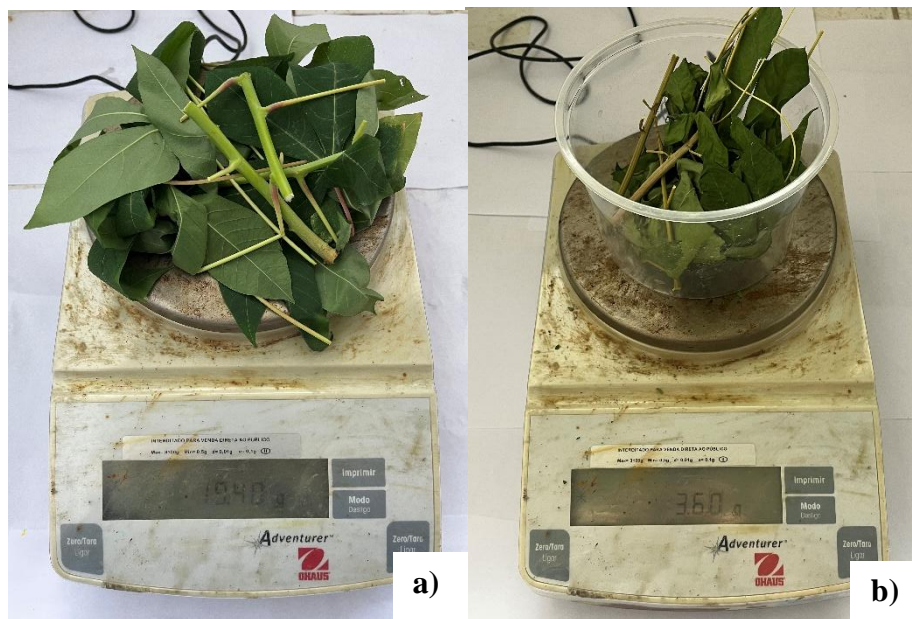
Para a variável AP, as plantas foram medidas eretas, utilizando-se uma régua e medindo do colo da planta até a extremidade da folha mais alta.

E para a variável DC, a leitura foi feita utilizando um paquímetro digital e para padronização, o ponto de medição foi no terço médio do caule, sendo posicionado de forma perpendicular ao eixo. Os resultados foram expressos em milímetro.

Para obtenção da MFPA e MSPA, no final do experimento, aos 45 DAP as plantas foram cortadas, separadas, identificadas e levadas ao laboratório para pesagem do

material vegetal, com auxílio de uma balança TOLEDO 3400, de precisão digital 15g. Após pesagem as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e postas em uma estufa por aproximadamente 48 horas, a uma temperatura de 65 °C. Passadas as 48 horas, as amostras foram novamente pesadas com o auxílio da balança de precisão, obtendo-se peso da matéria seca (Figura 9).

Figura 9. Pesagem da MFPA (a) e MSPA (b).



Fonte: Autor (2025).

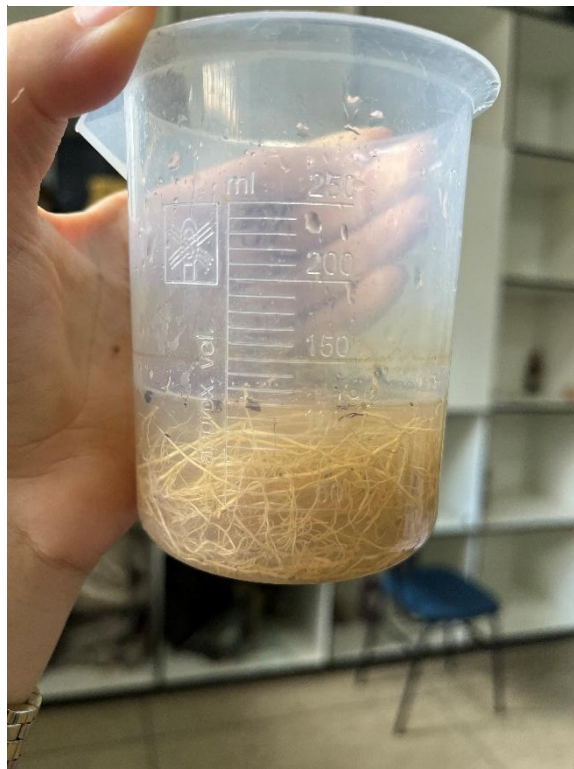
As avaliações radiculares foram realizadas na fase vegetativa, aos 45 DAP, e as plantas foram destrutivamente amostradas para análise de raízes.

Os vasos foram cuidadosamente desenformados, e o sistema radicular foi removido com o torrão intacto. O solo foi desagregado por imersão em caixas com água e lavagem suave sobre peneiras sobrepostas, evitando perda de raízes finas.

Para a determinação da densidade das raízes, primeiramente foi definido o volume das raízes, que foi estabelecido pelo método de deslocamento de água, onde as amostras foram submersas em um Becker de 250mL contendo água e o volume deslocado (V , mL = cm^3) foi calculado como a diferença entre o volume final e o volume inicial. Em seguida, as raízes foram levadas à estufa ventilada a 65 °C até massa constante (48h), quando se determinou a massa seca (m , g) (Figura 10). A densidade radicular (ρ) foi calculada pela razão massa seca/volume ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) (equação 2):

$$\rho = \frac{m}{V}$$

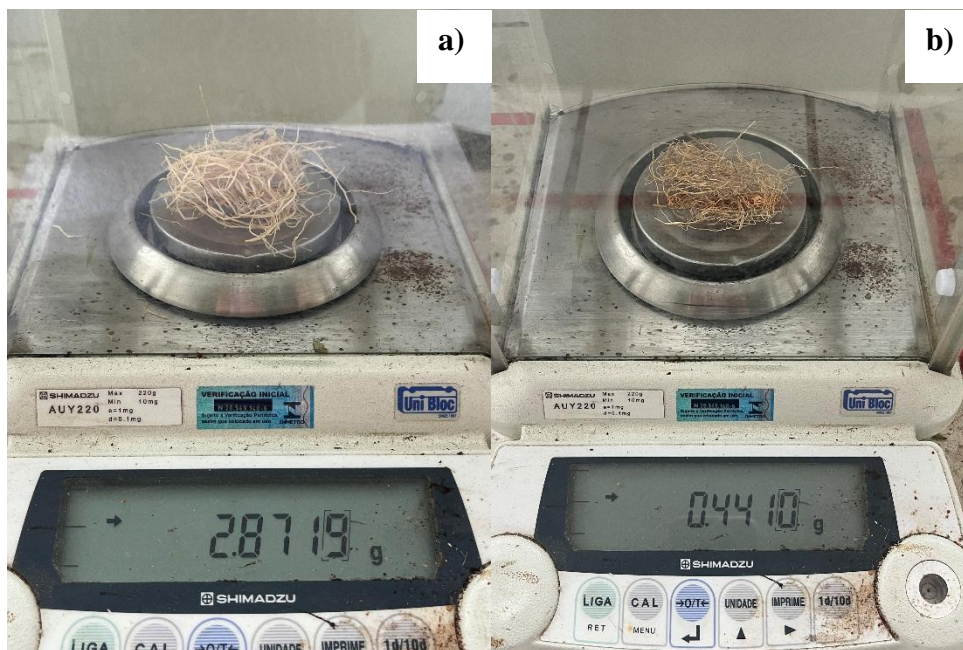
Figura 10. Raiz submersa no Becker de 250mL



Fonte: Autor (2025).

