



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA- UFRA
DOUTORADO EM AGRONOMIA
EXAME DE DEFESA**

ERMANO PREVOIR

**EFEITO DA IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DO
COQUEIRO ANÃO VERDE NA AMAZÔNIA**

BELÉM - PA

2024

ERMANO PREVOIR

**EFEITO DA IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DO
COQUEIRO ANÃO VERDE NA AMAZÔNIA**

Tese apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração agronomia, para obtenção de Título de Doutor em Agronomia.
Orientador: Prof^o. Dr. Joaquim Alves de Lima Junior.

BELÉM - PA

2024

ERMANO PRÉVOIR

**EFEITO DA IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO NA PRODUÇÃO DO
COQUEIRO ANÃO VERDE NA AMAZÔNIA**

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

Realizada em dezembro de 2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Joaquim Alves Junior (Orientador)
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

Drº Italo Marlone Gomes Sampaio
Secretaria do Desenvolvimento da Agropecuária e da Pesca (SEDAP-PA)

Drº Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

Drº Paulo Manoel Pontes Lins
Sococo S/A Agroindustrias da Amazônia

Dra Mariana Casari Parreira

Universidade do Açores – UAC. Faculdade de Ciências Agrárias e do Ambiente – FCAA. Instituto de Investigação em Tecnologias Agrárias e do Meio Ambiente – ITAA/ Ilha Terceira, Açores, Portugal.

Dr André Luiz Pereira da Silva
Universidade Federal do Pará – UFPA

AGRADECIMENTOS

A DEUS por tudo.

A minha família pelos apoios mesmo de longe.

A Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), pela oportunidade concedida durante a pós-graduação.

À coordenação do PgAgro/Ufra.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo.

À Fazenda Reunidas do grupo SOCOCO S.A, particularmente o Dr. Paulo Manoel Pontes Lins, pela possibilidade de realização dessa pesquisa em suas instalações e por todo o suporte fornecido ao longo desses anos.

Ao meu orientador, o professor Dr. Joaquim Alves Junior De Lima pela confiança e apoio durante o doutorado.

Ao professor Dr Rodrigo Otávio Rodrigues de Melo Souza pela aprendizagem.

A professora Dra Vânia Silva de Melo, pela confiança e a permissão de uso do Laboratório de Microbiologia do Solo – UFRA, quando foi necessário.

A Dra Maria Medeiros do Bom Conselho pelas forças e apoio no projeto.

Ao Dr. Italo Sampaio pela ajuda durante essa trajetória, nas análises estatísticas, e pelo apoio nas correções.

Ao Dr Yan Nunes pelo apoio nas análises de laboratório.

A Dra Helane Cristina Aguiar Santos pelo suporte nas correções do trabalho.

Ao Mestre Marcos Augusto Gonçalves Souza, meu parceiro de campo pelos suportes, aprendizagem, apoios e conselhos.

Ao mestrando Jefferson Martins Dos Santos, pelos apoios.

Ao grupo de pesquisa GEEASA, pelo acolhimento durante essa trajetória de doutorado.

À comunidade Haitiana de Belém pelos momentos inesquecíveis mesmo longe das nossas terras.

À equipe de funcionários da fazenda reunidas da SOCOCO de Santa Isabel: Lucas Faroe, Leandro, Augusto, Sedivone, Marcos, Janine, Francimario, etc.

Aos funcionários e professores do PgAgro, que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Aos membros da banca examinadora pelo tempo, pelas valiosas colaborações, reflexões, sugestões.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para conclusão desse trabalho.

RESUMO

Nos últimos anos, o Brasil tem expandido significativamente o cultivo do coqueiro-anão verde (*Cocos nucifera* L.) sob irrigação, impulsionado pela crescente demanda por água de coco e pela instalação de indústrias processadoras. Apesar das condições tropicais favoráveis, desafios como a sazonalidade das chuvas e a variabilidade climática na Amazônia justificam o uso de tecnologias de irrigação e fertirrigação para aumentar a produtividade e a qualidade da cultura. O ensaio foi conduzido na Fazenda Reunidas Sococo, em Santa Izabel do Pará, em delineamento em blocos casualizados (3 x 4). Foi avaliado a eficiência dos diferentes níveis de fertilização NPK+Mg (100, 200 e 300%) e quatro tensões de água no solo (15, 30, 45, 60 kPa) na produtividade e qualidade da água do coqueiro-anão verde. Foram analisadas variáveis de concentrações de nutrientes foliares (N, P, K e Mg), de produção e de qualidade da água de coco. Os resultados evidenciaram que tensões de água mais baixas (15 kPa e 30 kPa) e maiores níveis de fertirrigação (200% e 300%) promoveram aumentos significativos na produtividade, refletidos em maiores números de fruto por planta (NFP), peso fruto (PF) e volume da água de coco (VA). Além disso, a qualidade da água de coco foi otimizada, com destaque para o aumento dos sólidos solúveis (Brix) e o equilíbrio na acidez (ATT) e na condutividade elétrica. Em relação aos nutrientes foliares, observou-se que as concentrações de N e K foram maiores em tratamentos com 200% e 300% de fertilizantes, especialmente sob tensões de 15 kPa e 30 kPa, enquanto o P e o Mg mostraram melhor desempenho em tensões moderadas (30 kPa e 45 kPa). Sob tensões mais elevadas (45 kPa e 60 kPa), a absorção de nutrientes foi reduzida, indicando estresse hídrico pela planta.

Palavras-chave: *Cocos nucifera* L. Nutrição de plantas. Fenologia. Qualidade da água de coco.

ABSTRACT

In recent years, Brazil has significantly expanded the cultivation of green dwarf coconut (*Cocos nucifera* L.) under irrigation, driven by the increasing demand for coconut water and the establishment of processing industries. Despite the favorable tropical conditions, challenges such as rainfall seasonality and climatic variability in the Amazon justify the adoption of irrigation and fertigation technologies to enhance crop productivity and quality. This study was conducted at Fazenda Reunidas Sococo, in Santa Izabel do Pará, using a randomized block design (3 x 4). The efficiency of different levels of NPK+Mg fertilization (100%, 200%, and 300%) and four soil water tensions (15, 30, 45, and 60 kPa) was evaluated in terms of productivity and coconut water quality. Variables assessed included foliar nutrient concentrations (N, P, K, and Mg), production metrics, and coconut water quality indicators. The results revealed that lower soil water tensions (15 kPa and 30 kPa) combined with higher fertigation levels (200% and 300%) significantly increased productivity, reflected in higher numbers of fruits per plant (NFP), fruit weight (PF), and water volume (VA). Additionally, coconut water quality was optimized, with notable improvements in soluble solids content (Brix) and balanced acidity (ATT) and electrical conductivity. Regarding foliar nutrients, higher concentrations of N and K were observed in treatments with 200% and 300% fertilization, particularly under soil water tensions of 15 kPa and 30 kPa, whereas P and Mg exhibited better performance under moderate tensions (30 kPa and 45 kPa). At higher tensions (45 kPa and 60 kPa), nutrient absorption was reduced, indicating water stress in the plants.

Keywords: *Cocos nucifera* L. Plant nutrition. Phenology. Coconut water quality.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO BRASIL, ESTADO DO PARÁ, O MUNICÍPIO DE SANTA ISABEL E A ÁREA EXPERIMENTAL LOCALIZADO NA PARCELA F132	30
FIGURA 2. CURVA CARACTERÍSTICA DO SOLO DA ÁREA EXPERIMENTAL DA FAZENDA REUNIDAS	34
FIGURA 3. VALORES DE PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA MÉDIA E UMIDADE DURANTE A CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	38
FIGURA 4. LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO MENSAL APLICADAS NAS DIFERENTES TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO	39
FIGURA 5. TEORES DE NITROGÊNIO (N) NA FOLHA EM FUNÇÃO DE TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO E NÍVEIS DE FERTILIZAÇÃO	41
FIGURA 6. TEORES DE POTÁSSIO (K) NA FOLHA EM FUNÇÃO DE TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO E NÍVEIS DE FERTILIZAÇÃO.	43
FIGURA 7. TEORES DE MAGNÉSIO (MG) NA FOLHA DE COQUEIRO EM FUNÇÃO DAS TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO E DOS NÍVEIS DE FERTILIZAÇÃO.....	45
FIGURA 8. TEORES DE FÓSFORO (P) NA FOLHA EM FUNÇÃO DAS TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO E DOS NÍVEIS DE FERTILIZAÇÃO.	47
FIGURA 9. NÚMERO DE FRUTOS POR PLANTA (NFP) EM FUNÇÃO DA FERTIRRIGAÇÃO E TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO	50
FIGURA 10. MÉDIA PESO DE FRUTO, EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS FERTIRRIGAÇÕES E TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO APLICADOS.....	52
FIGURA 11. VOLUME MÉDIA DA ÁGUA DE COCO POR FRUTOS COLHIDOS, EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE FERTIRRIGAÇÃO E TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO APLICADOS	54
FIGURA 12. REPRESENTAÇÃO EM BILOT DOS MACRONUTRIENTES E VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO DE COQUEIRO ANÃO VERDE NO PERÍODO DE JANEIRO DE 2021 A DEZEMBRO DE 204 NO MUNICÍPIO DE SANTA ISABEL-PA, LESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	56
FIGURA 13. PH EM FUNÇÃO DAS PORCENTAGENS DE FERTIRRIGAÇÃO E TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO.....	67
FIGURA 14. SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (°BRIX) EM FUNÇÃO DAS PORCENTAGENS DE FERTIRRIGAÇÃO E TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO.....	69
FIGURA 15. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (MS.CM1) EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE FERTIRRIGAÇÃO E TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO.....	70
FIGURA 16. ACIDEZ TOTAL TITULÁVEL (ATT % ÁCIDO MÁLICO) EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE FERTIRRIGAÇÃO E TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO.....	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DO SOLO.....	32
TABELA 2. RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DOS DIFERENTES TEORES DE NITROGÊNIO (N), FÓSFORO (P), POTÁSSIO (K) E O MAGNÉSIO (MG) NA FOLHA DO COQUEIRO ANÃO VERDE, EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE FERTIRRIGAÇÕES E TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO	40
TABELA 3. RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DAS VARIÁVEIS NFP, PF E VA NA PRODUÇÃO DO COQUEIRO ANÃO VERDE, EM FUNÇÃO DOS NÍVEIS DE FERTIRRIGAÇÃO E TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO.....	49
TABELA 4. MATRIZ DE CORRELAÇÕES LINEARES DAS CONCENTRAÇÕES DE NUTRIENTES E VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO DO COQUEIRO ANÃO VERDE FERTIRRIGADO E IRRIGADO NO PERÍODO DE JANEIRO DE 2021 A DEZEMBRO DE 2024 EM SANTA ISABEL-PA, LESTE DA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	57
TABELA 5. NÍVEIS DE ADUBAÇÃO APLICADOS VIA FERTIRRIGAÇÃO EM G PLANTA-1 ANO-1	65
TABELA 6. RESUMO DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA ACIDEZ TOTAL TITULÁVEL (ATT), POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH), SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (SST) E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE), EM FUNÇÃO DAS PORCENTAGENS DE FERTIRRIGAÇÃO E TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ta – temperatura média diária do ar

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura;

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

UFRA – Universidade Federal Rural da Amazônia

kg – Quilograma;

L - Litro;

LL – Lâmina líquida de irrigação;

LB – Lâmina bruta de irrigação;

TI – Tempo de irrigação;

m – Metro;

m³ – Metro cubico

m² - Metro quadrado;

mm - Milímetro;

NFP – Número de frutos por planta;

ha – Hectare;

DBC – Delineamento de blocos casualizados;

SI – Sem irrigação;

KCl – Cloreto de potássio;

cm – Centímetro;

MAP – Mono-Amônio-Fosfato;

CUD – Coeficiente de uniformidade de distribuição de água;

Ea – Eficiência de aplicação;

qa- Vazão;

e – Número de emissores por planta;

PP – Precipitação Pluviométrica;

NF - Número de frutos por planta;

PF – Peso do fruto;

ATT – Acidez total titulável;

CE – Condutividade elétrica;

pH – potencial Hidrogeniônico;

Sst – Sólidos solúveis totais;

VA – Volume de água de coco.

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
1 CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.1 CULTURA DO COQUEIRO	13
1.2 Distribuição e produção mundial de coqueiro	14
1.3 Nutrição mineral do coqueiro	15
1.4 Irrigação e fertirrigação no coqueiro	17
1.5 Manejo de irrigação via tensiometria no cultivo do coqueiro	18
1.6 Manejo da fertirrigação no coqueiro	19
1.7 Referências	22
2 RESPOSTAS NUTRICIONAIS DO COQUEIRO ANÃO VERDE FERTIRRIGADO NA AMAZÔNIA ORIENTAL	26
RESUMO	26
ABSTRACT	27
2.1 Introdução	28
2.2 Materiais e métodos	29
2.2.1 Caracterização da área experimental e manejo do plantio	29
2.2.2 Sistema e manejo de irrigação	32
2.2.3 Sistema e manejo de fertirrigação	35
2.2.4 Características analisadas	36
2.2.5 Análise estatística	37
2.3 Resultados e discussão	37
2.3.1 Características meteorológicas e consumo hídrico do período experimental	37
2.3.2 Quantidade de água aplicada na irrigação	38
2.3.2 Teores de nutrientes nas folhas	39
2.3.3 Produção de frutos	48

2.4 Conclusão	58
2.5 Referenciais	59
3 ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA DE COCO IN NATURA E SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS EM SANTA IZABEL DO PARÁ	61
RESUMO	61
ABSTRACT	62
3.1 Introdução	63
3.2 Materiais e métodos	64
3.3 Resultados e discussão	66
3.3.1 Potencial hidrogeniônico.....	67
3.3.2 Sólidos solúveis totais	68
3.3.3 Condutividade elétrica.....	70
3.3.4 Acidez Total Titulável (ATT)	72
3.3.5 Relação entre Brix e ATT	73
3.4 Conclusão	73
3.5 Referências	74

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1 Cultura do coqueiro

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.), integrante da família Arecaceae, destaca-se como uma das espécies mais versáteis e representativas das regiões tropicais e subtropicais (MOLIN; BARRETI, 2012; LÉDO et al., 2019). Essa palmeira apresenta notável capacidade de adaptação fisiológica e ecológica, permitindo seu cultivo em condições ambientais adversas, consolidando-se como um símbolo de sustentabilidade em ecossistemas costeiros (ANGELES et al., 2018).

Entre suas principais características morfofisiológicas, destacam-se o sistema radicular adaptado à tolerância salina, folhas com alta eficiência fotossintética, uma significativa plasticidade ambiental e um sistema reprodutivo eficiente. Os frutos do coqueiro, conhecidos por seu valor econômico e nutricional, possuem estrutura diferenciada, com formato ovalado, camada externa fibrosa, casca dura e endosperma espesso, rico em nutrientes. Este último, amplamente consumido como polpa ou água de coco, destaca-se por ser uma bebida isotônica natural, rica em eletrólitos, vitaminas e compostos bioativos, além de apresentar baixo teor calórico (PASSOS, 2018; YONG et al., 2009; PRADES et al., 2016; HIDALGO, 2017; SILVA et al., 2016).

Historicamente, o coqueiro gigante predominou nos sistemas produtivos devido à sua rusticidade e longevidade. Ele apresenta florescimento entre o quinto e o sétimo ano após o plantio, com produtividade anual de 60 a 80 frutos por planta, sendo amplamente utilizado na indústria e na culinária (PASSOS, 2018). Em contrapartida, o coqueiro-anão, de porte limitado a aproximadamente 12 metros, vem ganhando destaque por sua precocidade produtiva e alta qualidade dos frutos. Essa variedade inicia o florescimento entre o terceiro e o quarto ano após o plantio e apresenta produtividade anual de 150 a 250 frutos por planta a partir do quinto ano (RIBEIRO; SIQUEIRA; ARAGÃO, 2002; BENASSI; FANTON; SANTANA, 2013; SILVA, 2020).

Os frutos do coqueiro-anão são amplamente consumidos in natura, principalmente na forma de água de coco, que se caracteriza pela elevada qualidade sensorial, alto teor de potássio e ausência de colesterol, configurando-se como uma alternativa saudável e nutritiva (FERREIRA; WARWICK; SIQUEIRA, 2018; HOLANDA et al., 2007). A introdução de cultivares híbridos, resultantes do cruzamento entre coqueiros gigantes e anões, tem impulsionado a produção devido à combinação de características desejáveis, como maior

eficiência produtiva, precocidade e qualidade comercial dos frutos (FERREIRA; WARWICK; SIQUEIRA, 2018). Essa diversidade genética e funcional do coqueiro enfatiza sua relevância econômica, social e ambiental, consolidando-o como uma cultura estratégica para a sustentabilidade agrícola e a segurança alimentar em regiões tropicais.

1.2 Distribuição e produção mundial de coqueiro

A distribuição global do coqueiro (*Cocos nucifera* L.) demonstra sua notável adaptabilidade às condições tropicais e subtropicais, sendo cultivado em mais de 200 países nos cinco continentes. Com cerca de 300 ecótipos identificados, destacam-se as variedades *Typica* (coqueiro gigante) e *Nana* (coqueiro anão), cada uma com características e aplicações distintas. O coqueiro gigante é amplamente utilizado na produção de coco seco e seus subprodutos, enquanto o coqueiro anão é preferido pela indústria de água de coco devido à sua produtividade superior e à qualidade sensorial de seus frutos (ALVES et al., 2018; BAPTISTELLA; COELHO, 2021).

Parmi os países produtores, o Brasil ocupa a quinta posição, contribuindo com 4,5% da produção total, mas lidera em rendimento, alcançando cerca de 13.114 kg/ha, resultado do uso de tecnologias modernas, manejo eficiente e cultivares geneticamente aprimorados, como os híbridos Anão x Gigante, que combinam precocidade e alta produtividade (MARTINS; JESUS JÚNIOR, 2014).

No Brasil, o coqueiro é amplamente cultivado, com uma área estimada de 187,5 mil hectares e produção anual de 1,6 bilhão de frutos. A região Nordeste é a principal produtora, concentrando 80,9% da área colhida e 73,5% da produção nacional (IBGE, 2020). A região Norte ocupa a terceira posição, contribuindo com 10,5% da área colhida e 12,09% da produção nacional. Entre 2019 e 2020, o Norte registrou um aumento de 1.500 hectares na área cultivada, refletindo seu potencial de expansão impulsionado por condições climáticas favoráveis e disponibilidade de terras (BRAINER, 2021).

O estado do Pará destaca-se como o maior produtor da Região Norte e o terceiro maior no cenário nacional, representando 12,2% da produção brasileira em 2020 (IBGE, 2019). Este desempenho reflete a integração de práticas agrícolas modernas, incluindo sistemas de irrigação de alta eficiência, manejo nutricional e estratégias para mitigar os impactos das mudanças climáticas, fundamentais para sustentar e incrementar a produtividade da cocoicultura no estado (FRÓES JÚNIOR et al., 2019).

A produção de coco no Pará, além de ser estratégica para a economia estadual, é favorecida por fatores climáticos típicos das zonas intertropicais, como temperaturas elevadas e alta disponibilidade hídrica. Contudo, o coqueiro, especialmente a variedade anã, apresenta demandas significativas de água e nutrientes para manter seu ciclo contínuo de crescimento e produção. A insuficiência ou desequilíbrio desses fatores pode comprometer a produtividade, ocasionando abortamento de frutos e má formação (ARAÚJO et al., 2022). Assim, a utilização de tecnologias de irrigação eficiente e fertirrigação é essencial para atender às necessidades hídricas e nutricionais da planta, promovendo seu desenvolvimento fisiológico ideal e maior rendimento (PERRONI et al., 2015).

Além da relevância econômica, o cultivo do coqueiro no Pará integra-se aos esforços de diversificação agrícola e desenvolvimento sustentável, contribuindo para a geração de renda e o equilíbrio ambiental. A adoção de sistemas tecnológicos inovadores, associados à capacitação técnica e à pesquisa, é imprescindível para consolidar o potencial produtivo da cocoicultura no estado, atendendo às crescentes demandas do mercado interno e às oportunidades de exportação.

Dessa forma, o Pará se firma como um polo estratégico para a produção nacional de coco, alavancando o crescimento econômico da região e reforçando a competitividade do Brasil no cenário global. Além de fortalecer a cadeia produtiva, o manejo sustentável do coqueiro contribui para a preservação dos recursos naturais, promovendo o desenvolvimento socioeconômico das comunidades produtoras.

1.3 Nutrição mineral do coqueiro

O coqueiro-anão verde (*Cocos nucifera* L.) é uma cultura estratégica para a agricultura tropical, especialmente na região amazônica, onde desempenha papel relevante tanto economicamente quanto ambientalmente. No estado do Pará, as condições edafoclimáticas, caracterizadas por solos ácidos, com baixa fertilidade natural e alta susceptibilidade à lixiviação, impõem desafios significativos ao manejo da cultura (GAMA et al., 2007). Para superar tais limitações, é imprescindível a adoção de práticas integradas, como o uso de fertilizantes e a aplicação de sistemas de fertirrigação, que atendam às exigências nutricionais da planta e garantam a viabilidade do cultivo em larga escala (LINS et al., 2021; EMBRAPA, 2022).