Após isso, as raízes foram secas em papel absorvente para retirar o excesso de água, pesadas para MFR e, em seguida, secas em estufa de circulação forçada a 65°C até massa constante (48 h). A MSR foi obtida em balança analítica Shimadzu Série AUX, de precisão 0,0001g (Figura 11).

Figura 11. Pesagem da MFR (a) e MSR (b).



Fonte: Autor (2025).

Em seguida, foi calculado o Índice de Qualidade de Dickson (IQD) conforme proposto por Dickson et al. (1960), por ser considerado um dos parâmetros mais adequados para estimar a qualidade de mudas, uma vez que reúne em um único valor diferentes variáveis de crescimento. O cálculo do índice foi obtido por meio da equação 3:

$$IQD = \frac{MSTotal}{\frac{AP}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}}$$

em que: MSTotal corresponde a soma de Massa seca da parte aérea (MSPA) e Massa seca da raiz (MSR) (g), AP à altura da planta (cm) e DC ao diâmetro do caule (mm).

Valores mais elevados do IQD representam maior qualidade da muda, indicando equilíbrio entre a parte aérea e o sistema radicular, além de maior robustez da planta.

3.5.2 Variáveis de Clorofila

As avaliações do teor relativo de clorofila, foram realizadas utilizando-se o clorofilômetro portátil ClorofiLOG CFL2060 (Falker Automação Agrícola, Porto Alegre, RS). Este equipamento realiza medições ópticas não destrutivas em três comprimentos de onda, possibilitando a estimativa dos teores de clorofila A, clorofila B e clorofila total (ICF – Índice de Clorofila Falker).

O equipamento foi posicionado de forma a abranger a porção central do limbo foliar, evitando a nervura principal, conforme recomendações do fabricante (Figura 12). As leituras foram efetuadas aos 45 dias após o plantio, em folhas fisiologicamente maduras, padronizadas, sendo utilizada a terceira folha mais nova, de cima para baixo.

Figura 12. Avaliação do teor de clorofila através do equipamento ClorofiLOG CFL2060.



Fonte: Autor (2025).

Para cada unidade experimental, foram realizadas cinco leituras por folha, obtendo-se em seguida a média dos valores. As medições foram realizadas preferencialmente no período da manhã, a fim de reduzir variações relacionadas à temperatura e à luminosidade. Os resultados foram expressos em unidade adimensional baseada na transmitância da luz em três faixas do espectro (duas no vermelho e uma no infravermelho), que correspondem a valores relativos de intensidade de verde foliar.

Este método permite acompanhar a dinâmica do crescimento e a resposta da cultura aos diferentes fatores de adubação e irrigação, ou condições ambientais, sem a necessidade de destruir amostras ou realizar análises laboratoriais onerosas. Além disso, a estimativa do conteúdo de clorofila está diretamente associada ao estado nutricional da

planta, principalmente quanto ao nitrogênio, constituindo ferramenta relevante para estudos fisiológicos e de manejo da cultura.

3.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos às análises de variância pelo teste F, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 0,05. As análises foram realizadas utilizando-se o software ASSISTAT versão 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis de Crescimento

De acordo com a análise de variância, aos 15 DAP, não houve efeito significativo dos tratamentos sobre as variáveis NF, AP e DC. Esse comportamento sugere que, na fase inicial, o crescimento da cultura dependeu principalmente das reservas presentes nas manivas, não respondendo de imediato aos tratamentos culturais (Tabela 2).

Aos 30 DAP, observou-se efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade do fertilizante sobre AP, indicando a influência desses tratamentos no crescimento vegetativo. A irrigação e a interação não apresentaram efeito estatístico, sugerindo que a disponibilidade hídrica no período foi suficiente para suprir a demanda inicial da cultura.

Aos 45 DAP, a interação fertilizante e irrigação foi significativa ao nível de 5% de probabilidade para NF e significativa ao nível de 1% de probabilidade para AP, indicando que, nesse estágio, a combinação dos fatores potencializou o desenvolvimento da cultura.

No que se refere às variáveis de biomassa, verificou-se que a MFPA foi influenciada significativamente ao nível 1% de probabilidade pela interação fertilizante e irrigação. Já a MSPA respondeu de forma significativa ao nível 1% de probabilidade ao fator isolado fertilizante, confirmando que a adubação desempenha papel fundamental no acúmulo de matéria seca.

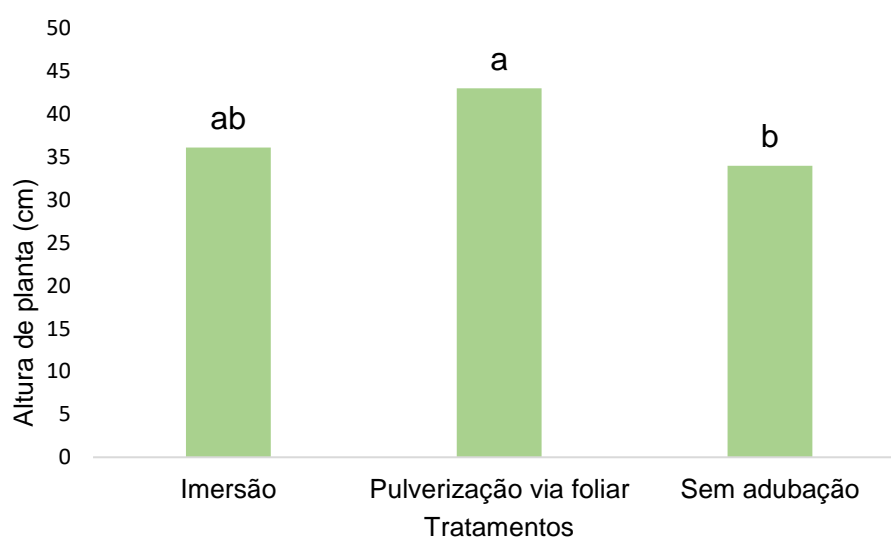
Tabela 2. Resumo das análises de variância e coeficientes de variação para as variáveis de crescimento: NF, AP, DC, MFPA e MSPA sob diferentes manejos de fertilizante e irrigação aos 15, 30 e 45DAP.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	QM									MFPA	MSPA
		15 DAP			30DAP			45 DAP				
		NF	AP	DC	NF	AP	DC	NF	AP	DC		
Fertilizante (I)	2	0,79167 ^{ns}	35,01042 ^{ns}	0,19583 ^{ns}	0,04167 ^{ns}	179,00542*	0,46991 ^{ns}	5,04167*	424,44792*	2,86948*	985,90628**	32,35993**
Irrigação (II)	1	0,66667 ^{ns}	1,04167 ^{ns}	0,36507 ^{ns}	0,66667 ^{ns}	6,615 ^{ns}	3,48844 ^{ns}	2,66667 ^{ns}	256,76042 ^{ns}	0,2501 ^{ns}	169,2297 ^{ns}	5,67454 ^{ns}
Interação (I x II)	2	1,04167 ^{ns}	3,88542 ^{ns}	0,5822 ^{ns}	1,79167 ^{ns}	117,70125 ^{ns}	0,55361 ^{ns}	5,54167*	679,07292**	1,89073 ^{ns}	174,8923*	5,30514 ^{ns}
Resíduo	18	0,38889	1619444	0,42586	1,5000	3574278	1,01238	1,41667	97,21875	0,59983	46,70582	1,7143
Total	23											
CV (%)		14,39	22,89	17,36	15,97	16,51	20,77	10,99	16,61	14,04	26,3	27,52

CV: Coeficiente de Variação; GL: Grau de liberdade, QM: Quadrado médio; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$).

Na Figura 13, estão representados os tratamentos em relação à AP aos 30 dias após o plantio. Observou-se que a pulverização via foliar proporcionou maior altura de plantas, superando em 22% a ausência de adubação e em 16% o tratamento por imersão. Assim, a maior altura de plantas obtida com a pulverização foliar confirma o papel da nutrição mineral equilibrada na maximização do crescimento vegetativo inicial da mandioca, enquanto a ausência de adubação limitou em mais de 20% o desenvolvimento da variável analisada.

Figura 13. Médias de AP em função da fertirrigação na cultura da mandioca aos 30 dias.



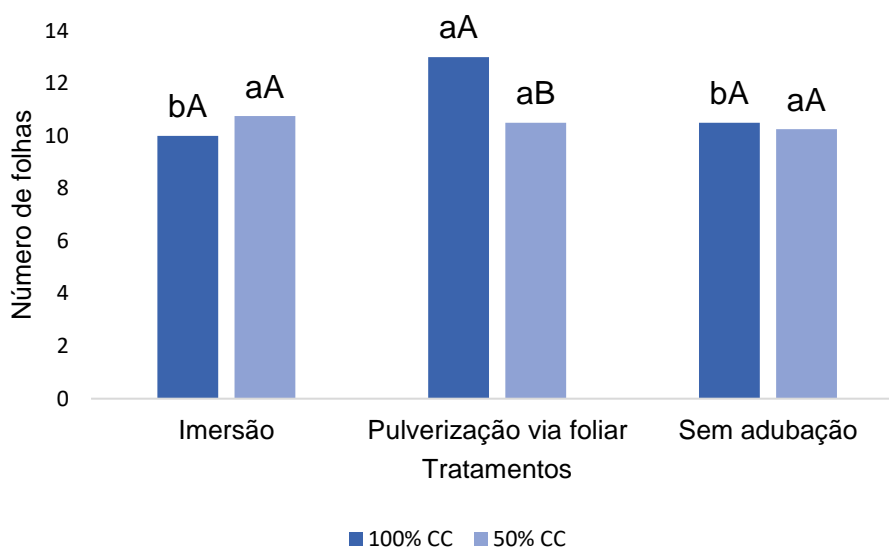
Maior altura de planta é uma característica desejável, uma vez que a mandioca se propaga vegetativamente por meio de estacas; portanto, qualquer estímulo positivo ou negativo ao crescimento da parte aérea no desenvolvimento inicial pode afetar diretamente a qualidade do material de plantio e a produção em culturas subsequentes (Rós, 2016).

Aos 45 DAP, a pulverização via foliar sob 100% da capacidade de campo apresentou o maior valor médio, aproximadamente 13 folhas, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Contudo, quando submetida ao déficit hídrico (50% CC), houve redução para cerca de 10 folhas, representando uma diminuição de 23% em relação à condição hídrica plena (Figura 14). Esse resultado evidencia que, embora a adubação foliar potencialize a emissão de folhas, sua eficiência é sensivelmente reduzida quando há restrição de água, devido ao fechamento estomático, à redução da expansão foliar e à

menor assimilação de carbono, conforme relatado por Alves; Setter (2004) e Omondi et al. (2018).

O tratamento por imersão apresentou valores médios próximos a 10 folhas em 100% CC e 11 em 50% CC, o que corresponde a um incremento de aproximadamente 10% sob déficit hídrico, sugerindo maior estabilidade frente à restrição de água. Já a ausência de adubação resultou em valores próximos de 10 folhas, sem variação significativa entre os níveis hídricos, evidenciando que, em condições de baixa disponibilidade nutricional, a limitação hídrica não alterou expressivamente a emissão foliar.

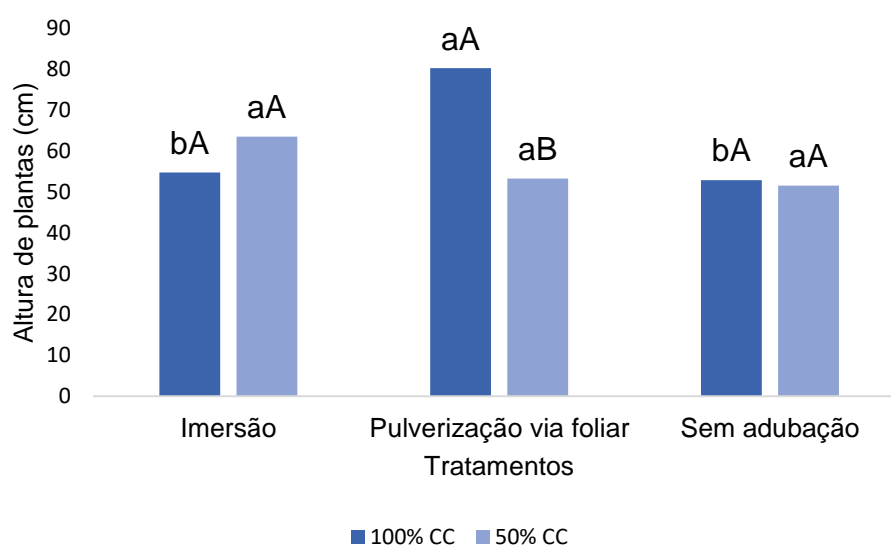
Figura 14. Médias de NF em função da fertirrigação na cultura da mandioca aos 45 DAP.