Entre os macronutrientes essenciais, o nitrogênio (N) ocupa posição central no metabolismo do coqueiro-anão verde, sendo indispensável para processos como a síntese de

proteínas, ácidos nucleicos e clorofila. Em solos amazônicos, a baixa disponibilidade de N é uma limitação comum, exigindo reposições frequentes por meio de fontes minerais ou orgânicas. Além disso, o fósforo (P) e o potássio (K) desempenham papéis cruciais no desenvolvimento da planta. O P está associado à formação de energia e ao crescimento radicular, enquanto o K é amplamente exportado pelos frutos e afeta diretamente a qualidade da água de coco. Em solos do Pará, recomenda-se a aplicação de 54 kg/ha/ano de P_2O_5 e 96 kg/ha/ano de K_2O a partir do sexto ano de cultivo, com base em estudos realizados em Moju (LINS *et al.*, 2021; SOBRAL *et al.*, 2022).

Além desses nutrientes, o magnésio (Mg), o cálcio (Ca) e o enxofre (S) completam o grupo de macronutrientes fundamentais para o coqueiro. O Mg é essencial para a fotossíntese, sendo componente da clorofila, enquanto o Ca é indispensável para a integridade estrutural celular e o desenvolvimento das raízes. O enxofre, por sua vez, participa na formação de proteínas e compostos orgânicos. Contudo, a interação entre nutrientes pode gerar desequilíbrios, como o antagonismo entre K e Mg, que frequentemente ocorre em solos amazônicos. Para mitigar esses efeitos, o uso de corretivos como calcário dolomítico é recomendado, promovendo o equilíbrio nutricional e a eficiência na absorção de nutrientes (EMBRAPA, 2022; SOBRAL *et al.*, 2022).

O manejo integrado da fertilidade do solo e da nutrição foliar é indispensável para o sucesso do coqueiro-anão verde em sistemas de alta produtividade. A interação entre nutrientes e a disponibilidade no solo devem ser continuamente monitoradas para evitar desequilíbrios nutricionais, que podem comprometer o rendimento e a qualidade dos frutos (LINS *et al.*, 2021). A fertirrigação se destaca como uma prática eficiente para a distribuição uniforme de nutrientes, otimizando o uso de insumos e garantindo a sustentabilidade do cultivo.

O manejo adequado dos macronutrientes, associado à irrigação eficiente, não só eleva a produtividade, como também contribui para a conservação ambiental, reduzindo perdas de nutrientes e impactos no ecossistema. A análise periódica da fertilidade do solo e da composição foliar é essencial para adaptar as estratégias de manejo às especificidades dos solos amazônicos, maximizando o potencial produtivo do coqueiro e garantindo a sustentabilidade econômica e ambiental da cultura.

A consolidação do estado do Pará como referência na produção de coco depende do contínuo avanço da pesquisa científica e de sua aplicação prática. A integração de

tecnologias modernas, como a fertirrigação, a correção do solo e o manejo de nutrientes em doses otimizadas, são elementos-chave para alcançar altos níveis de produtividade e qualidade, promovendo o desenvolvimento sustentável da região e fortalecendo a competitividade nacional (LINS *et al.*, 2021; EMBRAPA, 2022; SOBRAL *et al.*, 2022).

1.4 Irrigação e fertirrigação no coqueiro

A irrigação é um fator essencial para o desenvolvimento e a produtividade do coqueiro-anão verde (*Cocos nucifera* L.), uma cultura reconhecida por sua sensibilidade ao déficit hídrico. Segundo Miranda *et al.* (2018), a insuficiência de água afeta severamente a planta, resultando na queda de folhas, redução no número e tamanho dos frutos, menor volume e qualidade da água de coco, encurtamento da vida útil pós-colheita e maior suscetibilidade a pragas e doenças. Essas limitações reforçam a importância de sistemas de irrigação bem planejados e eficientes.

Os sistemas de irrigação localizada, como o gotejamento e a microaspersão, destacam-se como os métodos mais adequados para o cultivo do coqueiro-anão verde. Esses sistemas proporcionam aplicação precisa de água na zona radicular, maximizando a eficiência hídrica e energética, além de facilitar o manejo e a manutenção (RESENDE *et al.*, 2017; SARAIVA, REBOUÇAS, SOUZA, 2014; FERREIRA *et al.*, 2011). Tais sistemas também promovem economia de água, melhor qualidade da água de coco e aproveitamento otimizado dos nutrientes pela planta.

O manejo hídrico deve ser realizado com base nas necessidades específicas da cultura, levando em consideração as características edafoclimáticas, o estágio de desenvolvimento da planta e o sistema de irrigação adotado (CINTRA *et al.*, 2008; RESENDE *et al.*, 2017). Além disso, o monitoramento contínuo da umidade do solo, do estado nutricional e fitossanitário das plantas e das características dos frutos é indispensável para alcançar maior eficiência hídrica, produtividade e sustentabilidade da cultura (BORGHETTI *et al.*, 2017).

No Estado do Pará, que possui um clima tropical úmido com altas temperaturas e precipitações, a irrigação localizada tem sido amplamente utilizada na produção de frutíferas, incluindo o coqueiro-anão verde, banana, açaí, cupuaçu e abacaxi. Conforme o Caderno de Caracterização do Estado do Pará (CODEVASF, 2022), o estado dispõe de 66.905 hectares irrigados, sendo 66,1% concentrados nos Agropolos – unidades de planejamento voltadas para o desenvolvimento rural integrado. Dentro desses agropolos, os

sistemas de irrigação localizada abrangem 82,9% da área irrigada, correspondendo a 36.674 hectares. Essa abordagem é particularmente vantajosa para as condições edafoclimáticas do Pará, permitindo irrigação eficiente e adaptada à diversidade de culturas frutíferas locais (SOUSA, SOUSA, 2011).

A fertirrigação é outro elemento crucial para o manejo do coqueiro-anão verde, permitindo a aplicação simultânea de água e nutrientes. Pinto e Davi (2021) destacam que essa técnica melhora a uniformidade e a eficiência na aplicação de fertilizantes, reduzindo a quantidade necessária e minimizando impactos ambientais. Estudos de Silva *et al.* (2018) mostraram que regimes de irrigação utilizando microaspersão proporcionaram maior eficiência hídrica e produtiva em comparação a outros métodos, reforçando a importância de tecnologias modernas para otimizar a produção.

1.5 Manejo de irrigação via tensiometria no cultivo do coqueiro

O manejo de irrigação por tensiometria no cultivo do coqueiro-anão verde é uma técnica avançada que visa a otimização dos recursos hídricos, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência agrícola (VICENTE e VICENTE, 2004). A metodologia baseia-se na medição da tensão matricial da água no solo, permitindo identificar com precisão os momentos ideais para irrigação. Dessa forma, evita-se tanto o excesso quanto a escassez de água, condições que podem comprometer o desenvolvimento e a produtividade da cultura, altamente dependente de um equilíbrio hídrico adequado.

Os tensiômetros, instrumentos fundamentais nesse manejo, são instalados em diferentes profundidades do solo para monitorar o conteúdo de água nas zonas de maior atividade radicular. No coqueiro-anão verde, as profundidades de 0-30 cm e 30-60 cm são frequentemente utilizadas devido à localização das raízes mais ativas. A leitura contínua dos tensiômetros fornece dados confiáveis que permitem ajustar os volumes de irrigação para manter o solo dentro da faixa de umidade ideal, que varia entre 15 e 30 kPa em solos arenosos e entre 30 e 60 kPa em solos argilosos (AMORIM *et al.*, 2015).

A aplicação dessa técnica impacta diretamente a eficiência no uso da água e dos nutrientes. Ao evitar o encharcamento e a lixiviação, promove-se um ambiente radicular mais saudável, aumentando a eficiência da absorção de nutrientes pela planta. Isso é particularmente importante em sistemas fertirrigados, onde a sinergia entre a irrigação e a aplicação de fertilizantes potencializa a qualidade dos frutos e a produtividade da cultura, maximizando o retorno econômico por hectare cultivado.

Além de seus benefícios diretos à produção, o manejo hídrico via tensiometria desempenha um papel essencial na sustentabilidade dos sistemas agrícolas tropicais (AVIZ, 2021). Em regiões como a Amazônia, onde o coqueiro-anão verde é amplamente cultivado, o uso eficiente da água é crucial para mitigar os efeitos da variabilidade climática e reduzir a pressão sobre os recursos hídricos. Isso garante a conservação do ecossistema local enquanto sustenta a viabilidade econômica da agricultura.

Embora a implementação da tensiometria envolva investimentos iniciais em infraestrutura e capacitação técnica, os benefícios superam os custos. Pesquisas recentes demonstram que essa metodologia é uma ferramenta confiável e robusta, capaz de aumentar a resiliência das culturas frente às oscilações climáticas e melhorar a eficiência no uso dos insumos agrícolas (AVIZ, 2021; AMORIM *et al.*, 2015). Dessa forma, o manejo por tensiometria se consolida como uma solução prática e sustentável para os desafios da agricultura moderna, especialmente em sistemas tropicais de alta produtividade.

1.6 Manejo da fertirrigação no coqueiro

A fertirrigação é uma prática avançada que combina a aplicação de nutrientes com a irrigação, promovendo alta eficiência no uso de insumos e maximizando a produtividade das culturas. No caso do coqueiro (*Cocos nucifera* L.), especialmente na variedade anão verde, essa tecnologia é de extrema importância devido às elevadas exigências nutricionais da cultura e à sua resposta direta à disponibilidade de nutrientes no solo. Essa técnica permite que os fertilizantes sejam aplicados diretamente na zona radicular, otimizando sua absorção pelas plantas e reduzindo significativamente perdas por lixiviação e volatilização (DUENHAS *et al.*, 2002; MIRANDA *et al.*, 2018).

Além de garantir uma nutrição eficiente, a fertirrigação apresenta vantagens adicionais, como a uniformidade de distribuição de água e nutrientes, a redução da compactação do solo e a diminuição da necessidade de mão de obra, uma vez que todo o processo é realizado via sistema de irrigação. Essa tecnologia também possibilita maior controle sobre as doses aplicadas, evitando subdosagens ou excessos, o que a torna mais eficiente em comparação aos métodos convencionais de fertilização (MIRANDA *et al.*, 2018).

Entre os nutrientes utilizados no manejo da fertirrigação, os macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg) desempenham papéis essenciais no desenvolvimento do coqueiro. O nitrogênio, crucial para o crescimento vegetativo, é

aplicado principalmente na forma de ureia e nitrato de amônio, devido à sua alta solubilidade. O fósforo, vital para o desenvolvimento radicular e a frutificação, é fornecido por fertilizantes como fosfato monoamônico e ácido fosfórico. O potássio, por sua vez, é fundamental na osmorregulação e na qualidade dos frutos, sendo comumente aplicado como cloreto de potássio e nitrato de potássio. Já o magnésio, indispensável para a fotossíntese e a ativação enzimática, é frequentemente fornecido na forma de sulfato de magnésio (MALAVOLTA, 2006; COSTA *et al.*, 2009).

Para garantir o sucesso da fertirrigação, é essencial realizar um planejamento preciso, que considere a demanda nutricional da cultura e as características químicas e físicas do solo. No coqueiro-anão verde, as aplicações devem ser escalonadas ao longo do ciclo da cultura, atendendo às fases críticas, como crescimento vegetativo, formação e maturação dos frutos. O monitoramento do estado nutricional das plantas, por meio de análises foliares, e a avaliação periódica do solo são práticas indispensáveis para ajustar as doses e proporções de nutrientes de forma eficiente (BANDYOPADHYAY *et al.*, 2019; BASAVARAJU *et al.*, 2014).

A escolha do sistema de irrigação também é determinante no manejo da fertirrigação. Sistemas de irrigação localizada, como gotejamento e microaspersão, são os mais indicados, pois garantem uma distribuição uniforme de água e nutrientes no perfil do solo. Esses sistemas permitem ajustes precisos nos volumes de água e concentrações de fertilizantes, considerando as condições climáticas, as características do solo e as exigências fenológicas do coqueiro (MIRANDA *et al.*, 2018).

Outro aspecto fundamental é a qualidade da água utilizada no processo, que deve ser isenta de contaminantes e possuir compatibilidade química com os fertilizantes. Fertilizantes com alta solubilidade em água, como nitrato de potássio e ácido fosfórico, são preferidos devido à sua eficiência e menor risco de entupimento dos sistemas de irrigação. A compatibilidade entre os nutrientes aplicados deve ser observada para evitar reações químicas indesejáveis, como a precipitação de sais, que podem comprometer a eficiência do sistema (GUERRA *et al.*, 2004).

Estudos apontam que a fertirrigação pode reduzir em até 25% o uso de fertilizantes em comparação aos métodos convencionais, sem prejuízo à produtividade. Essa redução, aliada ao aumento na eficiência do uso de nutrientes, promove maior sustentabilidade no manejo agrícola. No coqueiro-anão verde, a fertirrigação também contribui para melhorar a

qualidade dos frutos, especialmente em parâmetros como teores de sólidos solúveis e equilíbrio mineral da água de coco, que impactam diretamente na aceitação do produto pelo mercado (BANDYOPADHYAY *et al.*, 2019; COSTA *et al.*, 2009).

No estado do Pará, a fertirrigação no cultivo do coqueiro-anão verde se destaca como uma prática estratégica para impulsionar a produtividade e melhorar a qualidade dos frutos. No entanto, desafios como a rápida lixiviação de nutrientes em solos arenosos e as variabilidades climáticas exigem monitoramento constante e ajustes técnicos no manejo. A integração de práticas como análises de solo e tensiometria fornece subsídios para decisões mais precisas, otimizando o uso de recursos e reduzindo impactos ambientais (FRÓES JÚNIOR *et al.*, 2019).

A análise físico-química da água de coco deve ser incluída como parâmetro de qualidade no manejo da fertirrigação. A composição da água de coco é influenciada diretamente pelo manejo hídrico e nutricional, o que torna indispensável correlacionar essas práticas às características do produto final. Esse enfoque assegura o alinhamento das práticas agrícolas às demandas do mercado, promovendo uma produção sustentável e de alto valor agregado.

1.7 Referências

- ALVES, Keila de Nazaré Amaral *et al.* Estudo da evolução do cultivo de coco em municípios do estado do Pará e nos principais estados brasileiros produtores. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 209 –224, 2018. Doi: <http://dx.doi.org/10.18542/ragros.v10i2.5144>.
- ANGELES, J.G., LADO, J.P., PASCUAL, E.D., CUETO, C.A., LAURENA, A.C., LAUDE, R.P. Towards the understanding of important coconut endosperm phenotypes: is there an epigenetic control?. **Agronomy**, 8, p. 225, 2018. Doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy8100225>.
- ARAÚJO, B. D. A. *et al.* Sustained deficit irrigation on yield and fruit water quality of dwarf green coconut. **Ciência Rural**, v.52, n.11, p.1-8, 2022.
- AROUCHA, E. M. M. *et al.* Análise físico-química e sensorial de água-de-coco em função de estágio de maturação das cultivares de coco anão verde e vermelho. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 10, n. 1, p. 33 - 38, 2014.
- AVIZ, W. L. CARRERA. **Produção de coco verde (*Cocos nucifera*, L.) submetido a manejo de irrigação por tensiometria e fertirrigação**. 2023. Tese de Doutorado. UFRA-Campus Belém.
- BANDYOPADHYAY, A. *et al.* Fertigation Effects on Productivity, and Soil and Plant Nutrition of Coconut (*Cocos nucifera* L.) in the Eastern Indo-Gangetic Plains of South Asia. **International journal of fruit science**, v. 19, n. 1, p. 57-74, 2019.
- BAPTISTELLA, C. S. L., COELHO, P. J. Cocoicultura no Estado de São Paulo, 2015 a 2020. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 16, n. 11, p. 1-6, nov. 2021.
- BENASSI, Antonio Carlos, FANTON, César José, SANTANA, Enilton Nascimento de. **O cultivo do coqueiro-anão-verde: tecnologias de produção**. Vitória, ES: Incaper, 2013. ISSN 1519-2059.
- BORGHETTI, José Roberto, SILVA, Washington L. C., NOCKO, Helder Rafael, LOYOLA, Luís Nicolas, CHIANCA, Gustavo Kauark. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias**. Brasília, 2017. 243 p. ISBN: 978-92-5-709754-4.

BRAINER, M. S. C. P. COCO: PRODUÇÃO E MERCADO. **Caderno Setorial ETENE**. Ano 6, n. 206, dez 2021. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482dspace/bitstream/123456789/387/1/2020_CDS_127c.pdf

BRAINER, M. S. de C. P. Produção de coco: o Nordeste é destaque nacional. **Caderno Setorial ETENE**, ano 3, n. 61, dez. 2018, 25 p.

CINTRA, F. L. D., PORTELA, J. C., NOGUEIRA, L. C., GORNAT, B. Distribuição de raízes de coqueiro anão verde sob sistemas de irrigação localizada em solo dos tabuleiros costeiros. Embrapa Tabuleiros Costeiros: **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 6, 17 p., 2005.

CINTRA, F. L. D., RESENDE, R. S., LEAL, M. de L. da S., PORTELA, J. C. Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 33, n.1, p.1041-1051, 2009.

CINTRA, F. L. D., RESENDE, R. S., LEAL, M. DE L. DA S. Distribuição de raízes de coqueiro anão sob volumes de água em solo coeso dos tabuleiros. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental**, 12 (6), 614-619 p., 2008. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000600007>.

DUENHAS, L. H.; OLIVEIRA, M. V. A. M. de.; LOPES, M. D. C.; GOMES, E. P.; DALRI, A. B. Avaliação nutricional de macronutrientes em pomar fertirrigado de laranja valência utilizando o dris-citros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTIRRIGAÇÃO, 1. 2003 . João Pessoa - PB. **Anais...** CD-ROM.

FERREIRA, J. M. S., WARWICK, D. R. N., SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil**. 3 ed. Brasília: EMBRAPA, 2018. 508 p.

FERREIRA, J. M. S., FONTES, H. R., PASSOS, E. E. M., MIRANDA, F. R. de, CINTRA, F. L. D., BASTOS, E. A. Coco ‘Anão’. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 32, n. 264, p. 49 - 62. 2011.

FRÓES JÚNIOR, P. S. M. *et al.* Sources of Growth and Spatial Concentration of Coconut Crop in the State of Pará, Brazilian Amazon. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 2, 2019.

GAMA, J.R.N.; CARVALHO, E.J.N.; RODRIGUES, T. E.; VALENTE, M.A. Solos do Estado do Pará. In: Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará. CRAVO, VIÉGAS, CARVALHOS (Edits). Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2007.262p.

HIDALGO, H.A. Market potential of pasteurized coconut water in the Philippine beverage industry. **Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.**, 7, pp. 898-903, 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola - Lavoura Permanente**. 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/0>.

IGNACIO, Iles-Flores, MIGUEL, Tzecz-Simá. Research opportunities on the coconut (*Cocos nucifera* L.) using new technologies. **South African Journal of Botany**, 141, p. 414 – 420, 2021.

JÚNIOR, L. A. de J., TOMMASI, A. C., JÚNIOR, A. M. de O., RUSSO, S. L. Análise da produção de coco no Estado de Sergipe frente ao crescimento da cultura no Nordeste e no Brasil. **Revista GEINTEC**, vol. 3/n.5/ p.400-408, 2013.

KUMAR, B. M., KUNHAMU, T. K. Nature-based solutions in agriculture: A review of the coconut (*Cocos nucifera* L.)-based farming systems in Kerala, “the Land of Coconut Trees”. **Nature-Based Solutions**, v.2, dez. 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100012>.

MARTINS, C.R., LA JESUS JR. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama 2014**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2013.

MIRANDA, F. R. de, NOGUEIRA, L. C., AMORIM, J. R. A. de. Fertirrigação. *In*: FERREIRA, J. M. S., WARWICK, D. R. N., SIQUEIRA, L. A (org.). **A cultura do coqueiro no Brasil**, Brasília – DF: Embrapa, 2018.

MOLIN, I. L. D., BARRETE, M. R. Ocorrência e controle de Curculionidae em *Cocos nucifera* L. em Sinop, Mato Grosso. **Semina**, v. 33, n. 1, p. 53-64, 2012.

PASSOS, E. E. M. Morfologia. *In*: FERREIRA, J. M. S., WARWICK, D. R. N., SIQUEIRA, L. A (org.). **A cultura do coqueiro no Brasil**, Brasília – DF: Embrapa, 2018.

PERRONI, B. L. T *et al.* Influência do custo da energia elétrica e do material da tubulação na velocidade econômica de bombeamentos. **IRRIGA**, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 13–20, 2015. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/755>. Acesso em: 29 jan. 2023.

PRADES, ALEXIA, U.N. SALUM, D. PIOCH. New era for the coconut sector. What prospects for research?. **OCL**, 23, 2016. Doi: 10.1051/ocl/2016048.

RESENDE, Ronaldo S., CINTRA, Fernando L. D., PROCÓPIO, Sergio de O., AMORIM, Júlio R. de A.. Manejo da Água de Irrigação em Áreas de Produção de Coco. *In*: CINTRA, Fernando L. D., FONTES, Humberto R (org.). Seminário sobre Manejo Sustentável para a Cultura do Coqueiro. **Resultados de pesquisas e estudo de casos: Anais**, 2017.