Ainda referente aos 45 DAP, também se verificou interação significativa para a variável altura de plantas (Figura 15). A pulverização via foliar sob 100% da capacidade de campo apresentou o melhor desempenho, com altura aproximada de 80 cm, sendo cerca de 45% superior ao tratamento sem adubação e 31% maior do que o mesmo tratamento sob 50% da capacidade de campo, o que evidencia a dependência desse manejo em relação à adequada disponibilidade hídrica. Quando submetida a 50% da capacidade de campo, a pulverização foliar sofreu uma redução expressiva, atingindo em torno de 55 cm, o que demonstra sensibilidade da técnica ao déficit hídrico. Resultados semelhantes foram encontrados por Wasonga (2020), no qual a área foliar e a altura da planta foram bastante reduzidas quando a irrigação foi diminuída para 30% da capacidade do vaso.

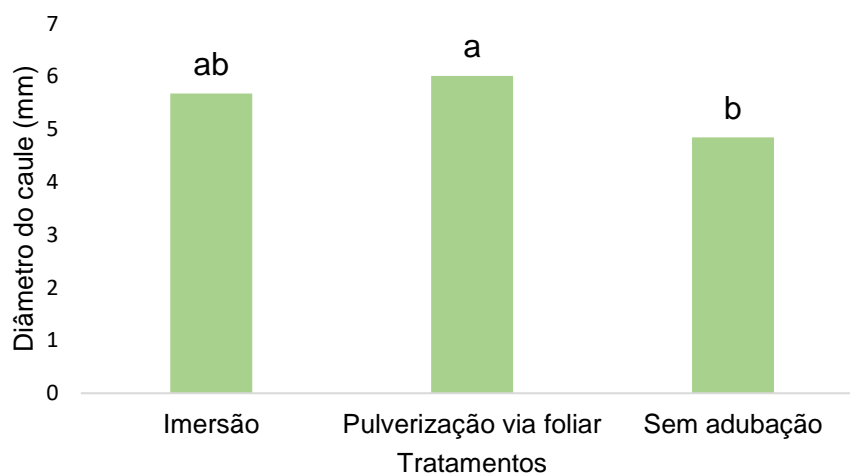
O tratamento por imersão apresentou comportamento distinto, alcançando aproximadamente 55 cm em 100% da capacidade de campo e cerca de 65 cm em 50%, o que representa incremento de aproximadamente 18% sob restrição hídrica, sugerindo maior resiliência inicial das plantas a condições limitantes de água. Já a ausência de adubação resultou em valores médios estáveis, entre 52 e 54 cm, sem diferenças significativas entre os níveis hídricos, mas mantendo o menor desempenho geral.

Figura 15. Médias de AP em função da fertirrigação na cultura da mandioca aos 45 DAP.



Para a variável DC, as médias do fator fertilizante mostram que a pulverização via foliar apresentou o maior valor médio, aproximadamente 6 mm, indicando maior acúmulo de biomassa estrutural inicial, diferindo estatisticamente do tratamento sem adubação, o qual registrou o menor desempenho, em torno de 5 mm (Figura 16).

Figura 16. Médias de DC em função da fertirrigação na cultura da mandioca aos 45 DAP.

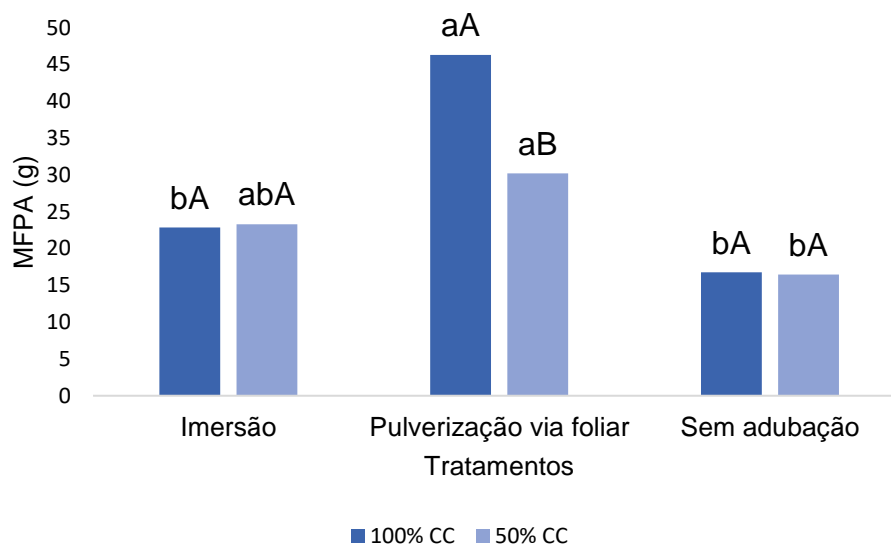


A formação de tecidos radiais e o espessamento do caule estão relacionados ao balanço de assimilados e ao estado nutricional da planta; aplicações foliares que melhoram o estado nutricional podem acelerar a deposição de matéria seca de sustentação, resultando em maiores DC em estágios iniciais. Estudos com biostimulantes aplicados via foliar em mandioca demonstraram que há incremento linear no diâmetro do caule com o aumento da concentração do agente aplicado, indicando fortalecimento estrutural e melhor deposição de matéria de sustentação (Revista Ceres, 2016).

Já o tratamento por imersão apresentou resultado intermediário, com cerca de 5,5 mm, não diferindo significativamente nem da pulverização foliar nem da ausência de adubação.

Em relação a biomassa, as médias do fator fertilizante para a variável MFPA mostrou que a pulverização via foliar sob 100% da capacidade de campo apresentou o maior valor médio, cerca de 45g, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos e superando em mais de 140% a produção registrada no tratamento sem adubação, que apresentou valores próximos de 18g. Entretanto, quando submetida a 50% da capacidade de campo, a pulverização foliar apresentou redução de aproximadamente 33%, atingindo em torno de 30g, embora ainda tenha se mantido superior aos demais tratamentos (Figura 17).