RIBEIRO, Francisco E., SIQUEIRA, Edmar R. de, ARAGÃO, Wilson M. Coqueiro. *In*: BRUCKNER, Claudio Horst (org.). **Melhoramento de fruteiras tropicais**. Viçosa, MG. ed. UFV, 2002.ISBN: 85-7269-144-8.

ROCHA, K. D. C., FERREIRA, M. S., GARCIA, C. E. R. Óleo de Coco: características e aplicações fisiológicas. *In*: NORA, F. M. D. (org.). **Compostos Bioativos**. Canoas: Mérida Publishers, 2021.

SARAIVA, K. R., REBOUÇAS, R. M., SOUZA, F. de. Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão na cultura do coqueiro. **Rev. Agrotec**, v. 35, n. 1, p 62–68, 2014.

SILVA, J. B. **Produção inicial do coqueiro anão verde sob diferentes lâminas e sistemas de irrigação**. 2020. 53 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

SOUSA, A. S., SOUSA, J. R. A. Balanço hídrico no estado do Pará. **Pará Rural: o veículo do agronegócio paraense**, Belém, v. 2, n. 3, 2011.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

WARWICK, D. R. N. *et al.* **A cultura do coqueiro**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

YONG, J.W.H., GE, L, NG, Y.F., TAN, N. The chemical composition and biological properties of coconut (*Cocos nucifera* L.) water. **Molecules**, 14, pp. 5144-5164, 2009.

2 RESPOSTAS NUTRICIONAIS DO COQUEIRO ANÃO VERDE FERTIRRIGADO NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

A nutrição adequada das plantas, com o suprimento balanceado de macronutrientes, é essencial para melhorar o estado nutricional e a produtividade de culturas agrícolas. Este estudo avaliou o efeito do manejo integrado de irrigação e fertirrigação sobre o estado nutricional e a produtividade do coqueiro-anão verde em condições amazônicas, com ênfase na ação conjunta de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg). O experimento foi conduzido em uma plantação comercial da Fazenda Reunidas Sococo, no município de Santa Izabel do Pará, utilizando um delineamento em blocos casualizados com esquema fatorial (3 x 4), combinando quatro tensões de água no solo (15, 30, 45 e 60 kPa) e três níveis de fertilizantes (100, 200 e 300%). Foram avaliadas as concentrações foliares de N, P, K e Mg, a eficiência no uso da água e variáveis de produção, como número de frutos por planta (NFP), peso dos frutos (PF) e volume de água de coco (VA). Os resultados evidenciaram que o fornecimento equilibrado de N, P, K e Mg, especialmente em níveis de 200% e 300% de fertirrigação associados a tensões de 15 kPa e 30 kPa, otimizou o estado nutricional das plantas, com absorção eficiente de todos os nutrientes avaliados. Essa nutrição conjunta resultou em maior eficiência no uso da água e incrementos expressivos na produtividade, refletidos em maiores NFP, PF e VA. As tensões moderadas (30 kPa e 45 kPa) também contribuíram para a absorção equilibrada de P e Mg, destacando o papel dessas condições na promoção de um desenvolvimento sustentável. Por outro lado, tensões mais elevadas (45 kPa e 60 kPa) reduziram a absorção de nutrientes devido ao estresse hídrico, impactando negativamente a produtividade.

Palavras chave: *Cocos nucifera L.* Nutrição. Irrigação.

ABSTRACT

The proper nutrition of plants, with a balanced supply of macronutrients, is essential to enhance the nutritional status and productivity of agricultural crops. This study evaluated the effect of integrated irrigation and fertigation management on the nutritional status and productivity of the green dwarf coconut palm under Amazonian conditions, emphasizing the combined action of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), and magnesium (Mg). The experiment was conducted in a commercial plantation at Fazenda Reunidas Sococo, located in the municipality of Santa Izabel do Pará, using a randomized block design with a factorial scheme (3 x 4), combining four soil water tensions (15, 30, 45, and 60 kPa) and three fertilizer levels (100%, 200%, and 300%). The study assessed foliar concentrations of N, P, K, and Mg, water use efficiency, and production variables, including the number of fruits per plant (NFP), fruit weight (FW), and coconut water volume (CWV). The results demonstrated that a balanced supply of N, P, K, and Mg, particularly at 200% and 300% fertigation levels combined with 15 kPa and 30 kPa tensions, optimized the plants' nutritional status, ensuring efficient uptake of all evaluated nutrients. This combined nutrition resulted in greater water use efficiency and significant increases in productivity, reflected in higher NFP, FW, and CWV. Moderate tensions (30 kPa and 45 kPa) also contributed to the balanced uptake of P and Mg, underscoring the role of these conditions in promoting sustainable development. Conversely, higher tensions (45 kPa and 60 kPa) reduced nutrient uptake due to water stress, negatively impacting productivity.

Keywords: *Cocos nucifera* L. Nutrition. Irrigation.

2.1 Introdução

O Brasil, reconhecido mundialmente como uma potência agrícola, ocupa a quinta posição entre os maiores produtores globais de coco, atrás apenas de Indonésia, Filipinas, Índia e Sri Lanka (IBGE, 2020). A crescente industrialização e o aumento da demanda por água de coco, produto amplamente consumido nos mercados interno e externo, têm impulsionado a expansão do cultivo do coqueiro-anão verde (*Cocos nucifera* L.), especialmente em áreas irrigadas. Predominante na faixa litorânea do Nordeste e em partes da região Norte, essa cultura encontra condições ideais de desenvolvimento em climas tropicais, com destaque para a região amazônica, que apresenta elevado potencial produtivo devido às suas características climáticas e edáficas (FROES *et al.*, 2019).

A nutrição mineral desempenha um papel fundamental no crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas, influenciando diretamente a qualidade e a quantidade da produção. No caso do coqueiro-anão verde, o manejo eficiente de nutrientes, com destaque para nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg), é essencial para atender à crescente demanda por água de coco e seus derivados. Esses macronutrientes desempenham funções críticas no metabolismo vegetal, incluindo a síntese de proteínas, desenvolvimento radicular, regulação osmótica e ativação enzimática, tornando-se indispensáveis para a sustentabilidade e competitividade dessa cultura estratégica em regiões tropicais (LÉDO *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2021).

No entanto, o equilíbrio nutricional das plantas não pode ser avaliado apenas pela aplicação de insumos. A análise do teor de nutrientes nas folhas é uma ferramenta indispensável para compreender o estado nutricional do coqueiro-anão verde, pois reflete de forma direta a capacidade da planta de absorver e utilizar os nutrientes disponíveis no solo e na solução nutritiva. O monitoramento foliar permite correlacionar as concentrações de N, P, K e Mg nos tecidos com os níveis de fertilização aplicados, identificando possíveis deficiências ou excessos e servindo de base para ajustes no manejo (MALAVOLTA, 2006; SOBRAL, 2003). Essa abordagem é essencial para maximizar a eficiência da fertilização e garantir que os nutrientes sejam disponibilizados de forma adequada em todas as fases fenológicas da cultura.

Na região Norte, com destaque para o estado do Pará, o coqueiro-anão verde enfrenta desafios como a alta demanda hídrica, baixa tolerância ao estresse hídrico e solos tropicais com características químicas heterogêneas. Essas condições tornam indispensável o uso de

tecnologias de manejo sustentável, como a irrigação e a fertirrigação. Essas práticas são particularmente eficazes na Amazônia oriental, onde a variabilidade climática e a lixiviação de nutrientes em solos arenosos requerem abordagens integradas para otimizar a disponibilidade de água e nutrientes (MARTINS e JESUS JÚNIOR, 2014; HOLANDA *et al.*, 2007).

A fertirrigação, ao fornecer nutrientes solúveis diretamente na zona radicular, promove a absorção eficiente de N, P, K e Mg, otimizando o crescimento e a produtividade da cultura. Além disso, essa técnica possibilita ajustes precisos nas doses aplicadas, minimizando perdas por lixiviação ou volatilização e reduzindo impactos ambientais. Estudos indicam que o manejo integrado de irrigação e fertirrigação não apenas aumenta a eficiência no uso da água, mas também melhora a qualidade dos frutos, aspectos cruciais para atender às exigências de mercados cada vez mais competitivos (BASAVARAJU *et al.*, 2014; BANDYOPADHYAY *et al.*, 2019).

Dada a importância econômica e ambiental do coqueiro-anão verde, especialmente na Amazônia, é essencial preencher lacunas de conhecimento relacionadas ao manejo nutricional e hídrico dessa cultura. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do manejo integrado de irrigação e fertirrigação sobre o estado nutricional e a produtividade do coqueiro-anão verde em condições amazônicas. Para isso, foram investigados os teores foliares de N, P, K e Mg e sua relação com o manejo aplicado, buscando identificar práticas que maximizem a eficiência no uso de recursos, promovam a sustentabilidade da produção e assegurem a qualidade dos frutos para atender às demandas do mercado.

2.2 Materiais e métodos

2.2.1 Caracterização da área experimental e manejo do plantio

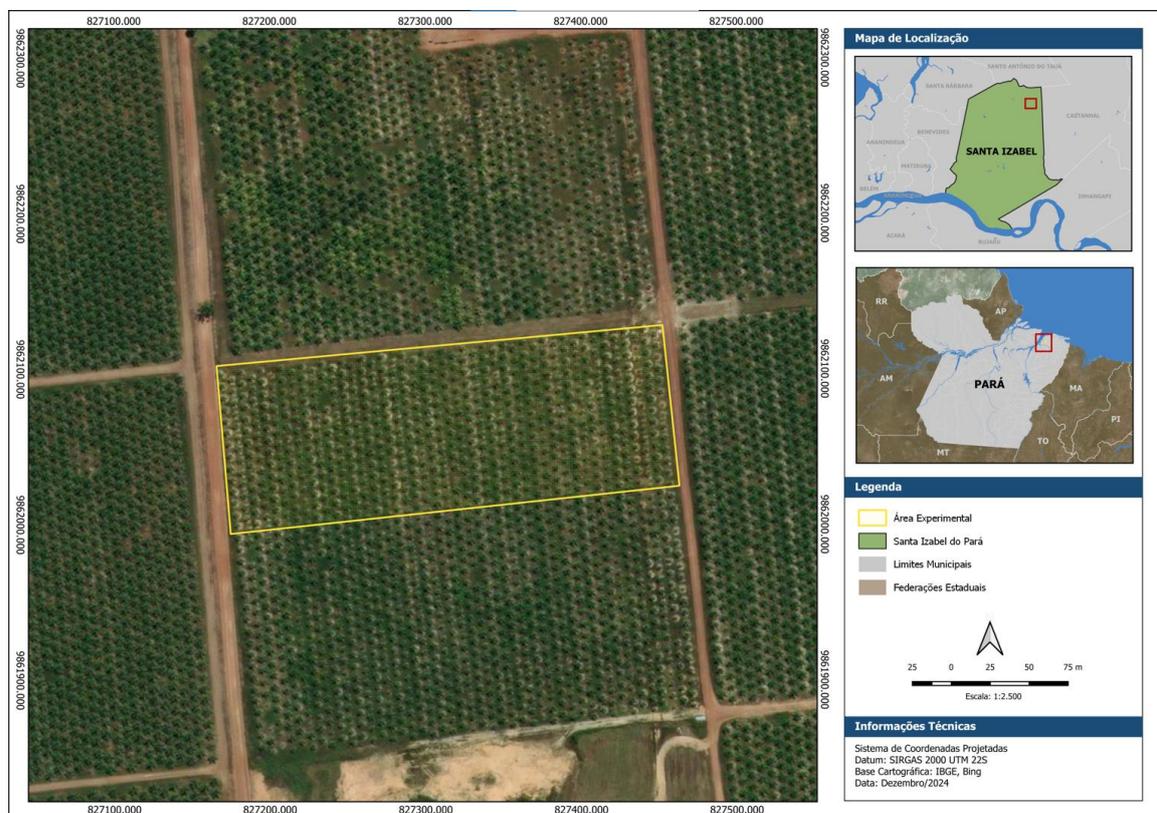
O experimento foi conduzido na Fazenda Reunidas, pertencente à empresa Sococo Agroindústria da Amazônia, localizada no município de Santa Isabel, Estado do Pará, no período compreendido entre janeiro de 2022 e dezembro de 2023. A área experimental consistiu em um plantio comercial de coqueiro-anão verde do Brasil, estabelecido em 2014, com espaçamento de 7,5 x 7,5 m entre as plantas, adequado para manejo intensivo e estudos de avaliação agrônômica (figure 1). Conforme a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima tropical chuvoso (Af), caracterizado por elevada pluviosidade, com precipitação média anual de aproximadamente 2.400 mm. A temperatura média anual é de

27°C, enquanto a umidade relativa do ar apresenta uma média de 68,9%. Estas condições climáticas são representativas das características tropicais e exercem influência direta sobre o crescimento e o desenvolvimento da cultura do coqueiro-anão verde, bem como sobre o manejo hídrico e nutricional.

A caracterização do solo da área experimental foi realizada com base nas especificações da Embrapa (2008), que classifica o solo predominante da região como Neossolo Quartzarênico, apresentando textura franco-arenosa. Este tipo de solo é conhecido por sua baixa capacidade de retenção de água e nutrientes.

A escolha dessa unidade experimental foi fundamentada em sua representatividade para sistemas de cultivo irrigado e fertirrigado em solos tropicais da Amazônia oriental. Além disso, o histórico do plantio, aliado às condições climáticas e edáficas, proporciona um ambiente propício para avaliar os efeitos das práticas de manejo hídrico e nutricional sobre a produção e qualidade dos frutos, contribuindo para o avanço técnico e científico da cocoicultura.

Figura 1. Mapa de localização do Brasil, Estado do Pará, o município de Santa Izabel e a área experimental localizado na parcela F132



Fonte: Autor, 2024.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC) com esquema fatorial 4 x 3, envolvendo quatro tensões de água no solo (15 kPa, 30 kPa, 45 kPa e 60 kPa) como primeiro fator e três níveis de fertirrigação (100%, 200% e 300%) como segundo fator, com três repetições. Cada unidade experimental consistiu em 18 plantas organizadas em fileiras duplas, sendo consideradas como parcela útil seis plantas centrais, para minimizar os efeitos de bordadura.

O preparo inicial da área incluiu uma aração, duas gradagens e o uso de herbicida para manejo químico das plantas invasoras. Após essa etapa, foi semeada a leguminosa puerária (*Pueraria lobata*), utilizada como cobertura viva para proteção do solo e fixação biológica de nitrogênio. Em seguida, as mudas de coqueiro-anão verde, com 11 meses de idade, foram transplantadas no espaçamento de 7,5 x 7,5 m, em arranjo de triângulo equilátero, garantindo o desenvolvimento uniforme do sistema radicular e a interceptação da luz solar.

Nos primeiros três anos, o manejo incluiu a aplicação quinzenal de fungicidas (Score 0,02%; Dithane 0,2%; Auto 100 0,1% e Agral 0,05%) para controle preventivo e curativo de manchas foliares, além de práticas culturais como capina manual, roçagem mecânica, coroamento químico, corte de folhas secas e monitoramento fitossanitário. A partir do quarto ano, os tratos culturais foram ajustados para incluir apenas a capina, o coroamento químico, o corte de folhas, a roçagem mecânica e a adubação, mantendo o monitoramento rigoroso das condições fitossanitárias.

A adubação foi realizada exclusivamente durante os períodos de menor precipitação, visando reduzir perdas por lixiviação e otimizar a absorção de nutrientes. Foram utilizados fertilizantes comerciais contendo nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg), aplicados via fertirrigação conforme as porcentagens definidas nos tratamentos. Os nutrientes foram fornecidos em doses escalonadas ao longo do ciclo, considerando as fases críticas de demanda da cultura, como floração e enchimento dos frutos, para assegurar o máximo aproveitamento das plantas.

Antes da instalação do experimento, amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0–20 cm e 20–40 cm, utilizando trado tipo holandês em pontos aleatórios da área experimental. As amostras simples foram secas ao ar, moídas, tamisadas em peneira de 2 mm e acondicionadas em embalagens plásticas para análise. Posteriormente, as amostras compostas foram enviadas ao Laboratório de Química e Fertilidade de Solos da

UFRA, onde foram analisadas segundo os protocolos estabelecidos pela Embrapa (1997). Essas análises forneceram informações detalhadas sobre as condições químicas e físicas do solo, fundamentais para o planejamento do manejo de irrigação e adubação (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos físico-químicos do solo

Atributos químicos do solo	Profundidade	
	0 - 20 cm	20 - 40 cm
pH (CaCl ₂)	4,43	4,1
MO (g dm ³)	8,75	3,25
H+Al (mmolc dm ³)	33,7	32,7
V%	35,5	18,5
CTC (mmolc dm ³)	52,5	40,1
P (mg dm ³)	111,9	7
K (mmolc dm ³)	2,1	0,9
Ca (mmolc dm ³)	10,7	4
Mg (mmolc dm ³)	5,5	2,2
S (mmolc dm ³)	19,2	20
B (mg dm ³)	0,48	0,3
Cu (mg dm ³)	0,27	0,25
Fe (mg dm ³)	137,5	240
Mn (mg dm ³)	3,25	1,12
Zn (mg dm ³)	1,55	1,65
Atributos físicos do solo	0 -30 cm	
Areia grossa (g kg ⁻¹)	253	
Areia fina (g kg ⁻¹)	441	
Silta (g kg ⁻¹)	126	
Argila total (g kg ⁻¹)	180	

Fonte: Autor

2.2.2 Sistema e manejo de irrigação

O sistema de irrigação empregado utiliza microaspersores com vazão nominal de 100 L h⁻¹, instalados a 1 metro da base de cada coqueiro, com um emissor por planta. Os microaspersores operam sob uma pressão de serviço de 2 bar, garantindo uma distribuição uniforme de água na zona radicular. Esses emissores estão conectados às linhas laterais de polietileno com diâmetro nominal de 16 mm, que, por sua vez, são acopladas às linhas de derivação feitas de tubos de PVC. A linha de derivação inicia com tubos de 100 mm de diâmetro, reduzindo gradativamente para 75 mm e, por fim, para 50 mm. A conexão das linhas de derivação com a linha principal, que possui diâmetro de 125 mm, assegura a integridade e eficiência do sistema.

O acionamento do sistema é realizado por solenoides hidráulicas controladas por um painel controlador Hunter, localizado na casa de bombas. Essa infraestrutura é equipada com três filtros de discos de retrolavagem automática, programados para operar a cada 30 minutos ou quando a pressão de entrada atinge 5 bar. Esse mecanismo garante a filtragem contínua e a manutenção da eficiência hidráulica, protegendo os emissores contra obstruções.

O bombeamento é realizado por uma bomba adaptada de um motor de ônibus, cuja potência foi ajustada para atender à pressão exigida pelos microaspersores. A conexão entre a bomba e a casa de bombas é feita por uma tubulação de 200 mm de diâmetro, que se reduz para 125 mm na chegada à casa de bombas. Para a sucção de água, foi instalada uma estrutura de madeira que realiza a filtragem primária, reduzindo a presença de partículas sólidas na água antes de sua entrada no sistema. Esse sistema de irrigação foi projetado para atender às demandas específicas do cultivo de coqueiro-anão verde, otimizando o uso da água e garantindo a uniformidade na aplicação.

A avaliação da uniformidade de emissão (UE) do sistema foi realizada pelo método *Pattern Efficiency* (PINTO *et al.*, 1991). Para isso, foram coletadas amostras de vazão de 16 emissores distribuídos em linhas laterais estratégicas, a primeira lateral conectada à linha de derivação, uma lateral a 1/3 do comprimento da linha de derivação, outra a 2/3 do comprimento e a última lateral. Essas avaliações foram conduzidas no início do experimento e subsequentemente a cada ano, proporcionando uma análise contínua da eficiência do sistema.

$$UE = \frac{\mathcal{X}_{25}}{X} 100$$

em que:

\mathcal{X}_{25} = média dos 25% do total de valores coletados, com os menores valores (ml); X = média de todos os valores coletados (ml);

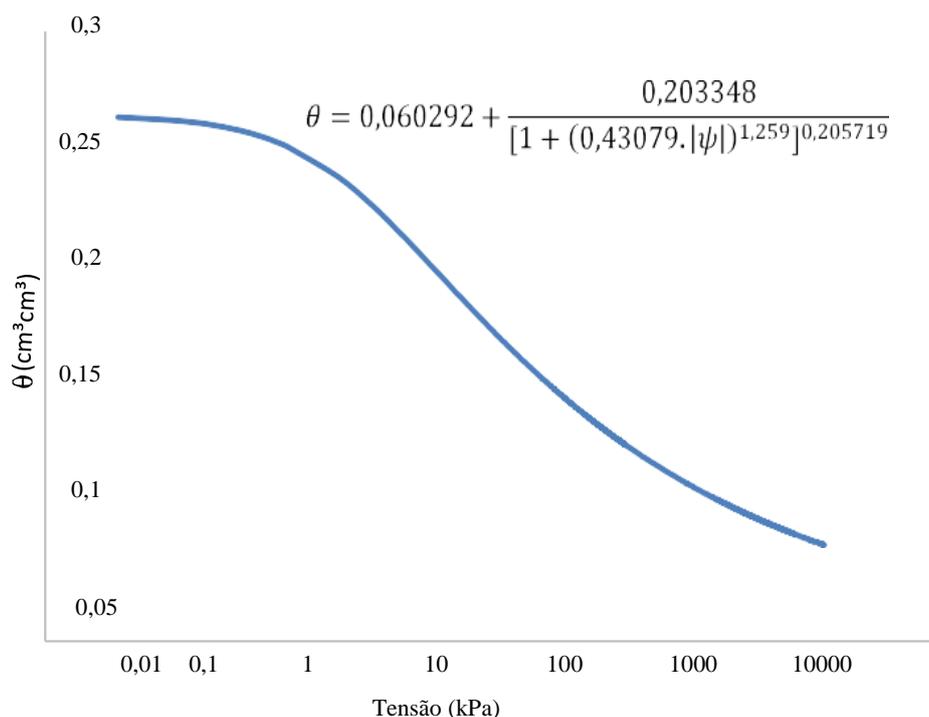
UE: Uniformidade de Emissão.

Após a instalação do sistema de irrigação, foram realizadas avaliações para determinar o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e a eficiência de aplicação (Ea) do sistema. Os cálculos seguiram a metodologia descrita por Calgaro e Braga (2008), reconhecida por sua precisão em análises de desempenho hidráulico. Os resultados obtidos demonstraram alta uniformidade na distribuição de água, com um CUD de 96%, indicando

uma aplicação homogênea sobre a área irrigada. Além disso, a eficiência de aplicação foi estimada em 86%, refletindo a capacidade do sistema em maximizar o uso da água aplicada e minimizar perdas.

Para realizar o manejo da irrigação, foi feita uma curva de retenção de água do solo de 0 a 30 cm de profundidade, seguindo a metodologia proposta por Andrade Júnior *et al.* (2007) (Figura 2), para definir o momento de irrigar, baseado na tensiometria. Foi utilizado oito baterias de tensiômetros na área de estudo com medição diária entre 6 e 7 horas da manhã com um densímetro que indique o momento necessário das reposições de água no solo. A decisão de fazer a reposição foi tomada, quando 2 tensiômetros de uma mesma planta atingem a tensão limite.

Figura 2. Curva característica do solo da área experimental da Fazenda Reunidas



Fonte: Aviz, 2021.

Para monitorar a irrigação, foram instaladas oito baterias de tensiômetros de punção (3 tensiômetros por bateria) para acompanhar a umidade do solo na zona radicular nas profundidades de 30 cm a 1m de distância das plantas (MIRANDA *et al.*, 2018), a instalação dos tensiômetros foram feitas com oito plantas que refletem os tratamentos com as tensões de 15, 30, 45 e 60 kPa. As leituras dos tensiômetros foram feitas com um densímetro digital

de agulha, diariamente, exceto aos sábados e domingos, sempre pela manhã, e registradas em planilhas específicas.

Os volumes de água aplicados no solo, por meio da irrigação foram calculados por meio das seguintes equações:

$$LL = (\theta_{cc} - \theta_{atual}) \cdot z \cdot ds \quad (2)$$

Em que:

LL: lamina líquida de água, mm;

θ_{cc} : umidade do solo na capacidade de campo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

θ_{atual} : umidade do solo no momento de irrigar $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

Z: profundidade efetiva do sistema radicular da planta, mm;

Ds: densidade do solo.

$$LB = LL / (Ea \cdot CUD) \quad (3)$$

Em que:

LB: Lamina bruta, mm;

Ea: eficiência de aplicação da água;

CUD: coeficiente de uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação.

$$T = (LB \cdot A) / (e \cdot qa) \quad (4)$$

Em que:

T: Tempo de funcionamento de sistema em cada tratamento, horas;

A: área da planta, m^2 ;

e: número de emissor por planta, unidade;

qa: vazão de água do sistema de irrigação, Lh^{-1} .

2.2.3 Sistema e manejo de fertirrigação

A resposta à adubação com nutrientes foi avaliada em termos do teor de macronutrientes (N, P, K, Mg) nas folhas do coqueiro (LINS, VEIGAS, 2008). No início da estação chuvosa na região (dezembro), foram coletadas anualmente amostras de folíolos para determinar a concentração de nutrientes na folha durante o período estudado, foram coletados folíolos da folha 14, de acordo com as indicações para a cultura (LINS, VEIGAS, 2008). As análises foliares foram realizadas pelo Laboratório de Elementos Traço no Ambiente – LETAM/ICA da Universidade Federal Rural da Amazônia.

Os níveis de aplicações foram definidos inicialmente de acordo com as plantas, baseados no diagnóstico foliar. Os níveis de fertilizantes nos dois-anos de estudo foram divididos em aplicações semanais via a fertirrigação durante 6 meses em cada ano (período menos chuvoso). Foi utilizado fonte de fertilizantes como a ureia, MAP (Mono-Amônio-Fosfato - purificado), sulfato de magnésio e cloreto de potássio.

A aplicação da fertirrigação foi feita por meio de uma bomba injetora de fertilizantes, anteriormente a solução foi preparada diluindo-se cada quantidade em 100 L d'água, movendo-se e deixando-se em repouso por um período de 20 minutos, respeitando a compatibilidade entre os fertilizantes (PINTO, SILVA, 2021). Depois deste procedimento a solução foi bombeada para o sistema de irrigação. Adotou-se o tempo de fertirrigação de 30 minutos por cada bloco, deixando um intervalo de 15 minutos entre as aplicações para limpar o sistema. Foram realizadas uniformemente entre os tratamentos de cada bloco.

2.2.4 Características analisadas

2.2.4.1 Concentração de nutriente no foliar

O tecido foliar foi analisado duas vezes durante o experimento, em cada tratamento, com três repetições na folha 14. Para identificar essa folha, seguiu-se o seguinte procedimento: A partir da inflorescência mais recente, contou-se a folha na sua axila como a folha 10. Acima dela, a folha 9 tinha a espata fechada mais desenvolvida, e abaixo dela, a folha 14. Da parte central de cada folha, foram coletados seis folíolos, três de cada lado, usando os 10 cm centrais de cada um. O material foi colocado em sacos de papel e secado em estufa a cerca de 70 °C por 72 horas (MALAVOLTA *et al.*, 1997; SOBRAL, 1998; SOBRAL, 2003).

O N foi determinado pelo método de Kjeldahl, P por colorimetria usando o método do vanadomolibdato de amônio; K, e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica de acordo com o método indicado por Irho (1980).

2.2.4.2 Avaliação de Frutos do Coqueiro Anão Verde

A colheita dos frutos foi realizada em plantas localizadas na parcela útil central do experimento, seguindo um intervalo regular de 21 dias. Os cachos colhidos possuíam 5 – 6 meses de desenvolvimento após a abertura da inflorescência, com as operações realizadas entre 7:00 e 8:00 horas da manhã, garantindo condições ideais de manejo. O período de

colheita abrangeu de janeiro de 2022 a dezembro de 2023, proporcionando dados consistentes ao longo de dois anos.

Após a coleta, os frutos foram analisados mensalmente no campo, coletando-se um ou dois cachos por planta, conforme o estágio de maturação (5 a 6 meses após a abertura da espátula). O número de frutos por planta (NFP) foi contabilizado diretamente no campo, durante o processo de colheita, garantindo a precisão e representatividade dos dados coletados e um fruto de cada planta foi levado para medir o peso com ajuda de uma balança digital graduada em quilograma e o volume de água de coco de cada fruto com uma proveta graduada em 1000 ml.

2.2.5 Análise estatística

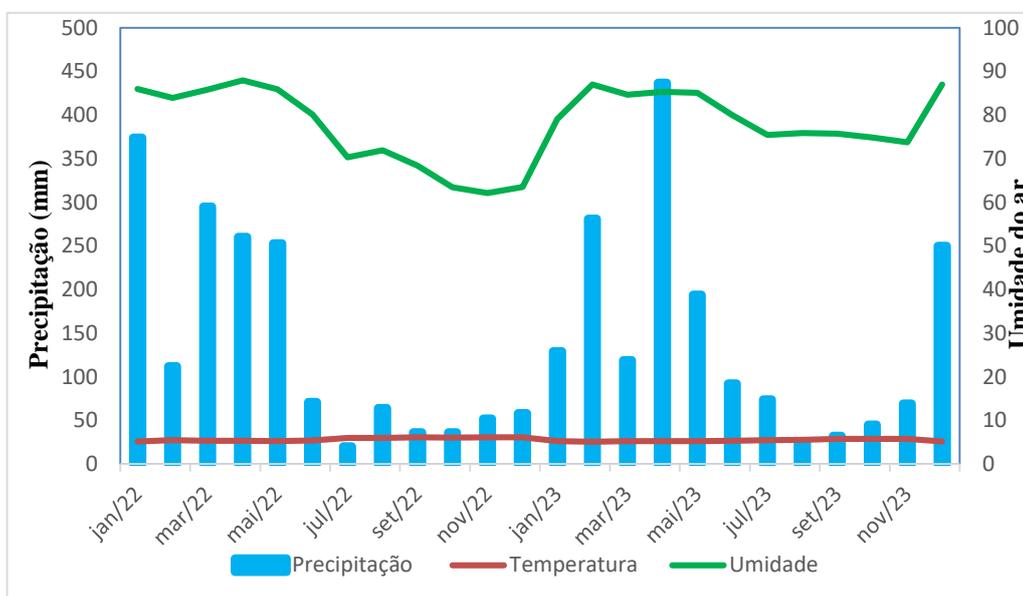
Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida pelo teste de comparação das médias de Tukey ao nível de 5% de significância, para identificar diferenças significativas entre os tratamentos. Além disso, realizou-se uma Análise de Componentes Principais (ACP) mista, entre as variáveis, com intuito de explorar a variabilidade multivariada e identificar padrões de associação entre as variáveis avaliadas.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Características meteorológicas e consumo hídrico do período experimental

O coqueiro é uma planta tropical que exige clima quente e estável, com mínimas variações de temperatura ao longo do ano. Durante o período experimental, os dados climáticos analisados corroboram essas condições ideais, com temperaturas médias mensais variando entre 25,58°C (fevereiro de 2023) e 30,77°C (novembro de 2022). A temperatura máxima registrada foi de 30,77°C, enquanto a mínima atingiu 25,58°C, demonstrando um intervalo térmico adequado para o cultivo do coqueiro, de acordo com as recomendações de Child (1974), que aponta valores médios ideais em torno de 27°C, com variações de até 5-7°C (figura 3).

FIGURA 3. Valores de precipitação, temperatura média e umidade durante a condução do experimento



Fonte: Autor

A temperatura média geral foi de 27,61°C no primeiro ano (2022) e 27,02°C no segundo ano (2023), o que é considerado favorável ao pleno desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura. Nessas condições, evita-se a paralisação no crescimento da planta, o abortamento de flores femininas e a queda de frutos, frequentemente associados a temperaturas extremas ou condições climáticas adversas.

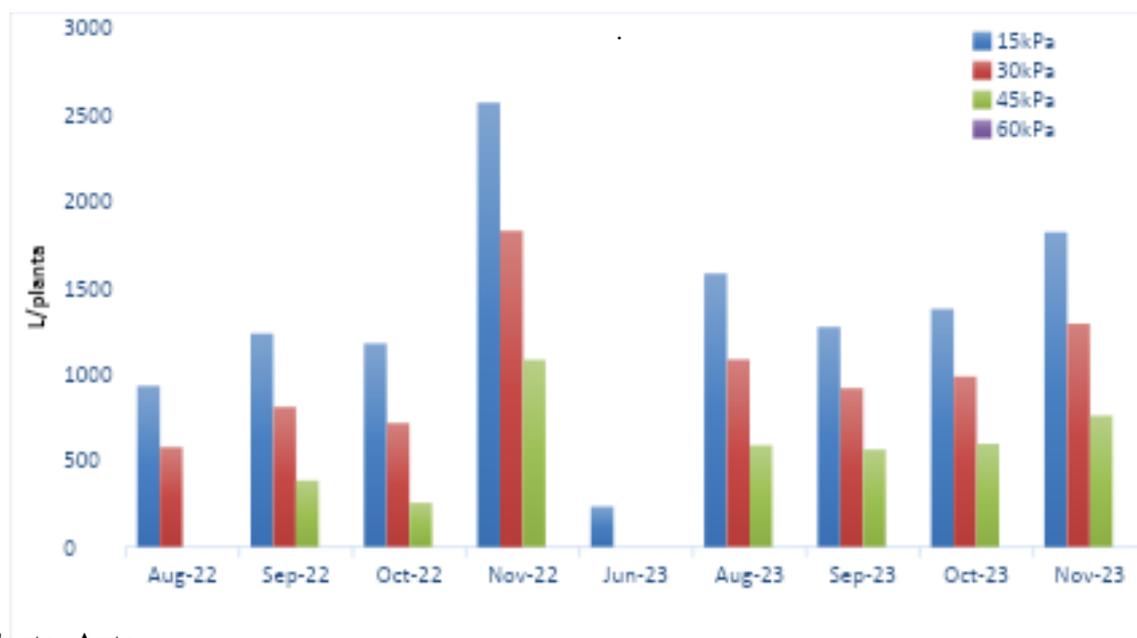
Além disso, a análise pluviométrica revelou diferenças significativas entre os dois anos de ensaio. Em 2022, os maiores índices de precipitação ocorreram em janeiro (374 mm) e março (295 mm), enquanto em 2023, os meses mais chuvosos foram abril (437 mm) e fevereiro (281 mm). Embora os meses de estiagem apresentem valores significativamente reduzidos (como 20 mm em julho de 2022 e 25 mm em agosto de 2023), o manejo de irrigação mitigou os efeitos negativos da seca, proporcionando condições uniformes de crescimento e desenvolvimento para a cultura.

2.3.2 Quantidade de água aplicada na irrigação

O ensaio de avaliação do sistema de irrigação revelou que o sistema apresentava alta uniformidade de aplicação de água, ficando acima de 85% de eficiência. As lâminas de irrigação aplicadas ao longo do período experimental de janeiro de 2022 até dezembro de 2023, conforme ilustrado na Figura 4, foram mais elevadas nos meses de setembro a novembro durante o primeiro ano e de agosto a novembro de 2023. Essas aplicações foram

em resposta às maiores demandas hídricas características desses meses de acordo à temperatura elevada nesse período na região amazônica. As lâminas totais de água acumuladas durante o experimento foram refletindo nas tensões de 15, 30 e 45kPa estabelecidas para os tratamentos. Essas reposições de água no solo variaram de 254.76 a 2564,5 L/pl durante o ano de 2022 e 233.09 a 1818.05 L/pl em 2023.

FIGURA 4. Lâminas de irrigação mensal aplicadas nas diferentes tensões de água no solo



Fonte: Autor

Durante os anos estudados, foi possível diferenciar as aplicações de água por tensões de água no solo, no qual a tensão crítica de 15 kPa aplicou um volume de água superior às tensões maiores, sendo os tratamentos da tensão de 60 kPa que nunca houve reposição de água (Figura 4). Nessa figura, observamos que durante o ano de 2022, teve maiores reposições de água no solo e menos no ano seguinte, isso pode ser atribuído às condições climáticas do local e também devido de uma falha mecânica no sistema a partir de julho de 2023 e permaneceu até setembro do mesmo ano.

2.3.2 Teores de nutrientes nas folhas

Os resultados da análise de variância (ANOVA) indicaram diferenças significativas entre todas as variáveis analisadas, tanto na fertirrigação quanto nas tensões de água no solo têm efeitos significativos. A interação entre adubação e tensão de água no solo também foi significativa, indicando que os efeitos de um fator dependem do nível do outro (Tabela 2).

TABELA 2. Resumo da análise de variância dos diferentes teores de Nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e o Magnésio (Mg) na folha do coqueiro anão verde, em função dos níveis de fertirrigações e tensões de água no solo

Fator de variação	GL	F			
		N	P	K	Mg
		Kg/g	Kg/g	Kg/g	Kg/g
Fertirrigação (F)	2	1188.1*	94.12*	735.76*	491.67*
Tensões (T)	3	442.48*	115.11*	864.61*	122.19*
Blocos	2	369.09**	842.7**	146.85**	767.1**
F x T	6	646.7**	138.05*	411.9**	376.9**
Resíduos	24	-	-	-	
Total	35				
CV%		5.26	4.85	13.64	13.60

*Nível de 5% de significância pelo teste F **Muito significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

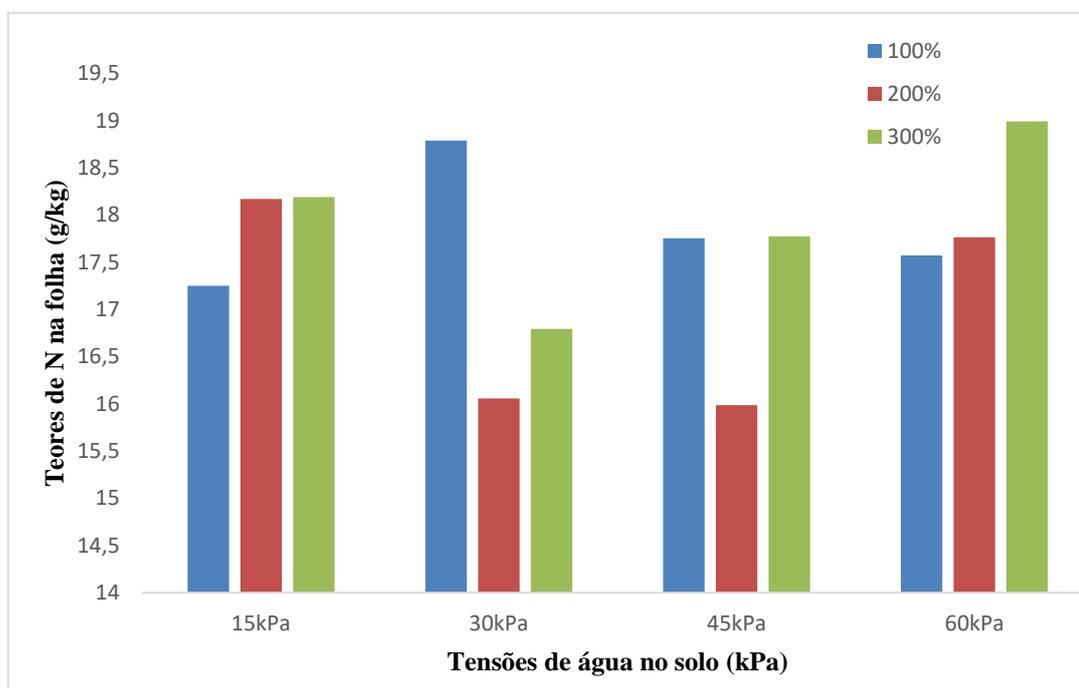
Fonte: Autor

Os dados obtidos revelaram variações significativas nas concentrações foliares de nitrogênio (N) em função das tensões de água no solo e doses de fertilizantes aplicadas, evidenciando os impactos do manejo hídrico na eficiência do uso de nutrientes.

2.3.2.1 Teores de nitrogênio nas folhas

Na tensão de 15 kPa, as concentrações foliares de N oscilaram entre 17,2 g/kg e 18,21 g/kg, com uma média de 17,87 g/kg. Esses valores estão consistentemente abaixo do nível crítico de 20,1 g/kg estabelecido por Saldanha et al. (2017), esse comportamento do teor de N na folha indicando que, sob condições de saturação hídrica, pode ocorrer uma lixiviação acentuada do nitrato (NO_3^-), reduzindo a disponibilidade do nutriente na zona radicular (figura 5). Mesmo em doses elevadas de fertilizante (200% e 300%), a eficiência do uso de N foi limitada, o que reforça a ineficácia de aplicações excessivas em condições de alta umidade do solo. Ferreira Neto et al. (2014) observaram resultados similares, destacando o impacto negativo da saturação hídrica na absorção de nutrientes.

FIGURA 5. Teores de nitrogênio (N) na folha em função de tensões de água no solo e níveis de fertilização



Fonte: Autor

Na tensão intermediária como o 30 kPa, nos níveis de fertilização de 100%, os teores de N variaram de 16,04 g/kg a 18,84 g/kg, com média de 17,20 g/kg. Aumentando para 200% e 300%, as concentrações foliares permaneceram dentro de intervalos semelhantes, mas apresentaram melhor aproveitamento em termos de eficiência do uso de fertilizantes, devido à menor lixiviação e maior retenção de água na zona radicular. Esta tensão destacou-se como a condição hídrica mais equilibrada para maximizar a sincronização entre a disponibilidade e a absorção do nutriente. Estudos de Ribeiro et al. (2016) também apontam a tensão de 30 kPa como ideal para a retenção e mobilidade do N em sistemas tropicais. Os dados sugerem que níveis mais altos de fertirrigação, como 200% ou 300%, promovem melhores respostas apenas quando associados a tensões hídricas moderadas.