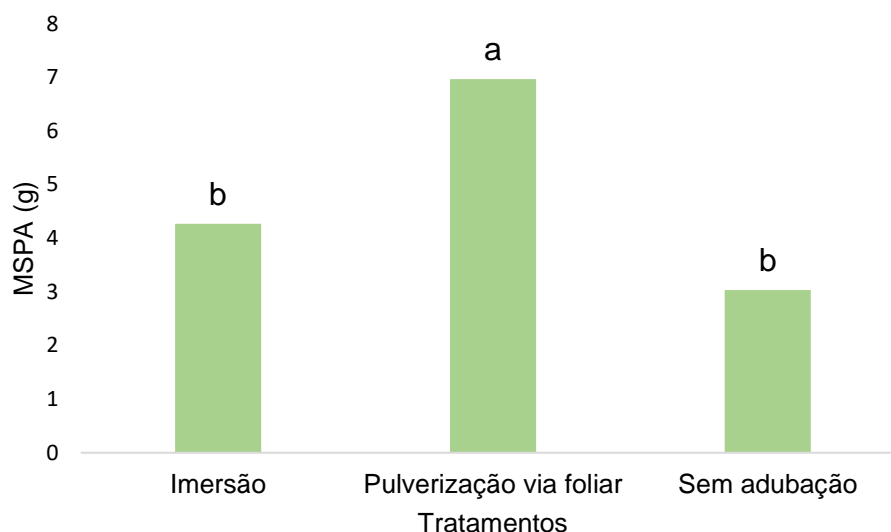
Figura 17. Médias de MFPA em função da fertirrigação na cultura da mandioca.



O tratamento por imersão apresentou redução de cerca de 44% em relação à pulverização via foliar, sem diferenças significativas entre os níveis hídricos, sugerindo maior estabilidade frente à restrição de água, porém sem alcançar o desempenho da pulverização foliar sob condições ideais. Já a ausência de adubação resultou nos menores valores de biomassa, sem variação entre os níveis de irrigação, evidenciando limitação ao crescimento da parte aérea.

Observou-se também que as médias do fator fertilizante para a variável MSPA mostrou que a pulverização via foliar apresentou o melhor desempenho, superando em 133% o tratamento sem adubação e em 66% o tratamento por imersão (Figura 18).

Figura 18. Médias de MSPA em função da fertirrigação na cultura da mandioca.



A superioridade da pulverização foliar pode ser atribuída à absorção mais rápida e direta dos nutrientes pelas folhas, permitindo que a planta utilize de forma imediata os elementos essenciais para processos fisiológicos como fotossíntese, síntese de proteínas e divisão celular. Segundo Taiz et al. (2017), a disponibilidade adequada de nutrientes está diretamente associada ao incremento no crescimento vegetativo, uma vez que sustenta o metabolismo e o acúmulo de matéria seca. Resultados semelhantes foram relatados por Teodoro (2015), que observaram um desenvolvimento normal das plantas, gerando maior acúmulo de massa seca de haste + ramos, folhas + pecíolos, cápsulas de vagens e sementes, em comparação com a testemunha, sob aplicação via foliar de nutrientes em plantas de soja.

A análise de variância para as variáveis de sistema radicular revelou que o fertilizante apresentou efeito significativo, sendo significativo ao nível 5% de probabilidade para as variáveis densidade, MFR, MSR e significativo ao nível de 1% de probabilidade para o IQD (Tabela 3). Esse resultado demonstra que a adubação foi determinante não apenas para o crescimento vegetativo, mas também para a qualidade geral das mudas, reforçando a importância do aporte nutricional adequado.

A interação entre fertilizante e irrigação foi significativa apenas para a densidade, ao nível 1% de probabilidade, sugerindo que o efeito combinado dos fatores impacta diretamente a estrutura do sistema radicular.

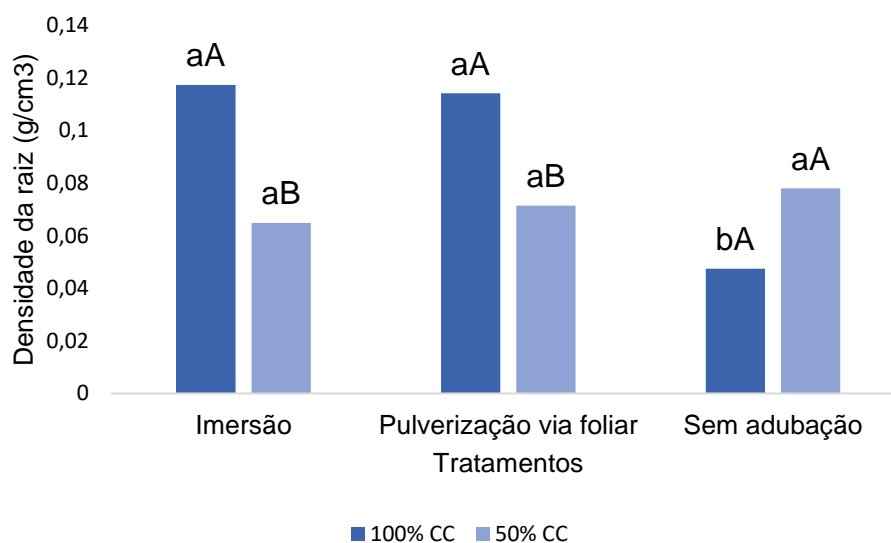
Tabela 3. Resumo das análises de variância das variáveis de sistema radicular da mandioca sob diferentes manejos de fertilizante e irrigação aos 45DAP.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	QM			
		Densidade	MFR	MSR	IQD
Fertilizante (I)	2	0,00229*	13,70711*	0,11748*	0,06573**
Irrigação (II)	1	0,0028*	5,92802 ^{ns}	0,03482 ^{ns}	0,0022 ^{ns}
Interação (I x II)	2	0,00412**	2,31281 ^{ns}	0,00684 ^{ns}	0,00178 ^{ns}
Resíduo	18	0,00058	3,40963	0,02366	0,0053
Total	23				
CV (%)		29,17	24,95	23,58	21,19

CV: Coeficiente de Variação; GL: Grau de liberdade, QM: Quadrado médio; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$).

Na Figura 19, são apresentadas as densidades das raízes em função da forma de fertilização e do regime hídrico. Nos tratamentos imersão e pulverização via foliar, sob 100% da capacidade de campo, os valores foram de aproximadamente $0,12 \text{ g cm}^{-3}$, enquanto em 50% da capacidade de campo houve reduções para cerca de $0,08\text{--}0,09 \text{ g cm}^{-3}$, correspondendo a uma queda de 25 a 33% em relação à condição hídrica plena.

Figura 19. Médias de densidade da raiz em função da fertirrigação na cultura da mandioca.



No tratamento sem adubação, a densidade radicular foi a menor sob 100% CC mas apresentou incremento sob 50% CC, um aumento relativo de 50%. Esse comportamento pode estar relacionado a um ajuste adaptativo das plantas à restrição de nutrientes, promovendo maior investimento relativo em tecidos de raiz sob estresse. Esses resultados estão em consonância com os relatos de Alves; Setter (2004), que observaram que a mandioca apresenta modificações no crescimento e na densidade dos tecidos radiculares em resposta a insuficiência hídrica.

Para MFR (Figura 20a), a pulverização via foliar apresentou o maior valor médio, em torno de 8,5 g, superando em aproximadamente 41% o tratamento sem adubação (cerca de 6 g) e em 10% o tratamento por imersão (aprox. 7,7 g).

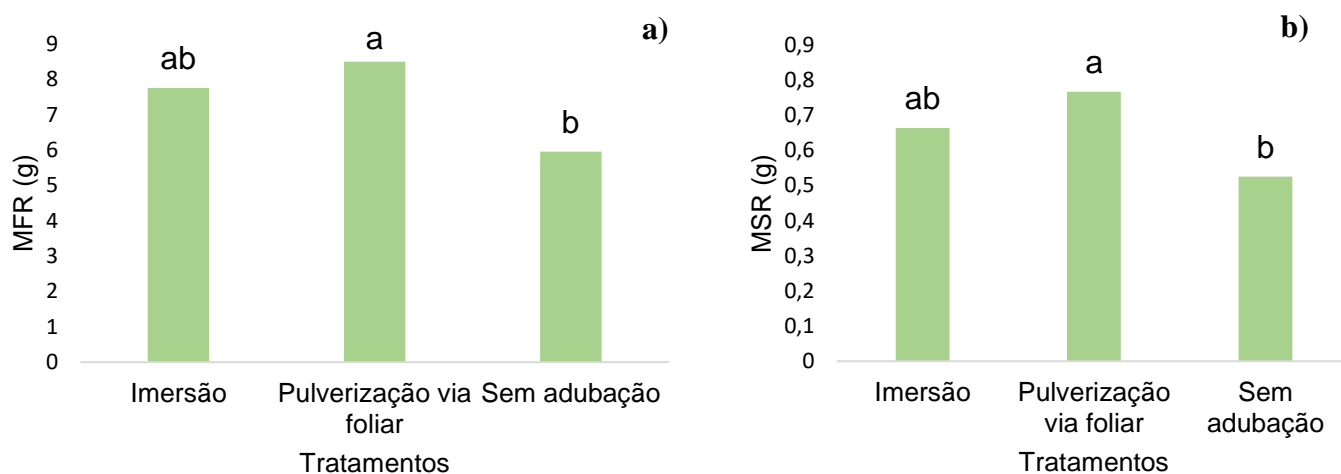
Quanto à MSR (Figura 20b), observou-se comportamento semelhante: a pulverização foliar apresentou valor médio de cerca de 0,78 g, sendo aproximadamente 41% superior à ausência de adubação (0,55 g) e 16% maior do que o tratamento por imersão (0,67 g).

A maior deposição de matéria seca nas raízes tratadas com adubação foliar reforça que a nutrição adequada não apenas estimula a formação de tecidos radiculares, mas também promove maior eficiência na alocação de assimilados para reserva. Estudos fisiológicos apontam que a aplicação de nutrientes, especialmente nitrogênio e potássio,

é determinante para a síntese de amido e o aumento da matéria seca nas raízes de mandioca (El-Sharkawy, 2012; Howeler, 2014).

Por outro lado, a ausência de adubação resultou nos menores valores tanto de MFR quanto de MSR, confirmando que a limitação nutricional reduz a capacidade de crescimento e de acúmulo de reservas nas raízes. Okogbenin et al. (2013) destacam que, em condições de estresse nutricional ou hídrico, a mandioca tende a reduzir o investimento em biomassa subterrânea, o que compromete o rendimento final da cultura.

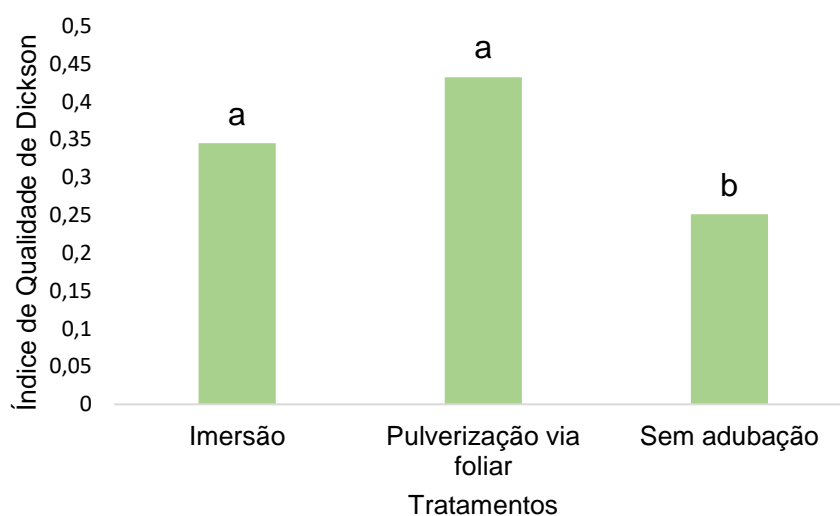
Figura 20. Médias de MFR e MSR em função da fertirrigação na cultura da mandioca.



Para a variável IQD, a pulverização via foliar também apresentou maiores resultados, com um incremento de cerca de 55% em relação à ausência de adubação e de 17% em relação ao tratamento por imersão (Figura 21).

Esses achados estão em consonância com relatos da literatura de que valores mais elevados de IQD estão associados a maior uniformidade, equilíbrio entre parte aérea e sistema radicular, e maior capacidade de adaptação em condições de campo (Fonseca et al., 2002; Gomes & Paiva, 2011). Em mandioca, El-Sharkawy (2012) enfatiza que a nutrição mineral adequada e o suprimento hídrico favorecem o crescimento equilibrado e a robustez das mudas, características que elevam o IQD.

Figura 21. Médias de IQD em função da fertirrigação na cultura da mandioca.



4.2 Variáveis de Clorofila

A análise de variância para os teores de pigmentos fotossintéticos revelou que a irrigação apresentou efeito significativo ao nível 1% de probabilidade sobre as variáveis clorofila A e clorofila B, enquanto o fertilizante e a interação fertilizante e irrigação não apresentaram efeito significativo. Esse resultado indica que a disponibilidade hídrica foi o fator determinante para a síntese e manutenção dos pigmentos clorofilianos, essenciais para a atividade fotossintética da cultura (Tabela 4).

De acordo com Taiz et al. (2017), o estresse hídrico reduz a atividade da enzima rubisco e a integridade dos tilacoides, levando à degradação de clorofilas e, conseqüentemente, à queda na eficiência fotossintética. Assim, os maiores valores de clorofila obtidos sob irrigação refletem uma condição mais favorável ao metabolismo da planta, assegurando maior capacidade de captação de luz e fixação de carbono.