Para o 45kPa, os teores foliares variaram de 15,92 g/kg a 17,78 g/kg, com média de 17,17 g/kg. Mesmo com níveis de fertilização elevados (200% e 300%), a limitação hídrica reduziu o transporte de N no solo, comprometendo sua absorção. Enfim na 60 kPa, os teores de N situaram-se entre 17,55 g/kg e 19,10 g/kg, com média de 18,11 g/kg, ligeiramente superior à de 45 kPa. No entanto, as condições de estresse hídrico severo continuaram a limitar a eficiência do uso de fertilizantes, independentemente do nível aplicado. Esses

resultados evidenciam que tensões de 45 e 60 kPa comprometem o desempenho da fertirrigação devido à insuficiência hídrica para mobilizar o nutriente até a zona radicular.

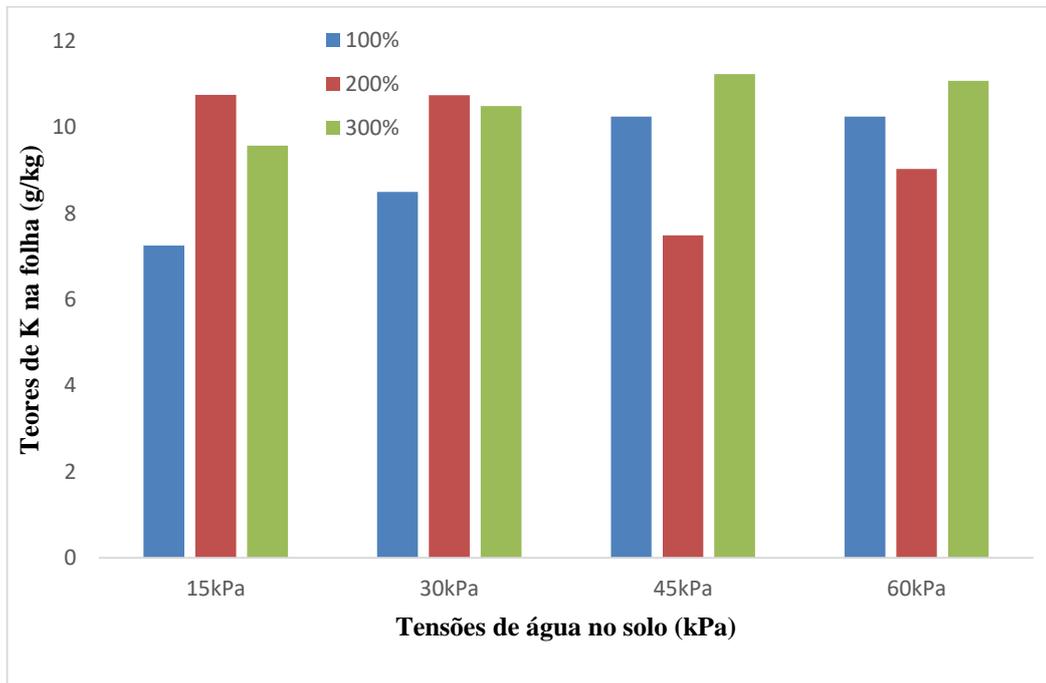
As doses mais altas (300%) em tensões de 15 kPa levaram a desperdícios significativos devido à lixiviação, enquanto em 45 e 60 kPa, não apresentaram benefícios na absorção de N devido à restrição hídrica. Na tensão de 30 kPa, as doses de 200% e 300% foram as mais eficientes, com maior sincronização entre a disponibilidade e o aproveitamento do nutriente. No entanto, é importante considerar que doses mais elevadas também podem gerar impactos ambientais, como maior lixiviação em eventos de chuva intensa, conforme destacado por Perrenoud (1990).

2.3.2.2 Teores de potássio nas folhas

Os teores foliares de potássio (K) variaram significativamente em função das tensões de água no solo e dos níveis de fertirrigação aplicados, evidenciando a interação dinâmica entre manejo hídrico e nutricional. Os valores registrados frequentemente ficaram dentro ou ligeiramente acima do limite crítico de 12-14 g/kg, conforme estabelecido por Lins e Viegas (2008) e Ribeiro et al. (2016), sendo este intervalo necessário para sustentar a produtividade e a qualidade dos frutos do coqueiro-anão verde.

Dentro a tensão de 15 kPa, os valores de K variaram entre 7,25 g/kg e 10,76 g/kg, com média de 9,20 g/kg (figura 6). Os teores ficaram consistentemente abaixo do nível crítico recomendado, especialmente em doses de 200% e 300% de NPK+Mg, onde a lixiviação intensificada pelo excesso de água no solo reduziu a retenção de K na zona radicular. Este comportamento é atribuído ao alto índice de mobilidade do K em solos saturados, conforme também descrito por Ribeiro et al. (2016). Além disso, a alta dose de fertilizante favoreceu maior crescimento vegetativo, diluindo a concentração de K nos tecidos foliares (Lins e Viegas, 2020).

FIGURA 6. Teores de potássio (K) na folha em função de tensões de água no solo e níveis de fertilização.



Fonte: Autor

A tensão de 30 kPa, as concentrações foliares de K oscilaram entre 8,49 g/kg e 10,75 g/kg, com média de 9,93 g/kg. Embora os valores ainda estejam abaixo do limite crítico ideal, esta tensão proporcionou maior estabilidade nos teores de K em todas as doses de fertilização (100%, 200% e 300%). A tensão de 30 kPa minimizou as perdas por lixiviação e otimizou a absorção do K, evidenciando que condições hídricas moderadas favorecem o transporte eficiente do nutriente no solo. Esses resultados corroboram observações anteriores de Ferreira Neto et al. (2014) e Ribeiro et al. (2016), que destacam o papel do manejo hídrico em tensões moderadas na eficiência do uso de nutrientes.

Na tensão de 45 kPa, os valores de K variaram entre 7,49 g/kg e 11,25 g/kg, com média de 9,66 g/kg. A limitação hídrica impôs restrições ao transporte do nutriente no solo, resultando em valores mais altos nas doses elevadas de fertilizante (200% e 300%) devido à menor lixiviação. Os teores de K na tensão máxima variaram de 9,00 g/kg a 11,13 g/kg, com média de 10,12 g/kg, representando um leve aumento em relação ao de 45 kPa. Autores como Matias et al. (2006), relataram que a menor mobilidade do K em solos secos pode favorecer seu acúmulo na zona radicular, com o risco de provocar antagonismos nutricionais, principalmente com cátions como Ca e Mg.

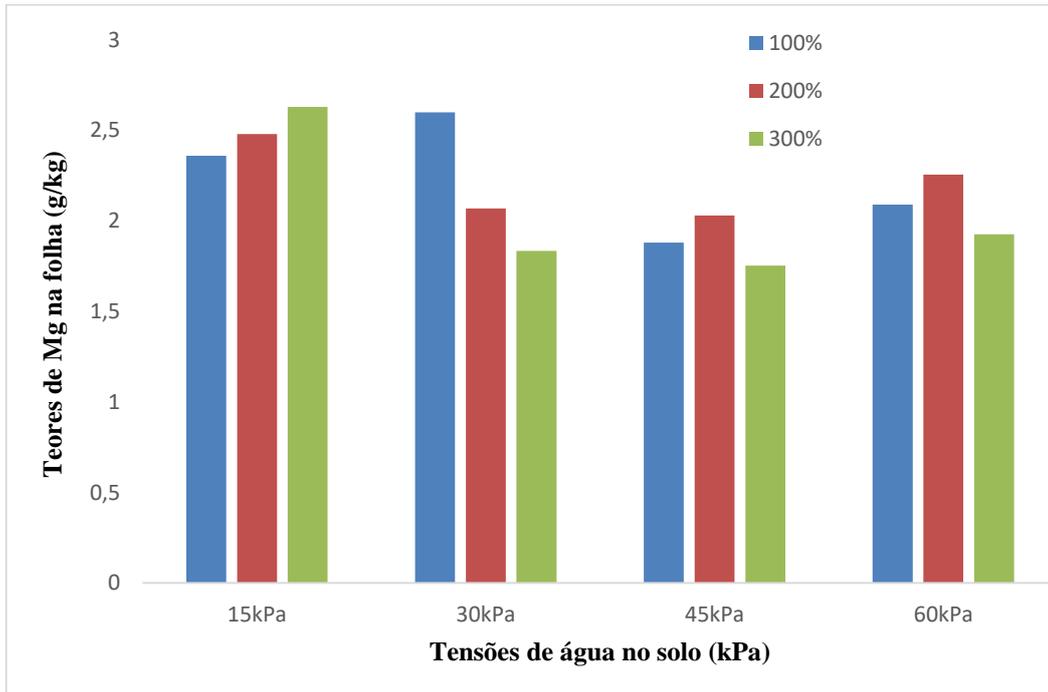
Nas doses padrão de 100% de NPK+Mg, os teores de K foram mais consistentes em 30 kPa, destacando esta tensão como a condição mais eficiente para a nutrição potássica. No entanto em tensões mais elevadas, os teores de K aumentaram com as doses mais altas (200% e 300%), mas também aumentaram os riscos de desequilíbrios nutricionais e desperdícios. Em condições de excesso de água (15 kPa), mesmo as doses mais altas mostraram-se ineficazes devido à lixiviação acentuada.

2.3.2.3 Teores de magnésio nas folhas

Os teores foliares de magnésio (Mg) apresentaram variações significativas entre as diferentes tensões hídricas e níveis de fertilização avaliados (figura 7). No coqueiro, os valores críticos de Mg situam-se entre 2,0 g/kg e 3,0 g/kg, faixa considerada ideal para sustentar o metabolismo e a produtividade das plantas (LINS E VIEGAS, 2008; RIBEIRO et al., 2016). As condições experimentais permitiram observar diferentes padrões de absorção e eficiência de uso de Mg, dependendo do manejo hídrico e das doses de fertilizante aplicadas.

Sob a tensão de 15 kPa, os valores de Mg oscilaram entre 2,35 g/kg e 2,64 g/kg, com média de 2,49 g/kg, dentro do limite crítico. Em níveis de fertilização de 100% de NPK+Mg, as concentrações mantiveram-se estáveis, enquanto doses mais altas (200% e 300%) resultaram em aumentos significativos. Isso pode refletir a maior disponibilidade de Mg em solos saturados, porém acompanhada de riscos elevados de lixiviação, conforme reportado por Ribeiro et al. (2016).

FIGURA 7. Teores de magnésio (Mg) na folha de coqueiro em função das tensões de água no solo e dos níveis de fertilização.



Fonte: Autor

Na tensão de 30 kPa, identificada como a condição ideal, os teores de Mg nas folhas variaram entre 1,83 g/kg e 2,61 g/kg, com média de 2,17 g/kg. Os níveis de fertilização de 100% de NPK+Mg resultaram nos melhores teores, próximos ao limite superior crítico. No entanto, doses mais altas (200% e 300%) apresentaram redução nos valores de Mg, indicando possíveis interações competitivas entre cátions, especialmente com o potássio (K), como destacado por Lima et al. (2018). Esse comportamento reflete a importância de um manejo equilibrado entre os nutrientes para evitar antagonismos que prejudiquem a absorção de Mg.

Sob tensão moderada de 45 kPa, os teores de Mg reduziram-se para uma faixa de 1,75 g/kg a 2,08 g/kg, com média de 1,89 g/kg, situando-se abaixo do limite crítico. Em níveis de fertilização de 100% de NPK+Mg, os teores foram ligeiramente superiores, mas doses mais elevadas (200% e 300%) resultaram em quedas acentuadas. Esses resultados podem sugerir que o aumento na dose de fertilizantes não compensa a menor disponibilidade hídrica, como também indicado por Matias et al. (2006). A competição entre cátions em condições de déficit hídrico moderado foi um fator limitante para a eficiência do uso do Mg.

Em seguida, na tensão de 60 kPa, os teores foliares de Mg variaram entre 1,92 g/kg e 2,27 g/kg, com média de 2,09 g/kg, próximos ao limite inferior crítico. Mesmo com níveis

elevados de fertilização (200% e 300%), a eficiência do uso de Mg foi severamente comprometida, isso podem ser explicados devido à restrição hídrica. Esses resultados reforçam o papel determinante da água na mobilidade e na absorção de Mg, corroborando os estudos de Ribeiro et al. (2016), que destacaram o impacto negativo do déficit hídrico severo sobre a nutrição mineral do coqueiro.

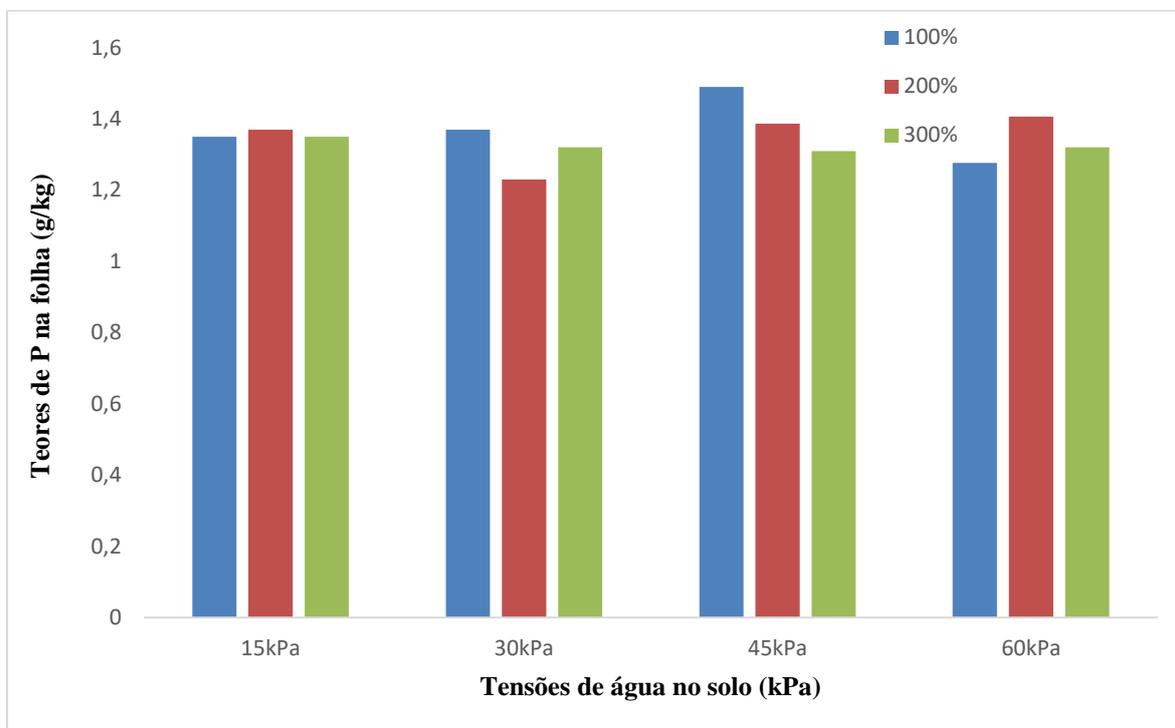
Os resultados do presente estudo alinham-se com os resultados de Lins e Viegas (2008) e Lima et al. (2018), que relataram que tensões moderadas, como 30 kPa, favorecem a eficiência da absorção de Mg, enquanto tensões extremas (15 kPa e 60 kPa) comprometem essa eficiência por lixiviação ou limitação de mobilidade. Além disso, o antagonismo entre K e Mg pode ser evidente em doses elevadas de fertilizantes.

2.3.2.4 Teores de fósforo nas folhas

Os teores foliares de fósforo (P) apresentaram variações relevantes entre as tensões hídricas e os níveis de fertilização avaliados (figura 8). Os valores críticos para a cultura do coqueiro-anão foram estabelecidos em 0,60 g/kg, sendo este o limite mínimo necessário para manter o metabolismo e a produtividade da planta (SALDANHA et al., 2017; LINS e VIEGAS, 2020). A análise evidenciou que as condições de manejo hídrico e as doses de fertilizantes desempenharam papel fundamental na dinâmica de absorção de fósforo.

Em condições de alta disponibilidade hídrica como a tensão de 15 kPa, os teores de P variaram entre 1,34 g/kg e 1,38 g/kg, com média de 1,36 g/kg, independentemente dos níveis de fertilização (100%, 200% ou 300%). Esses valores estão bem acima do limite crítico, sugerindo que a elevada umidade favorece a solubilização do P no solo, otimizando sua absorção pelas raízes. A uniformidade nos teores também pode sugerir que a lixiviação de P é mínima, mesmo em condições de saturação hídrica. Esses resultados corroboram os achados de Ferreira Neto et al. (2014), que observaram comportamento semelhante em solos tropicais.

FIGURA 8. Teores de fósforo (P) na folha em função das tensões de água no solo e dos níveis de fertilização.



Fonte: Autor

Sob condições intermediárias de irrigação (30 kPa), os teores de P apresentaram uma leve redução, oscilando entre 1,22 g/kg e 1,37 g/kg, com média de 1,32 g/kg. A maior estabilidade nos níveis de P foi registrada em fertilizações de 100% e 200%, enquanto na dose de 300%, os valores tenderam a estabilizar-se. Essa tensão proporciona um equilíbrio entre disponibilidade hídrica e mobilidade do fósforo, provavelmente favorecer a sua retenção na solução do solo e a eficiência de absorção pelas plantas, como descrito por Matias et al. (2006).

Nas condições de déficit hídrico moderado (45 kPa), os teores de P variaram entre 1,30 g/kg e 1,50 g/kg, com média de 1,39 g/kg, demonstrando maior estabilidade em relação às tensões menores. A limitação hídrica reduz a lixiviação, permitindo uma maior concentração de P na zona radicular. Doses mais altas (200% e 300%) não apresentaram incrementos significativos na concentração foliar de P, sugerindo saturação nos mecanismos de absorção.

Em condições de déficit hídrico severo (60 kPa), as concentrações foliares de P permaneceram estáveis, variando entre 1,27 g/kg e 1,33 g/kg, com média de 1,30 g/kg. A

baixa mobilidade do P no solo contribuiu para a estabilidade das concentrações, mesmo em tensões extremas. Esses resultados indicam que o P é menos sensível às variações hídricas em comparação com nutrientes mais móveis, como N e K, conforme relatado por Ribeiro et al. (2016).

As doses de 100% de NPK+Mg mostraram-se suficientes para manter teores adequados de P em todas as tensões hídricas, com médias consistentemente acima do limite crítico de 0,60 g/kg. O aumento das doses para 200% e 300% não resultou em incrementos significativos nas concentrações de P, indicando uma possível saturação nos mecanismos de absorção radicular, como também reportado por Lins e Viegas (2020).

Os resultados obtidos estão em conformidade com os estudos de Matias et al. (2006) e Lins et al. (2020), que destacaram a menor mobilidade do fósforo no solo e sua baixa influência pelas condições hídricas. Esses autores também reforçam que o manejo hídrico adequado, associado a doses equilibradas de fertilizantes, é suficiente para atender às demandas de P em sistemas tropicais.

2.3.3 Produção de frutos

A análise de variância (ANOVA) revelou efeitos significativos dos fatores testados na produção do coqueiro-anão verde, conforme resumido na tabela 3. Essa interação indica que os fatores de fertirrigação e irrigação atuam de maneira interdependente, influenciando diretamente o desenvolvimento da cultura do coqueiro-anão verde.

TABELA 3. Resumo da análise de variância das variáveis NFP, PF e VA na produção do coqueiro anão verde, em função dos níveis de fertirrigação e tensões de água no solo

Fator de variação	GL	F		
		NFP	PF	VA
		Unidades	g	mL
Fertirrigação (F)	2	148.04**	4043.12**	2427.52**
Tensões (T)	3	5.56**	12.11**	10.02**
Blocos	2	38.36**	968.14**	656.09**
F x T	6	5.94**	5.63**	8.37**
Resíduos	24	-	-	-
Total	35			
CV%		23.06%	5.03%	8.83%

*Nível de 5% de significância pelo teste F. **Muito significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F.

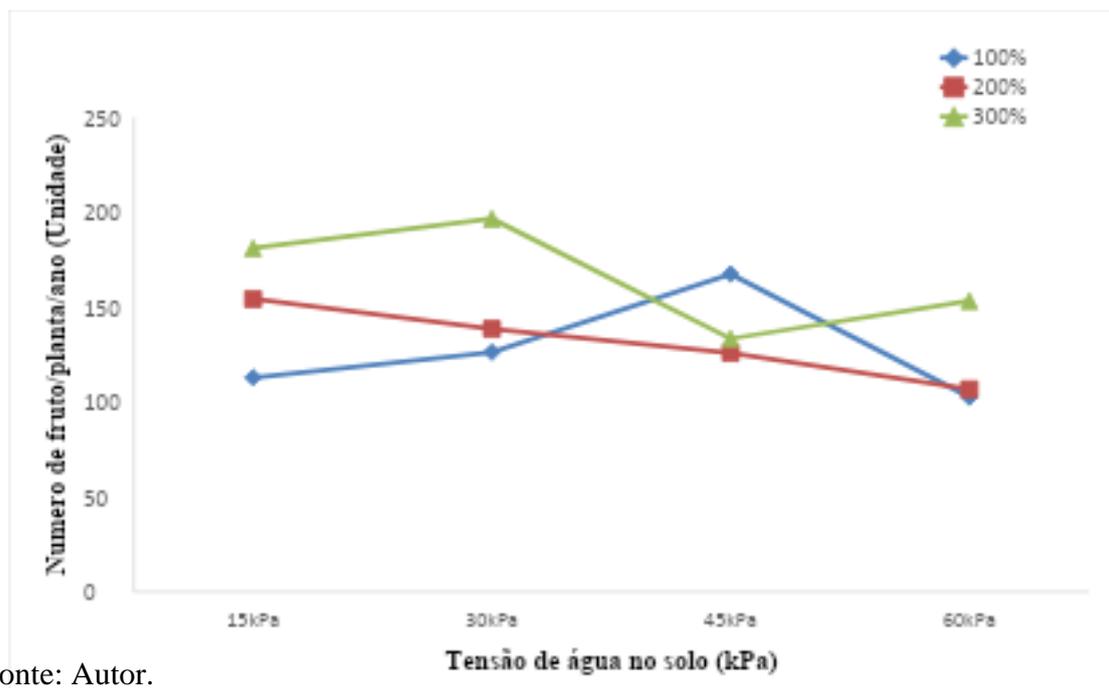
Fonte: Autor

2.3.3.1 Número de frutos por planta

Os resultados da análise do número de frutos por planta (NFP) mostraram variações significativas influenciadas pelas tensões hídricas e pelos níveis de fertilização (figura 9). A interação entre o manejo hídrico e a adubação desempenhou um papel crucial na produtividade do coqueiro-anão verde, especialmente considerando possíveis efeitos da atrofia letal do coroamento, que pode ter contribuído para a redução do NFP em algumas condições avaliadas.