A ausência de efeito significativo do fertilizante sobre os teores de clorofila A e B sugere que, nas condições experimentais, a disponibilidade nutricional não foi fator limitante para a síntese de pigmentos.

Tabela 4. Resumo das análises de variância das variáveis de clorofila na mandioca sob diferentes manejos de fertilizante e irrigação aos 45DAP.

CAUSAS DE VARIACÃO	GL	QM	
		Clorofila A	Clorofila B
Fertilizante (I)	2	0,28265 ^{ns}	0,09624 ^{ns}
Irrigação (II)	1	34,08167 ^{**}	33,00986 ^{**}
Interação (I x II)	2	3,09752 ^{ns}	1,66635 ^{ns}
Resíduo	18	2,37518	1,80174
Total	23		
CV (%)		4,01	12,33

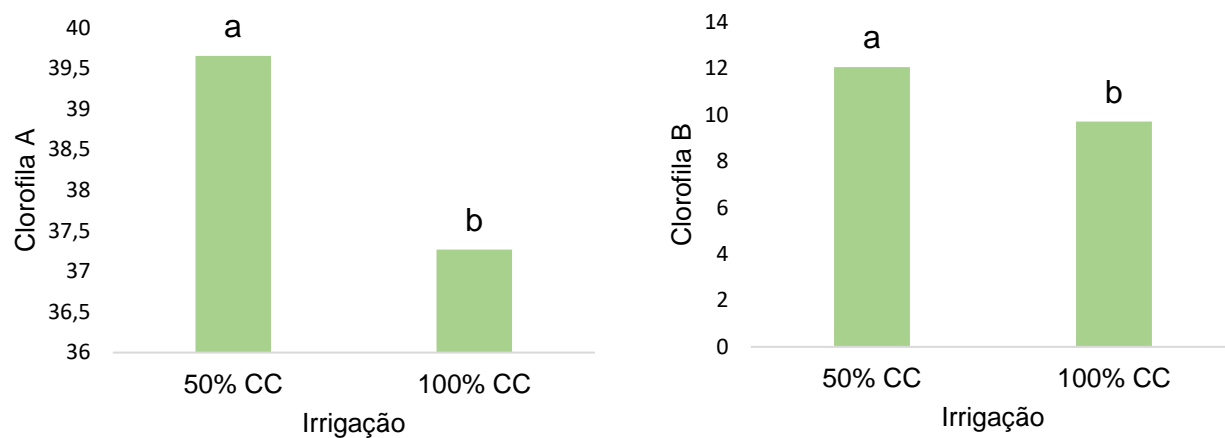
CV: Coeficiente de Variação; GL: Grau de liberdade, QM: Quadrado médio; ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$).

Na Figura 22, observa-se um efeito significativo do fator irrigação para as variáveis de clorofila. Este resultado sugere que a irrigação a 50% da C.C proporcionou maior acúmulo de clorofila A e B, podendo estar associada a uma resposta adaptativa da planta frente à redução hídrica, sem comprometer a produção de pigmentos essenciais para a fotossíntese. Desse modo, o aumento ou a diminuição do teor de clorofila pode estar diretamente associado ao regime de irrigação, mas o sinal e a magnitude da resposta dependem fortemente da espécie, do estágio de desenvolvimento, da intensidade/duração do déficit e da disponibilidade de nutrientes (Kusvur, 2025).

Alguns estudos mostram que respostas ao déficit hídrico seguem um padrão não linear: estresse leve a moderado às vezes provoca manutenção ou até aumento do conteúdo de clorofila, enquanto estresse moderado a severo tende a reduzir clorofila por danos às membranas dos cloroplastos e senescência foliar. Estudos experimentais

recentes em plantas de Madressilva Azul documentam aumento de clorofilas sob seca moderada e redução à medida que o estresse se agrava (Yan, 2024).

Figura 22. Médias das Clorofilas A e B em função da irrigação na cultura da mandioca aos 45 DAP.



5 CONCLUSÃO

A pulverização via foliar apresentou superioridade às variáveis AP aos 30DAP, DC aos 45DAP, MSPA, MFR, MSR e IQD.

O estresse hídrico afetou a produção de Clorofila A e Clorofila B, apresentando valores superiores aos que tiveram irrigação plena.

A combinação de estratégias agronômicas favoreceu o desenvolvimento da cultura, principalmente sob as variáveis AP e NF aos 45DAP, MFPA e densidade da raiz, evidenciando que o tipo de fertilização adequada, associada bom manejo de irrigação, favorece o crescimento inicial da cultura.

REFERÊNCIAS

- AGRICULTURA irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. Lineu Neiva Rodrigues; Antonio Félix Domingues (eds.). Brasília, DF: INOVAGRI, 2017.
- AGROSUSTENTAR. **Maiores produtores de mandioca do Brasil**. Disponível em: <https://agrosustentar.com.br/agronegocio/maiores-produtores-mandioca/>. Acesso em: 5 jul. 2025.
- ALVES, A. A. C. Cassava botany and physiology. In: HILLOCKS, R. J.; THRESH, J. M.; BELLOTTI, A. C. (eds.). **Cassava: biology, production and utilization**. p. 67–89, 2002.
- ALVES, A. A. C.; SETTER, T. L. Response of cassava to water deficit: leaf area growth and abscisic acid. **Crop Science**, v. 44, n. 3, p. 1234–1243, 2004.
- ALVES-PEREIRA, A. et al. Selective signatures and high genome-wide diversity in cassava landraces. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1–13, 2022. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-05160-8>. Acesso em: 17 out. 2025.
- ANAN, P. et al. Effect of stake priming with nutrient solution on growth and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). In: **Proceedings of the 17th National Kasetsart University Conference on Agricultural Research**, Khon Kaen, Thailand, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE AMIDO DE MANDIOCA (ABAM). **Irrigação pode aumentar a produtividade em até 400% e reduzir tempo de colheita**. 2020. Disponível em: <https://abam.com.br/irrigacao-pode-aumentar-a-produtividade-em-ate-400-e-reduzir-tempo-de-colheita/>. Acesso em: 22 ago. 2025.
- BROCHADO, J. P. **A analogia etnográfica na reconstrução da alimentação por meio de evidências indiretas: a mandioca na floresta tropical**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1977. (Caderno 2).
- COELHO, A. P. et al. Clorofilômetro portátil como forma de manejo da irrigação e adubação nitrogenada em aveia-branca. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 2, p. 2542, 2018.
- CUNHA, E. F.; NETO, J. T. **Melhoramento genético da mandioca para o Estado do Pará**. In: **Cultura da Mandioca: Apostila**. Castanhal, 2011. p. 46–47.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, v. 36, n. 1, p. 10–13, 1960. Disponível em: <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>. Acesso em: 17 out. 2025.
- DOMÍNGUEZ, E. C.; CEBALLOS, L. F.; FUENTES, C. Morfología de la planta de yuca. In: DOMÍNGUEZ, C. E. (ed.). **Yuca: investigation, production y utilization**. Cali: CIAT, 1984. p. 29–49.