As tensões de 15 kPa apresentaram valores médios de NFP variando entre 146 frutos planta⁻¹ (mínimo de 121 e máximo de 161 frutos planta⁻¹) e 151 frutos planta⁻¹ (mínimo de 109 e máximo de 216 frutos planta⁻¹). Esses valores refletem um padrão de maior resposta às doses mais altas de fertilizantes, como relatado por Ribeiro et al. (2016), que identificaram incrementos semelhantes em condições de alta disponibilidade hídrica. No entanto, as médias indicam uma ampla variabilidade nos resultados, sugerindo que o excesso de água pode favorecer o crescimento vegetativo sem traduzir-se diretamente em maior número de frutos.

FIGURA 9. Número de frutos por planta (NFP) em função da fertirrigação e tensão de água no solo



Fonte: Autor.

Sob condições de manejo hídrico ideal de 30 kPa, o NFP variou entre 144 frutos planta⁻¹ e 172 frutos planta⁻¹, com médias correspondentes às doses mais elevadas de fertilizante. Essa tensão proporcionou as condições mais estáveis para maximizar a produção, com um máximo de 222 frutos planta⁻¹. Esses achados corroboram estudos como os de Miranda et al. (2007) e Araújo et al. (2022), que observaram produtividades médias de 193 frutos planta⁻¹ em tensões hídricas moderadas.

Em déficit hídrico moderado de 45 kPa, os valores de NFP apresentaram uma média de 142 frutos planta⁻¹, com variações entre 109 e 187 frutos planta⁻¹. A redução no NFP é consistente com os efeitos negativos do estresse hídrico na retenção de frutos e assimilação de nutrientes, conforme destacado por Matias et al. (2006). Ainda assim, a resposta em tensões mais elevadas demonstrou ser sensível à dose de fertilizante, com o máximo valor registrado na dose de 100%.

Na tensão de 60 kPa, sob déficit hídrico severo, o NFP foi o mais baixo registrado, com média de 121 frutos planta⁻¹, variando de 90 a 172 frutos planta⁻¹. Esses resultados refletem os efeitos adversos do estresse hídrico severo sobre o transporte de nutrientes e o desenvolvimento reprodutivo do coqueiro. A atrofia letal do coroamento pode ter contribuído para os valores mais baixos observados, como relatado por Ferreira Neto et al. (2014), especialmente em condições de restrição hídrica prolongada.

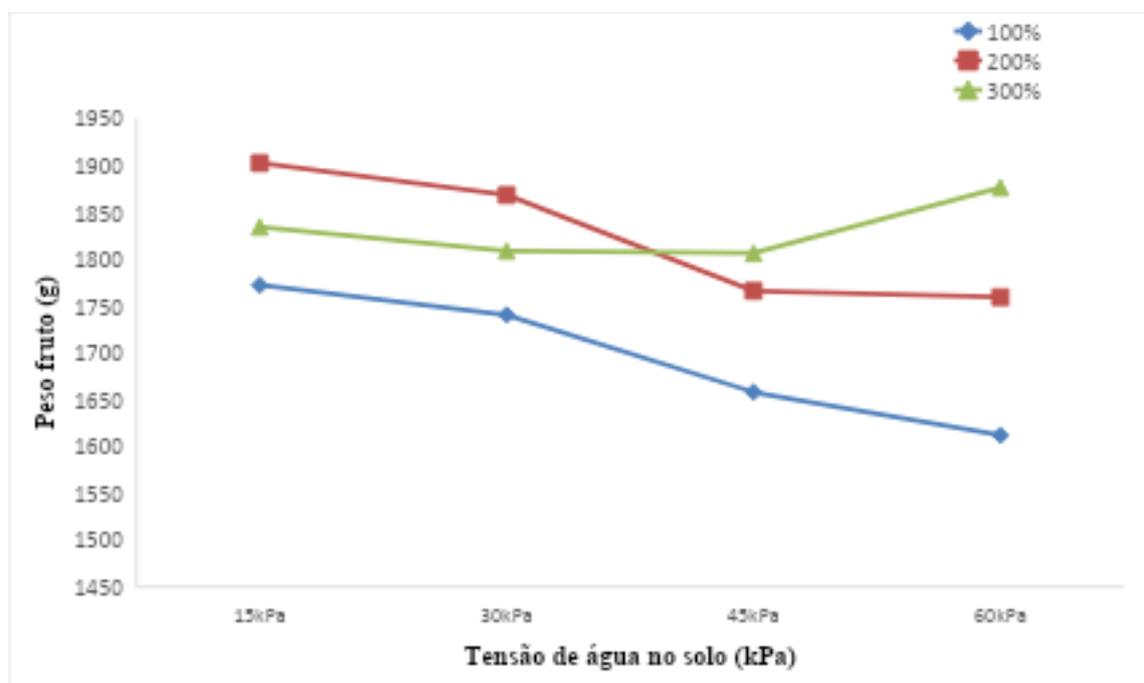
Os resultados deste estudo alinham-se aos valores relatados por Miranda et al. (2007), que observaram médias de 193 frutos planta⁻¹ em condições ótimas de manejo hídrico, e por Pires et al. (2004), que relataram 134 frutos planta⁻¹ para variedades de coqueiro-anão sob manejo otimizado. Em cenários de déficit hídrico severo, valores similares foram encontrados por Cuenca e Siqueira (2003), que consideram 90 frutos planta⁻¹ como boa produtividade em condições adversas.

2.3.3.2 Peso de fruto

Os resultados do peso de fruto (PF) demonstraram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos com tensões hídricas (15, 30, 45 e 60 kPa) e doses de fertirrigação (100%, 200% e 300% de NPK+Mg) (figura 10). Essas interações refletiram comportamentos distintos, indicando que a combinação entre manejo hídrico e adubação influencia diretamente o desenvolvimento dos frutos em coqueiros-anão verde.

Sob a tensão de 15 kPa, caracterizada por alta disponibilidade hídrica, o maior peso médio foi registrado na dose de 200% de NPK+Mg, atingindo 1926 g por fruto, o maior valor observado na pesquisa. Doses menores (100%) resultaram em um peso médio de 1808 g, enquanto a dose de 300% apresentou um peso de 1820 g. Esses resultados sugerem que doses intermediárias de fertilizantes, combinadas com alta saturação hídrica, favorecem o desenvolvimento máximo do fruto, evitando perdas por lixiviação ou efeitos de saturação nutricional. Estudos de Carneiro et al. (2018) destacam que o potássio (K), amplamente presente no NPK+Mg, desempenha um papel crucial no transporte de carboidratos e na regulação hídrica dos frutos, maximizando seu peso.

FIGURA 10. Média peso de fruto, em função dos níveis fertirrigações e tensão de água no solo aplicados



Fonte: Autor

Na tensão de 30 kPa, considerada ideal para o manejo hídrico, o peso médio dos frutos foi consistentemente elevado, com destaque para a dose de 200% de NPK+Mg, que alcançou 1918 g por fruto. As doses de 100% e 300% resultaram em pesos médios de 1784 g e 1834 g, respectivamente. Essa tensão proporcionou um equilíbrio hídrico ideal, otimizando a absorção de nutrientes sem perdas significativas por lixiviação. Esses dados reforçam que doses intermediárias de fertilizantes são mais eficazes para maximizar o peso dos frutos em condições de equilíbrio hídrico.

Na tensão de 45 kPa, que representa déficit hídrico moderado, o peso médio dos frutos variou de 1629 g a 1825 g, com maior eficiência registrada na dose de 200% de NPK+Mg. A redução de peso em doses de 100% (1629 g) e 300% (1743 g) pode interpretar como as limitações impostas pelo estresse hídrico, que compromete a mobilidade de nutrientes e o transporte para os frutos. Estudos de Taiz e Zeiger (2009) destacam que a limitação hídrica reduz a eficiência metabólica das plantas, impactando diretamente o peso dos frutos.

Sob déficit hídrico severo (60 kPa), o peso médio dos frutos foi o mais baixo registrado, variando de 1593 g a 1886 g, com maior valor observado na dose de 300% de NPK+Mg. A dose de 200% apresentou um peso médio de 1742 g, enquanto a dose de 100%

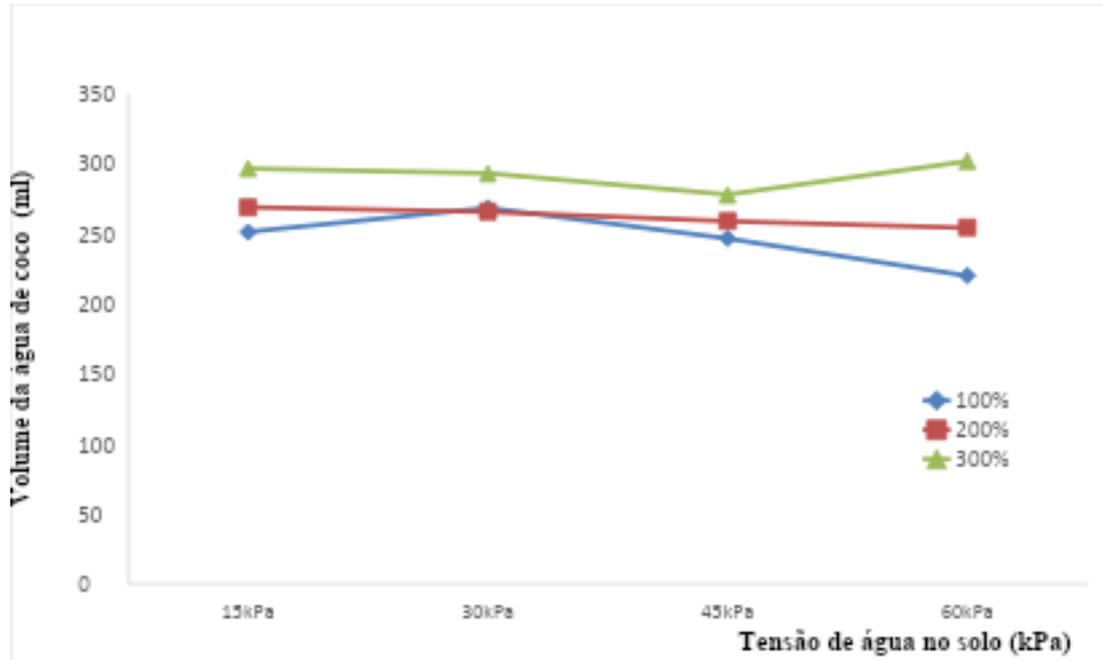
resultou no menor peso (1593 g). Esses resultados indicam que doses mais altas de fertilizantes são necessárias para mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico severo. Carneiro et al. (2018) relataram comportamento similar em outras culturas, destacando que doses elevadas de potássio podem compensar parcialmente as restrições impostas pela menor disponibilidade de água. Os pesos de fruto registrados neste estudo estão alinhados com os de Carneiro et al. (2018), que relataram aumento no peso de frutos em condições de manejo hídrico eficiente e fertilização com potássio.

2.3.3.3 Volume água de coco

Os dados obtidos nesta pesquisa demonstraram um efeito estatisticamente significativo da interação entre manejo hídrico e fertirrigação no volume de água de coco (VA). O maior volume foi observado na tensão de 60 kPa, com média de 301 mL planta⁻¹ na dose de 300% de NPK+Mg, seguido pelos volumes registrados em 15 kPa (296 mL planta⁻¹) e 30 kPa (293 mL planta⁻¹) na mesma dose. Esses resultados evidenciam que o aumento das doses de NPK+Mg promoveu um comportamento linear crescente no volume de água dos frutos em todas as tensões hídricas (figura 11).

Os volumes observados nesta pesquisa estão em concordância com estudos anteriores. Por exemplo, Cintra et al. (2009), em Neópolis-SE, reportaram volumes médios de 290 a 310 mL planta⁻¹ em coqueiros-anão verde irrigados sob tensões moderadas, com doses elevadas de fertilizantes potássicos. Resultados semelhantes também foram descritos por Medeiros (2022) em Santa Izabel-PA, que identificou ganhos significativos no VA com o incremento de adubação e reposição hídrica ajustada às tensões de 30 e 45 kPa.

FIGURA 11. Volume média da água de coco por frutos colhidos, em função dos níveis de fertirrigação e tensão de água no solo aplicados



Fonte: Autor

Estudos como os de Silva et al. (2013) destacam que o volume de água de coco é influenciado por fatores como estágio de maturação dos frutos, manejo nutricional e condições climáticas. Esses autores recomendaram a colheita de frutos imaturos para maximizar o volume de água, com valores médios de 270 mL em condições tropicais. Jackson et al. (2004) também observaram que o manejo hídrico eficiente em coqueiros pode elevar o volume de água para valores próximos a 300 mL, dependendo da maturidade e da frequência de irrigação.

Por outro lado, Maciel et al. (2009) relataram que sob condições de déficit hídrico severo, como em tensões de 60 kPa, volumes inferiores a 250 mL foram registrados, a menos que doses elevadas de fertilizantes fossem aplicadas para compensar o estresse hídrico. Esses achados reforçam os resultados desta pesquisa, onde doses de 300% de NPK+Mg permitiram mitigar os impactos negativos do déficit hídrico, promovendo volumes superiores a 300 mL planta⁻¹ em tensões extremas.

Os volumes observados em tensões de 15 e 30 kPa indicam que doses intermediárias de fertirrigação (200%) podem ser suficientes para alcançar volumes próximos aos máximos observados, como registrado em 30 kPa com 293 mL planta⁻¹. Isso demonstra que há um limite para os benefícios do aumento da dose, além do qual a eficiência do uso do fertilizante diminui, como relatado por Cintra et al. (2009). Por outro lado, em tensões de 60 kPa, doses

mais altas de fertilizantes são indispensáveis para manter o VA, o que é consistente com o comportamento adaptativo das plantas em condições de estresse hídrico severo.

Além disso, Silva et al. (2013) destacaram que o volume de água pode ser influenciado por interações nutricionais entre o potássio e outros cátions, como cálcio e magnésio, especialmente em doses elevadas. A tensão de 45 kPa, que apresentou um volume médio de 277 mL na dose de 300%, reforça essa dinâmica, onde o balanço entre manejo hídrico e adubação é crítico para evitar antagonismos nutricionais.

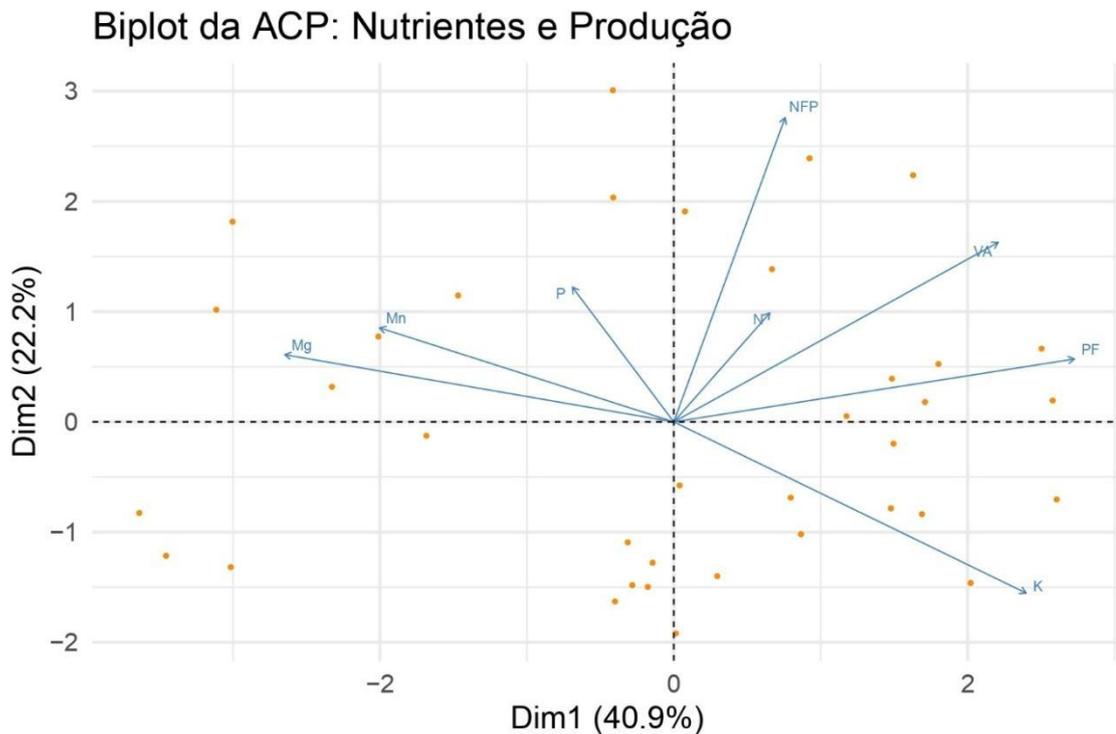
Os dados desta pesquisa contribuem para o entendimento das condições ótimas de manejo hídrico e fertirrigação no coqueiro-anão verde. Comparados aos valores reportados na literatura, os volumes observados são competitivos, destacando o papel do manejo integrado para maximizar a produção. Além disso, a dose de 300% de NPK+Mg foi a mais responsiva em todas as tensões hídricas, evidenciando que em condições adversas, como 60 kPa, doses elevadas são essenciais para compensar o déficit hídrico e sustentar a produtividade.

A análise por ACP evidenciou a interação entre nutrientes (N, P, K, Mg e Mn) e indicadores de produção (NFP, PF, VA), com as dimensões Dim1 (40,9%) e Dim2 (22,2%) explicando conjuntamente 63,1% da variância total (figura 12). Os resultados reforçam que os macronutrientes N e K foram os mais fortemente correlacionados aos indicadores de produção, enquanto os micronutrientes apresentaram menor influência direta.

2.3.3.4 Biplot dos macronutrientes e variáveis de produção de coqueiro

Os teores de N na folha, mostrou forte correlação com o NFP, evidenciando seu papel no crescimento vegetativo e na expansão celular, o que é consistente com os achados de Pires et al. (2004), que observaram incrementos significativos no número de frutos por planta sob adubações nitrogenadas balanceadas (figura 12). No entanto, o K foi determinante para PF e VA, devido à sua contribuição para o transporte osmótico e o acúmulo de água nos frutos, como também relatado por Cintra et al. (2009) e Medeiros et al. (2022), que destacaram o K como o principal nutriente para maximizar o peso e o volume de água em coqueiros-anão em tensões moderadas.

FIGURA 12. Representação em biplot dos macronutrientes e variáveis de produção de coqueiro anão verde no período de janeiro de 2021 a dezembro de 2024 no município de Santa Isabel-PA, leste da Amazônia brasileira.



Fonte: Autor

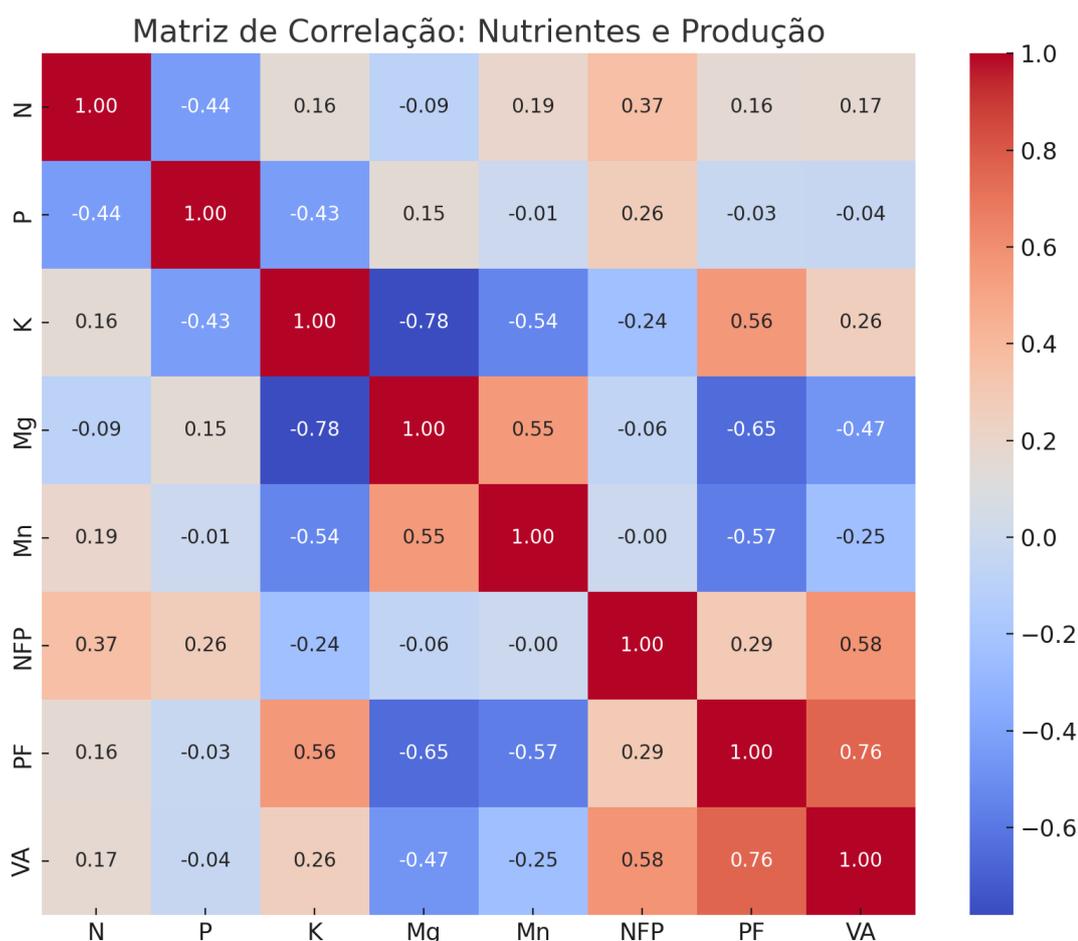
Os macronutrientes como o P, Mg e manganês, tiveram influência mais moderada, contribuindo indiretamente para a eficiência metabólica, como também observado por Silva et al. (2013) e Maciel et al. (2009), que destacaram seu papel no suporte à fotossíntese e na ativação enzimática.

Podemos afirmar que as tensões de 15 e 30 kPa, promoveram os melhores resultados, com doses de 200%-300% de NPK+Mg otimizando os indicadores de produção. Esses resultados corroboram os estudos de Cintra et al. (2009) e Jackson et al. (2004), que relataram máximos produtivos em tensões moderadas, com ganhos consistentes em peso de fruto e volume de água de coco. No entanto, nas tensões de 45 e 60 kPa, apresentaram redução nos indicadores de produção devido ao déficit hídrico, mas doses de 300% de NPK+Mg mitigaram parcialmente esses impactos. Estudos como os de Maciel et al. (2009) destacaram que tensões severas requerem doses mais altas de fertilizantes para compensar a menor mobilidade de nutrientes.

A matriz de correlação revelou interações críticas entre os nutrientes e os indicadores de produção no coqueiro-anão verde. Os macronutrientes K e N demonstraram maior impacto, com o potássio apresentando forte correlação com o peso dos frutos ($r = 0,56$) e o

volume de água de coco ($r = 0,76$). O nitrogênio mostrou relação moderada com o número de frutos por planta ($r = 0,37$), destacando seu papel no crescimento vegetativo e na formação de flores (tabela 4).

TABELA 4. Matriz de correlações lineares das concentrações de nutrientes e variáveis de produção do coqueiro anão verde fertirrigado e irrigado no período de janeiro de 2021 a dezembro de 2024 em Santa Isabel-PA, leste da Amazônia



Fonte: Autor

O antagonismo entre K e Mg ($r = -0,78$) evidenciou a necessidade de equilíbrio no manejo nutricional, evitando a redução na absorção de magnésio em doses elevadas de potássio. Entre os micronutrientes, o manganês contribuiu significativamente para o peso dos frutos ($r = 0,55$), enquanto o fósforo apresentou uma correlação menos expressiva com os indicadores de produção, refletindo limitações na eficiência de uso em altas doses.

Esses achados são consistentes com estudos de Cintra et al. (2009) e Medeiros (2022), que destacaram o potássio como o principal nutriente para otimizar a produtividade, especialmente sob tensões hídricas moderadas (30 kPa). O papel complementar de Mg e Mn,

como descrito por Maciel et al. (2009), reforça a importância de uma abordagem integrada no manejo de fertilizantes.

2.4 Conclusão

Os resultados desta pesquisa demonstraram a importância do manejo integrado entre tensões hídricas (15, 30, 45 e 60 kPa) e doses de fertirrigação (100%, 200% e 300% de NPK+Mg) na produtividade e na nutrição do coqueiro-anão verde. A tensão de 30 kPa, combinada com a dose de 200% NPK+Mg, foi a condição mais eficiente, proporcionando maior número de frutos por planta (222 frutos), peso médio dos frutos (1918 g) e volume de água (293 mL). Níveis superiores de adubação foram necessários apenas sob déficit hídrico severo, como em 60 kPa, evidenciando a necessidade de ajustes precisos em condições de estresse.

Os teores foliares indicaram que o potássio (K) e o nitrogênio (N) foram os nutrientes mais associados ao desempenho produtivo, com forte relação positiva com o peso dos frutos e o volume de água. Em contrapartida, o magnésio (Mg) apresentou redução em tensões mais altas devido ao antagonismo com o potássio, ressaltando a importância do equilíbrio nutricional para evitar limitações na absorção. O fósforo (P) manteve-se estável, contribuindo para o desenvolvimento radicular e otimizando a eficiência metabólica da planta. Portanto, o manejo hídrico em tensões moderadas (30 kPa), aliado a fertilizações balanceadas, maximiza a produtividade do coqueiro-anão verde em condições tropicais. Estratégias nutricionais mais intensivas, como doses de 300% NPK+Mg, devem ser direcionadas para cenários de déficit hídrico severo, visando minimizar as perdas produtivas.

2.5 Referenciais

ANDRADE JÚNIOR, A. S. *et al.* **Determinação da curva de retenção de água no solo em laboratório.** Embrapa Meio-Norte, 2007.

AVIZ, W. L. CARRERA. **Produção de coco verde (*cocos nucifera*, L.) submetido a manejo de irrigação por tensiometria e fertirrigação.** 2023. Tese de Doutorado. UFRA-Campus Belém.

CÂMARA, F.M.M., ALVES, A.A., CELEDÔNIO, W.F., OLIVEIRA, L.M., PEREIRA, G.A., MENDONÇA, V. Fenologia do coqueiro anão verde em região semiárida. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v.14, n.4, p.291-296, 2019.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5ª ed. Brasília, DF: Embrapa, 2008, 356 p.

FERREIRA NETO, Miguel *et al.* Qualidade do fruto do coqueiro anão verde em função de nitrogênio e potássio na fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** 2007, v. 11, n. 5, pp. 453-458. Doi: [Doi.org/10.1590/S1415-43662007000500001](https://doi.org/10.1590/S1415-43662007000500001). Acesso em: 1 dez. 2021.

HOLANDA, J. S., FERREIRA NETO, M., SILVA, R. A. *et al.* **Tecnologia para a produção intensiva de coco Anão verde.** Natal: EMPARN, 40 p., Boletim de Pesquisa 34, 2007.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da Produção Agrícola.** Fortaleza: IBGE/GCEA-CE. Dezembro. Séries 2020.

IRHO - Institut de Recherches Pour les Huiles et Oléagineux. Rapport d'activité. **Oléagineux**, Paris, v.44, n.4, p.1- 22, 1989. (1)

KUMAR B.M. AND KUNHAMU T.K. Nature-based solutions in agriculture: A review of the coconut (*Cocos nucifera* L.)-based farming systems in Kerala, “the Land of Coconut Trees” **Nature-Based Solutions**, Volume 2, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100012>.

LÉDO, A. S., PASSOS, E. E. M., FONTES, H. R., FERREIRA, J. M. S., TALAMINI, V., VENDRAME, W. A. Advances in Coconut palm propagation. **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S. l.], v. 41, n. 2, p. 1-14, 2019.

LINS, P.M.P.; VIÉGAS, I.J.M. Coqueiro. In: BRASIL, E.C.; CRAVO, M.S.; VIÉGAS, I.J.M. **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. 2.ed. Brasília: Embrapa, 2020. p.347-349.

LINS, P. M. P., VIÉGAS, I. de J. M. **Adubação do coqueiro no Pará**. Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E), 2008.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFÓS, 1997. 319p.

MARTINS, C.R., LA JESUS JR. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama 2014**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2013.

MATIAS, S.S.R.; AQUINO, B.F.; FREITAS, J.A.D.; HERNANDEZ, F.F.F. Análise foliar de coqueiro anão em duas épocas diferentes em relação a doses de nitrogênio e potássio. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.37, n.3, p.264-269, 2006. (1)

MEDEIROS, M. B. C. L *et al.* **Fisiologia e produção do coqueiro (Cocos nucifera, L.) submetido a irrigação e fertirrigação no Nordeste Paraense**. 2023. Tese de Doutorado. UFRA-Campus Belém.

MIRANDA, F. R. de, NOGUEIRA, L. C., AMORIM, J. R. A. de. Fertirrigação. In: FERREIRA, J. M. S., WARWICK, D. R. N., SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil**. Brasília - DF: Embrapa, 2018.

SALDANHA; E.C.M.; SILVA JUNIOR, M.L.; LINS, P.M.P.; FARIAS, S.C.C.; WADT, P.G.S. Nutritional diagnosis in hybrid coconut cultivated in northeastern Brazil through Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.39, n.1, p.1-9, 2017.

SOUSA, K. R. P., CORDEIRO, G. R. C., CONCEIÇÃO, J. M., SANTOS, B. L., CABRAL, A. C. S., FERREIRA, T. C. Avaliação e análise exploratória dos parâmetros físico-químicos de leites de coco industrializados e comercializados em Belém-PA. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n.1, p. 11126-11143, 2021.

3 ANÁLISE DE QUALIDADE DA ÁGUA DE COCO IN NATURA E SUAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS EM SANTA IZABEL DO PARÁ

RESUMO

A água de coco é amplamente consumida como uma fonte natural de hidratação e desempenha um papel crucial na segurança alimentar das comunidades da região amazônica. A garantia de sua qualidade físico-química é essencial para atender tanto às expectativas dos consumidores quanto às normas regulatórias. Este estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água de coco in natura, produzida no município de Santa Izabel do Pará, considerando diferentes estratégias de manejo de fertirrigação e irrigação. O experimento foi conduzido em um delineamento fatorial 4x3, com quatro tensões de água no solo (15, 30, 45 e 60 kPa) e três níveis de fertirrigação (100%, 200% e 300% das doses recomendadas de N, P, K e Mg). Amostras de água de coco foram analisadas quanto aos parâmetros físico-químicos, incluindo pH, condutividade elétrica e sólidos solúveis totais (Brix). Os resultados indicaram que a tensão de 30 kPa, associada à dose de fertirrigação de 200%, proporcionou um equilíbrio ideal entre qualidade e sustentabilidade. Essa combinação manteve o teor de sólidos solúveis totais (Brix) em níveis elevados, enquanto o pH e a condutividade elétrica permaneceram dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira. Tensões mais baixas, como 15 kPa, e fertirrigações acima de 200% não apresentaram vantagens significativas e, em alguns casos, impactaram negativamente a qualidade físico-química da água de coco.

Palavras chave: *Cocos nucifera* L; Padrão de qualidade; Irrigação; Fertirrigação.

ABSTRACT

Coconut water is widely consumed as a natural source of hydration and plays a crucial role in the food security of communities in the Amazon region. Ensuring its physicochemical quality is essential to meet both consumer expectations and regulatory standards. This study aimed to evaluate the quality of fresh coconut water produced in the municipality of Santa Izabel do Pará, considering different fertigation and irrigation management strategies. The experiment was conducted in a 4x3 factorial design, with four soil water tensions (15, 30, 45, and 60 kPa) and three fertigation levels (100%, 200%, and 300% of the recommended doses of N, P, K, and Mg). Coconut water samples were analyzed for physicochemical parameters, including pH, electrical conductivity, and total soluble solids (Brix). The results indicated that a soil water tension of 30 kPa, combined with a fertigation level of 200%, provided an optimal balance between quality and sustainability. This combination maintained high levels of total soluble solids (Brix) while keeping pH and electrical conductivity within the standards established by Brazilian regulations. Lower tensions, such as 15 kPa, and fertigation levels above 200% did not offer significant advantages and, in some cases, negatively impacted the physicochemical quality of the coconut water.

Keywords: *Cocos nucifera* L. Quality standard. Irrigation. Fertigation.

3.1 Introdução

O coco (*Cocos nucifera* L.), uma das culturas agrícolas mais relevantes em regiões tropicais, é amplamente reconhecido pela sua diversidade de subprodutos, com destaque para a água de coco, valorizada por suas propriedades sensoriais e nutricionais. A água de coco, consumida amplamente in natura e em sua forma industrializada, apresenta alto valor mercadológico devido à sua composição rica em minerais, como potássio e sódio, sendo considerada uma bebida isotônica natural de baixo teor calórico e significativa aceitação global (MEDINA et al., 2005; COSTA et al., 2006; BRASIL, 2020).

Dentre as variedades comerciais de coqueiro, o coqueiro-anão verde destaca-se pela precocidade produtiva e qualidade superior de seus frutos, atributos que atendem às demandas do mercado consumidor. No Brasil, a cultura do coqueiro ocupa cerca de 220,7 mil hectares, sendo majoritariamente concentrada na região Nordeste, responsável por 87% da produção nacional. Contudo, a região Norte, especialmente o estado do Pará, tem emergido como um polo produtivo estratégico, contribuindo com 12,2% da produção nacional. A expansão dessa cultura na Amazônia deve-se a condições edafoclimáticas favoráveis e ao manejo intensivo, que inclui tecnologias como fertirrigação e irrigação controlada (IBGE, 2019; BRAINER, 2018).

A qualidade da água de coco é influenciada por diversos parâmetros físico-químicos, como pH, sólidos solúveis totais (°Brix), acidez titulável e condutividade elétrica, que determinam sua aceitação comercial e estabilidade. Estudos prévios indicam que condições de manejo hídrico e nutricional têm impacto direto sobre a composição da água de coco, afetando características como doçura, acidez e teor mineral (BARBOSA *et al.*, 2021; ARAÚJO *et al.*, 2022). Por exemplo, práticas de irrigação com déficit hídrico sustentado podem aumentar os sólidos solúveis totais, otimizando a qualidade sensorial, enquanto irrigação excessiva pode diluir nutrientes e comprometer o sabor (ARAÚJO *et al.*, 2022).

Na Amazônia oriental, a interação entre altas temperaturas, elevada umidade e solos predominantemente arenosos representa um desafio para o manejo da cocoicultura. Tais condições aumentam a lixiviação de nutrientes e tornam essencial o uso de tecnologias de manejo integrado, como a fertirrigação com doses ajustadas de nutrientes essenciais (N, P, K e Mg), para maximizar a produtividade e qualidade da água de coco. Estudos recentes em Santa Izabel do Pará indicam que diferentes tensões de água no solo podem alterar significativamente a composição físico-química da água de coco, realçando a importância

de pesquisas específicas para essa região (FRÓES *et al.*, 2019; MIRANDA *et al.*, 2018). Dessa forma, o presente estudo visa avaliar os parâmetros físico-químicos da água de coco *in natura* sob diferentes níveis de fertirrigação e tensões de água no solo em condições amazônicas.

3.2 Materiais e métodos

O experimento foi realizado na fazenda Reunidas Sococo, localizada no município de Santa Isabel, Pará, Brasil. A pesquisa foi focada na caracterização físico-química de água de coco do cultivar (*Cocos nucifera L.*) da variedade Anã verde do Brasil, em um cultivo com 8 anos de idade, com espaçamento 7,5 metros em triângulo equilátero, sendo a área de cultivo abrangendo 1.34 hectares, durante o período de junho de 2022 a março de 2023 (Figura 03).

O clima da região é considerado Afi (clima tropical úmido), segundo a classificação de Köppen, com precipitação média variando de 2500 a 3000 mm. O solo da região é conhecido como Neossolo Quartzarênico com textura arenosa e cor amarelada ao longo de seu horizonte (EMBRAPA, 2008).

Este experimento foi conduzido em delineamento em bloco casualizado (DBC) em esquema fatorial 4 x 3 com três repetições, o primeiro fator foi constituído de quatro níveis de irrigação (15 kPa, 30 kPa, 45 kPa e 60 kPa) e o segundo fator de três níveis de fertilização (100%, 200% e 300%). A unidade experimental do trabalho foi composta de 18 plantas dispostas em fileiras duplas, sendo considerado como parcela útil seis plantas.

As plantas foram irrigadas através de microaspersão, com um emissor por planta, além da fertirrigação que foram aplicadas durante 6 meses no ano (tabela 2). O manejo da fertirrigação foi realizado de acordo com os resultados das análises foliar da planta.

TABELA 5. Níveis de adubação aplicados via fertirrigação em g planta-1 ano-1

Fertirrigação	Nutrientes aplicados g planta ¹			
	N	KCl	P ₂ O ₅	Mg
100%	657,22	745,5	371,94	830,55
200%	1314,44	1491	743,88	1661,1
300%	1971,66	2236,5	1115,82	2491,65

Fonte: Autor, 2024

A seleção dos frutos foi realizada de maneira aleatória, contemplando nove frutos por cada unidade experimental. Após a colheita, os frutos foram transportados para o laboratório da empresa, onde a água de coco foi extraída in natura, com o auxílio de uma faca. Em seguida, a água foi filtrada e acondicionada em garrafas de polietileno, sendo armazenada em freezer para melhor preservação de suas características.

As amostras foram colocadas em frascos e acondicionadas em uma caixa térmica junto com bolsas de gelo. Essa caixa térmica foi utilizada para transportar as amostras até o Laboratório CTA - Centro de Tecnologia Agropecuária da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), onde as análises físico-químicas foram realizadas posteriormente, seguindo as diretrizes do Instituto Adolfo Lutz (2008).

A concentração de sólidos solúveis totais, medida em °Brix, foi determinada utilizando um refratômetro analítico da marca INTRUTHERM® modelo RT-90 ATC. É importante notar que a Instrução Normativa nº 27, de 22 de julho de 2009, não estabelece um padrão para o teor de sólidos solúveis (°Brix) em amostras de água de coco in natura, uma vez que essas amostras não passam por processos industriais. No entanto, a nova Instrução Normativa nº 9, de 30 de janeiro de 2020, estipula que as águas de coco integral, padronizada e reconstituída devem apresentar no mínimo 4 °Brix.

Para medir a condutividade elétrica (CE) das amostras de água de coco, 10 mL delas foram agitados em um béquer de 100 mL e as leituras foram feitas com um condutivímetro da marca LUTRON® modelo CD-4301, expressando os resultados em miliSiemens por centímetro (mS.cm⁻¹). O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado utilizando o método potenciométrico, empregando um pHmêtro LUCADEMA (modelo mPA210), conforme recomendado pelo Método 017/IV do Instituto Adolfo Lutz (2008).

Todas as análises realizadas nesta pesquisa foram repetidas em triplicata para cada tratamento com o intuito de diminuir os erros e ter maior confiabilidade nos resultados obtidos.

Os dados foram submetidos na linguagem Rstudio para a análise de variância, depois as médias foram comparadas usando o teste de Tukey com um nível de significância de 5%.

3.3 Resultados e discussão

A análise de variância (ANOVA) revelou interações significativas entre os fatores Fertilizante (F) e Tensão de Água no solo (T) para todas as variáveis analisadas (ATT, Brix, Condutividade elétrica e pH). Os resultados da avaliação dos parâmetros físico-químicas da água de coco podem ser observados nas figuras 13, 14, 15 e 16 respectivamente. O efeito dos fatores nas parâmetros físico-química da água de coco revelou resultados muito significativos (tabela 6).