EL-SHARKAWY, M. A. Stress-tolerant cassava: the role of integrative ecophysiology-breeding research in crop improvement. **Open Journal of Soil Science**, v. 2, p. 162–186, 2012.

EMATER-MG. **Cultura da mandioca (Manihot esculenta subsp. esculenta)**. Disponível em: <https://www.emater.mg.gov.br/download.do?id=65344>. Acesso em: 17 out. 2025.

EMBRAPA. **Mandioca**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/mandioca>. Acesso em: 1 jul. 2025.

FELTRAN, J. C.; VALLE, T. L.; GALERA, J. M. S. V. Efeito de bioestimulante (stimulate) no desenvolvimento radicular da mandioca de indústria variedade IAC-14. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v. 5, p. 702-706, 2009.

FONSECA, É. P. et al. Padrão de qualidade de mudas de espécies florestais baseado no índice de qualidade de Dickson. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655–664, 2002.

GOMES, J. de C.; SILVA, J. da. Correção da acidez e adubação. In: SOUZA, L. da S.; FARIAS, A. R. N.; MATTOS, P. L. P. de; FUKUDA, W. M. G. **Aspectos socioeconômicos e agronômicos da mandioca**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006. cap. 9, p. 215-247.

HASSAN, N. M. K.; IBRAHIM, M. A.; EL-METWALLY, I. M. Effect of bio-stimulants foliar applications on growth, yield and quality of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Bulletin of the National Research Centre**, v. 44, n. 1, p. 1–10, 2020. DOI: 10.1186/s42269-020-00358-9.

IBGE. **Produção agropecuária – Mandioca**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/mandioca/br>. Acesso em: 17 out. 2025.

KHANTHAVONG, P. **Effect of stake priming with complete nutrient solution on cassava root and starch yield**. Master's Thesis — Khon Kaen University, Thailand, 2012.

KUSVUR, S.; GURCAN, K.; ERGUN, M. et al. Breeding for drought tolerance by monitoring chlorophyll content. Longdom Publishing, 2016. Disponível em: <https://www.longdom.org/open-access/breeding-for-drought-tolerance-by-monitoring-chlorophyll-content.pdf>. Acesso em: 17 out. 2025.

LIA CECA UFAL. **Boletim meteorológico da estação agrometeorológica do CECA-UFAL até o mês de setembro de 2025** [postagem em Instagram]. Rio Largo: Instagram, 3 out. 2025. Disponível em: <https://www.instagram.com/p/DPWdhBuDdve/?igsh=MWdxZWp6MDdraTFyMw==>. Acesso em: 20 out. 2025.

LIMA, Í. W. de C. **Relato de implantação de tecnologia no cultivo da mandioca de mesa**. 2022.

NASSAR, N. M. A. Cytogenetics and evolution of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). **Genetic and Molecular Biology**, v. 23, n. 4, p. 1003–1014, 2000.

MESELE SA, Huising EJ. 2025. Enhancing cassava productivity in Nigeria: the role of foliar fertilization in addressing nutrient deficiencies and agroecological challenges. **Circular Agricultural Systems** 5: e006 doi: 10.48130/cas-0025-0003

OKOGBENIN, E. et al. Phenotypic approaches to drought in cassava: review. **Frontiers in Physiology**, v. 4, p. 93, 2013.

OLIVEIRA, J. R. de. Efeitos da estiagem na produção de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 12, p. 1623–1628, 1982. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/15546/9530>. Acesso em: 17 out. 2025.

OLSEN, K. M.; SCHAAL, B. A. Evidence on the origin of cassava: phylogeography of *Manihot esculenta*. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 96, n. 10, p. 5586–5591, 1999. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.96.10.5586>. Acesso em: 17 out. 2025.

OMONDI, O. E. et al. Nutrient use efficiency and harvest index of cassava decline as fertigation solution concentration increases. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 181, n. 3, p. 389–398, 2018. DOI: 10.1002/jpln.201700455. Acesso em: 1 ago. 2025.

PRADO, L. T.; ZUCARELI, V.; SILVA, G. S.; ROQUE, L. D.; GUTIERREZ, W.; SILVA JUNIOR, M. G. MÉTODOS DE APLICAÇÃO DE BIOESTIMULANTE EM MANIVAS DE MANDIOCA. Anais do 28º Encontro Anual de Iniciação Científica. Universidade Estadual de Maringá, 2019.

PIPATSITEE, A. et al. Application of infrared thermography to assess cassava physiology under water deficit condition. **Plant Production Science**, v. 21, p. 398–406, 2018.

RÓS, A. B.; SÃO JOÃO, R. E. Desempenho agrônômico e uso eficiente da terra em arranjos de plantas de mandioca e batata-doce. **Revista Ceres**, v. 63, n. 4, p. 351–358, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rceres/a/pG7CKqzckmrdkvRd8FMnNkd/>. Acesso em: 17 out. 2025.

SALLA, D. A.; FURLANETO, F. P. B.; CABELLO, C.; KANTHACK, R. A. D. Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 444–448, 2010.

SANTOS, V. S. dos. *Mandioca*. Brasil Escola, 2023. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/saude/mandioca.htm>. Acesso em: 1 jul. 2025.

- SILVA, A. F. et al. Produção da parte aérea de variedades de mandioca em Petrolina/PE. In: **Congresso Brasileiro de Recursos Genéticos**, 2., 2012, Belém-PA. *Anais...* Belém: SBRG, 2012.
- SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. **ASSISTAT: Software de Análise Estatística**. Versão 7.7. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2016.
- SILVA, R. B. **Crescimento e produtividade da mandioca sob níveis de irrigação em função da evapotranspiração da cultura**. 2020. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/123456789/8043>. Acesso em: 17 out. 2025.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.
- TEODORO, P. E. et al. Acúmulo de massa seca na soja em resposta à aplicação foliar com silício sob condições de déficit hídrico. 2015.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The Water Balance**. Publications in Climatology, v. 8, n. 1, p. 1–104, 1955.
- WASONGA, D. O. et al. Growth response of cassava to deficit irrigation and potassium fertigation during the early growth phase. **Agronomy**, v. 10, n. 3, p. 321, 2020. DOI: 10.3390/agronomy10030321.
- YAN, W. et al. Effects of drought stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence in blue honeysuckle. **Plants**, v. 13, p. 2115, 2024. DOI: 10.3390/plants13152115.