TABELA 6. Resumo da análise de variância para acidez total titulável (ATT), potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis totais (SST) e condutividade elétrica (CE), em função das porcentagens de fertirrigação e tensões de água no solo

Fator de variação	GL	F			
		pH	CE mS.cm ¹	SST °brix	ATT % ac. Málico
Fertirrigação (F)	2	395.27**	520.70**	1305.69**	1428.03**
Tensões (T)	3	239.85**	46.86**	11.67**	1.91ns
Blocos	2	139.99**	165.30**	451.51**	513.76**
F x T	6	343.26**	25.37**	21.52**	4.15*
Resíduos	24	-	-	-	-
Total	35				
CV%		1.80%	5.34%	2.59%	4.04%

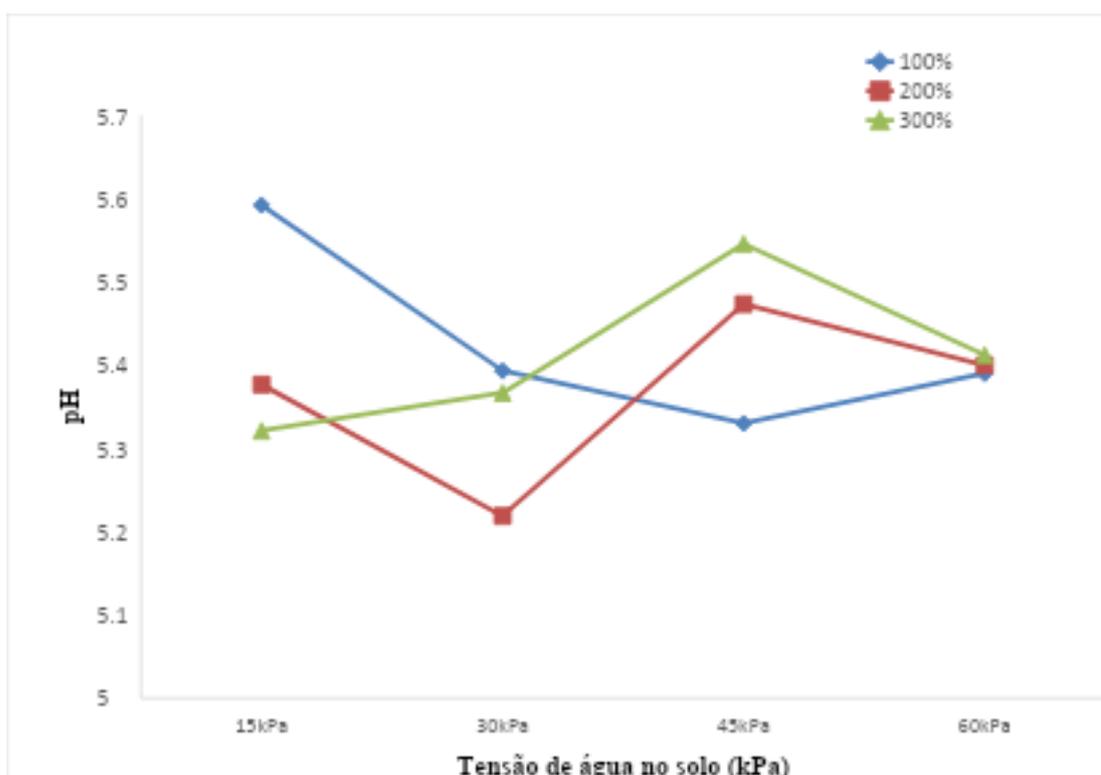
*Nível de 5% de significância pelo teste F. **Muito significativo ao nível de 5% de significância pelo teste F e ns: não significativa.

Fonte: Autor

3.3.1 Potencial hidrogeniônico

A análise estatística demonstrou que o pH da água de coco foi significativamente influenciado pelos fatores de fertilização e tensão de água no solo, bem como pela interação entre esses fatores. Observou-se que níveis crescentes de fertilização, especialmente com aplicação de 300% de NPK+Mg, resultaram em aumentos consideráveis no pH da água de coco (Figura 13). Esse efeito é atribuído ao maior aporte de nutrientes alcalinizantes, como potássio e magnésio, promovendo um equilíbrio mais alcalino na solução do solo e refletindo-se na água de coco. Ferreira et al. (2020) reforçam que o manejo nutricional exerce impacto direto na composição físico-química da água de coco, incluindo variações no pH devido à presença de minerais.

FIGURA 13. pH em função das porcentagens de fertirrigação e tensões de água no solo



Fonte: Autor

Em relação às tensões de água no solo, tensões moderadas (30 kPa) mantiveram o pH dentro da faixa aceitável para consumo (4,0 – 6,5), estabelecida pela Instrução Normativa MAPA nº 9/2020 (Brasil, 2020). Por outro lado, tensões mais baixas (15 kPa) resultaram em uma tendência de acidificação da água, o que pode ser explicado pelo maior lixiviamento de nutrientes ácidos. Este comportamento é corroborado por Câmara (2016), que relatou que o

manejo adequado da irrigação minimiza a acidificação e preserva a qualidade sensorial da água de coco.

A interação significativa entre os fatores indicou que o efeito da fertilização no pH é condicionado pelas tensões de água. Em tensões moderadas, a aplicação de fertilizantes foi otimizada, promovendo estabilidade no pH. Já em tensões elevadas (60 kPa), a menor disponibilidade de nutrientes no solo comprometeu o impacto da fertilização, como também relatado por Santos et al. (2020), que destacaram a influência de condições extremas de irrigação na dinâmica de transporte de nutrientes e no comportamento químico do pH.

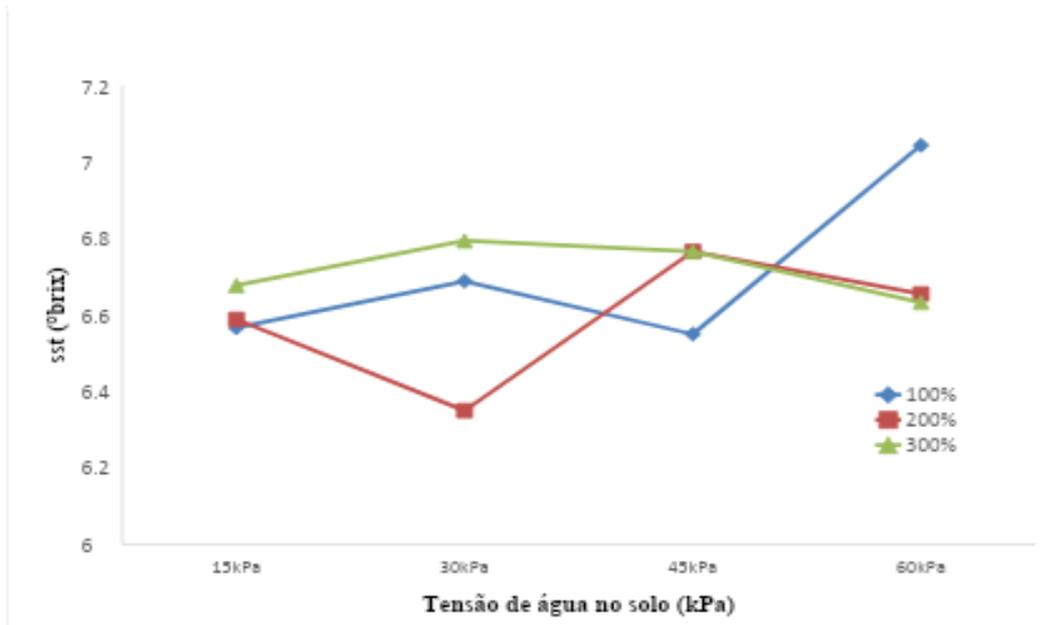
Os resultados deste estudo estão alinhados com dados da literatura. Vasconcelos et al. (2015) registraram valores de pH entre 4,84 e 5,97, enquanto Alves et al. (2017) e Mendonça et al. (2020) observaram faixas entre 5,02–5,19 e 4,25–5,67, respectivamente. Esses valores refletem a influência da fertilização e da idade do fruto no pH, como também discutido por Aragão et al. (2001), que reportaram aumentos no pH da água de coco durante o desenvolvimento do fruto.

3.3.2 Sólidos solúveis totais

Os sólidos solúveis totais (SST), expressos como Brix, são um indicador crítico da qualidade sensorial e nutricional da água de coco, influenciando diretamente o sabor e a aceitação do produto pelo consumidor. Os valores de Brix aceitáveis para consumo geralmente variam entre 4,5 e 7,5, conforme estabelecido por estudos como os de Martins et al. (2018) e Azevedo et al. (2006), que destacam a faixa ideal para percepção de doçura e equilíbrio de sabores (figura 14).

Os resultados desta pesquisa indicaram uma variação nos valores de Brix entre 5,21 e 6,84, dependendo das condições de fertilização e irrigação. Esses valores estão dentro dos limites recomendados pela literatura e são consistentes com os padrões de qualidade do mercado. O tratamento com 300% de fertilização e tensão moderada de 30 kPa apresentou os maiores valores médios de Brix, alcançando 6,8, refletindo um incremento significativo na concentração de sólidos solúveis. Por outro lado, condições de tensão baixa (15 kPa) resultaram em diluição do Brix, com valores médios reduzidos em até 15% em comparação às tensões moderadas, alcançando o limite inferior de 5,2.

FIGURA 14. Sólidos solúveis totais (°brix) em função das porcentagens de fertirrigação e tensões de água no solo



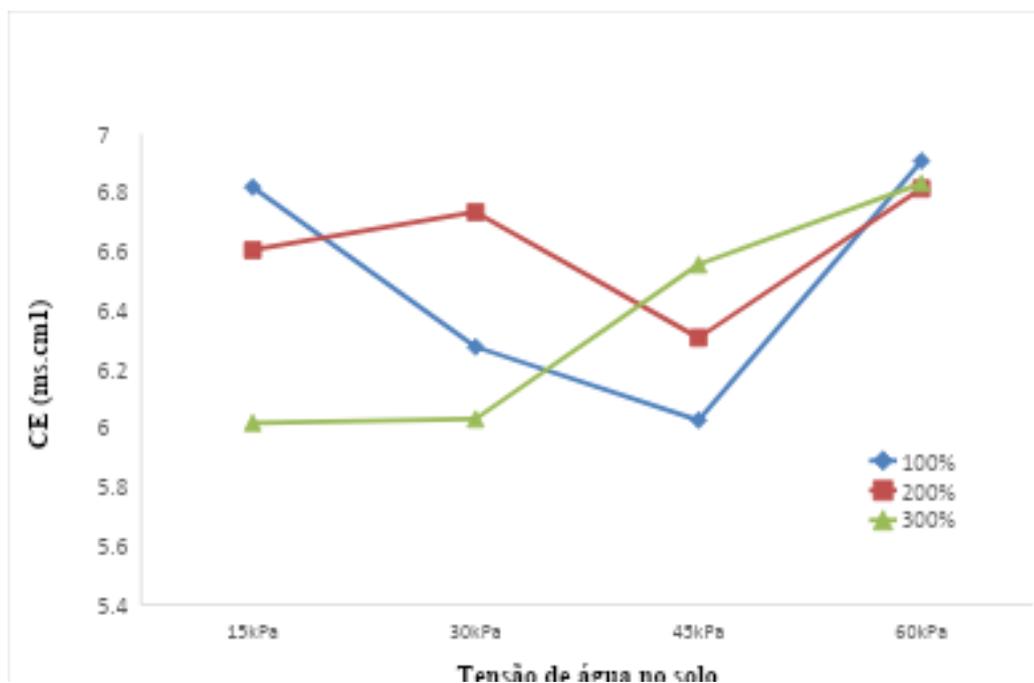
Fonte: Autor

Em situações de alta tensão (>45 kPa), os valores de Brix apresentaram redução em função do estresse hídrico, que limita o transporte de carboidratos e a concentração de metabólitos no fruto, alcançando valores médios próximos a 5,4. Os valores observados neste estudo são consistentes com pesquisas anteriores conduzidas em condições climáticas e edafológicas similares. Autores como, Martins et al. (2018), relataram valores de Brix entre 5,0 e 6,9 em estudos com diferentes cultivares de coqueiro anão verde, destacando a influência da maturação do fruto e do manejo nutricional na concentração de açúcares. Azevedo et al. (2006), observaram faixas de Brix variando de 4,8 a 6,7, correlacionando o aumento do Brix à aplicação de fertilizantes ricos em potássio, o que potencializa o transporte e a acumulação de açúcares nos frutos. Aroucha et al. (2014), identificaram valores médios de Brix próximos a 6,5 em experimentos com manejo integrado de irrigação e fertirrigação, corroborando a relevância de condições hídricas controladas para maximizar a qualidade sensorial. Ferreira Neto (2005), reportou aumentos significativos no Brix, alcançando valores acima de 6,8 em condições de fertirrigação com alta disponibilidade de potássio, confirmando a eficiência desse nutriente em elevar os sólidos solúveis na água de coco.

3.3.3 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) da água de coco é um parâmetro crucial para avaliar a qualidade química e sensorial, pois reflete diretamente a concentração de íons, açúcares e ácidos presentes no fruto. Durante o período deste estudo, foi observada uma variação significativa da CE em função dos fatores de irrigação e fertilização, com valores registrados entre 6,29 e 6,89 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ nos tratamentos com tensões críticas de 15 kPa (Figura 15). Estes resultados são consistentes com os de Ferreira et al. (2007), que também relataram aumentos significativos da CE sob tensões hídricas críticas, confirmando a relação direta entre o manejo hídrico e as propriedades químicas da água de coco.

FIGURA 15. Condutividade elétrica ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) em função dos níveis de fertirrigação e tensões de água no solo



Fonte: Autor

As doses crescentes de fertilizantes (100%, 200% e 300%) e as tensões moderadas de água no solo (30–45 kPa) proporcionaram os maiores valores de CE, com picos de até 6,89 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ nos tratamentos com 300% de fertilização. Este comportamento pode ser atribuído ao maior aporte de nutrientes, como potássio e magnésio, que são responsáveis por aumentar a concentração de minerais dissolvidos na água de coco. Câmara (2016) relatou resultados similares, destacando a influência do manejo nutricional no aumento da CE. Por

outro lado, tensões mais elevadas (>60 kPa) reduziram a CE devido à restrição hídrica, que comprometeu a absorção e o transporte de nutrientes pelo sistema radicular.

A interação entre fertilização e tensão de água foi altamente significativa, indicando que a eficiência dos nutrientes aplicados é maximizada em condições de umidade controlada, particularmente em tensões moderadas (30 kPa). Esses resultados corroboram os achados de Aviz (2021) e Santos et al. (2020), que enfatizam que níveis adequados de irrigação facilitam o transporte de íons e promovem um equilíbrio químico mais estável. Essa interação reforça a necessidade de um manejo integrado de fertirrigação para otimizar a qualidade química e sensorial da água de coco.

Os valores observados neste estudo estão dentro dos padrões relatados na literatura para água de coco em condições ideais de manejo. Estudos como os de Câmara et al. (2021) e Kannangara et al. (2018) relataram valores médios de CE entre 6,0 e 7,2 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, destacando variações associadas à maturidade do fruto e ao manejo nutricional. A maior CE encontrada nos tratamentos com 300% de fertilização em tensões de 30 kPa reforça o impacto do manejo otimizado na maximização da concentração de minerais, enquanto valores mais baixos (<6,4 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) observados em tensões de 60 kPa evidenciam a limitação hídrica.

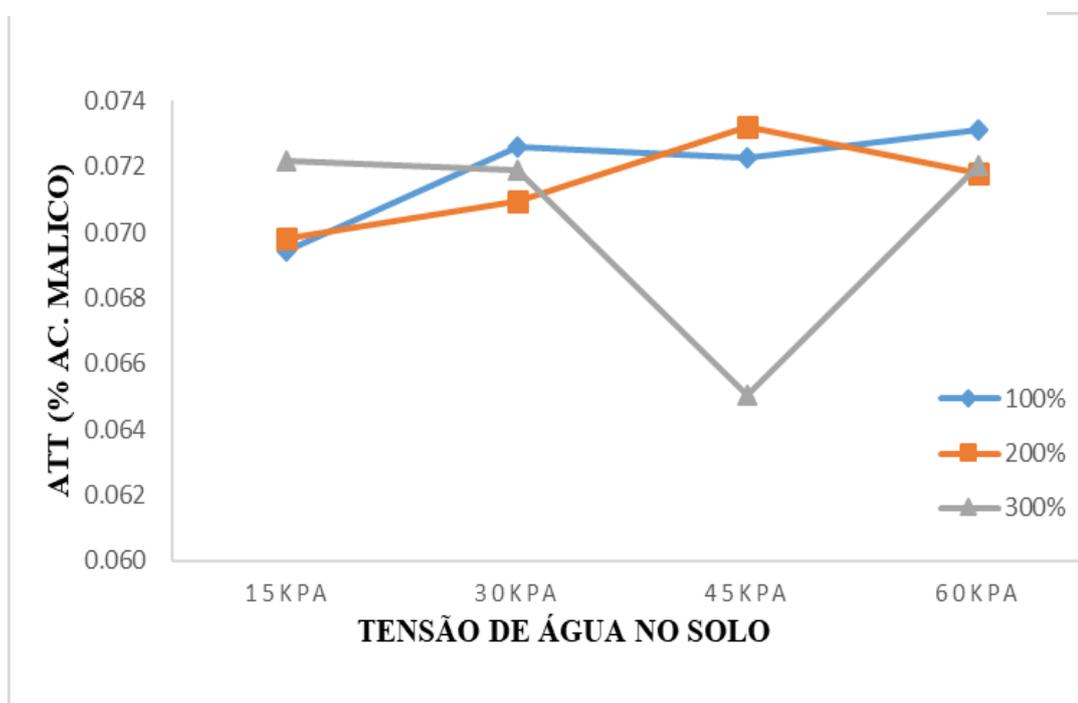
Os dados também apontam que a presença de nitrogênio é um fator crítico para a CE, especialmente em tensões extremas (60 kPa), onde a baixa eficiência de absorção reduz a concentração de íons dissolvidos. Comparando-se os tratamentos de 100% e 300% de fertilização, a CE apresentou um incremento médio de 10% a 15% nos tratamentos com maior fertilização, evidenciando a importância de níveis adequados de nutrientes para otimizar a qualidade do produto.

Os valores obtidos estão em consonância com estudos semelhantes com Ferreira et al. (2007), reportaram valores médios de CE entre 6,2 e 6,8 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, com aumento significativo em condições de maior aporte de nutrientes. Miguel Ferreira Neto (2005), observou que a adubação potássica em altas doses eleva a CE devido ao aumento na concentração de minerais dissolvidos, confirmando o impacto direto do manejo nutricional. Câmara et al. (2021), relataram variações de CE relacionadas à maturação do fruto, com picos de até 7,2 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ em frutos mais jovens e manejo hídrico controlado.

3.3.4 Acidez Total Titulável (ATT)

A análise de variância (ANOVA) confirmou a significância estatística tanto do fator fertilizante quanto da interação entre fertilização e regime hídrico sobre os valores de ATT. Os tratamentos com alta fertilização (300%) combinados com tensões moderadas de água no solo (30–45 kPa) resultaram nos maiores valores de ATT, sugerindo que essas condições favorecem a absorção e a metabolização eficiente de nutrientes pela planta. Este padrão corrobora estudos de Câmara (2016), que apontaram a relação positiva entre doses adequadas de potássio e um perfil químico mais equilibrado na água de coco.

FIGURA 16. Acidez total titulável (ATT % ácido málico) em função dos níveis de fertirrigação e tensões de água no solo



Fonte: Autor

Os valores médios de ATT variaram entre 0,061 e 0,075 g·100 mL⁻¹, dependendo das condições experimentais. Os maiores valores foram observados nos tratamentos com fertilização de 300% e tensões de 30 kPa, indicando uma maior concentração de ácidos orgânicos sob condições de manejo ideais. Por outro lado, tensões mais elevadas (>45 kPa) limitaram a eficiência na absorção de nutrientes, resultando em ATT reduzida, com médias próximas a 0,065 g·100 mL⁻¹. Já as tensões mais baixas (15 kPa) causaram diluição significativa dos ácidos orgânicos, resultando nos menores valores de ATT.

Esses resultados confirmam o impacto combinado do regime hídrico e do fornecimento de nutrientes sobre o perfil químico da água de coco. Estudos como os de Aviz (2021) demonstram que tensões muito altas comprometem o transporte de nutrientes, enquanto tensões muito baixas favorecem a lixiviação de elementos essenciais, como nitrogênio, reduzindo sua eficiência.

O nitrogênio, apesar de ser um nutriente essencial para o metabolismo da planta, apresentou eficiência limitada em condições de tensões extremas. Em tensões de 15 kPa, o excesso de água causou lixiviação significativa de nitrogênio, reduzindo sua disponibilidade para a planta e resultando em uma queda de até 12% nos valores de ATT em comparação às tensões de 30 kPa. Em contrapartida, em tensões de 60 kPa, a restrição hídrica prejudicou o transporte e a assimilação de nitrogênio, limitando seu impacto na ATT. As diferenças nos valores de ATT entre os tratamentos com 100% e 300% de fertilização foram notáveis, com um incremento médio de 15% a 20% na ATT em condições de maior aporte de nutrientes e manejo hídrico adequado.

Os resultados obtidos estão alinhados com pesquisas anteriores, destacando a relevância do manejo nutricional e hídrico para a ATT. Câmara (2016), relatou ATT variando entre 0,062 e 0,076 g·100 mL⁻¹, destacando o papel do potássio no aumento da concentração de ácidos orgânicos. Ferreira Neto (2005), observou que o manejo de fertilização e irrigação influencia diretamente a ATT, sugerindo que tensões moderadas promovem o equilíbrio ácido-base na água de coco. Aviz (2021), confirmou a necessidade de condições hídricas ideais para otimizar a absorção de nutrientes e evitar a diluição ou redução da ATT.

3.3.5 Relação entre Brix e ATT

A análise da relação entre Brix e ATT mostrou que tensões moderadas (30 kPa) resultaram em maior equilíbrio entre açúcares e acidez, promovendo características sensoriais favoráveis para o consumo de água de coco. Já em tensões extremas, observou-se desbalanço, com predomínio de acidez em 45 kPa e de açúcares em 60 kPa. Estudos como os de Cintra et al. (2009) reforçam que condições moderadas maximizam a qualidade sensorial, enquanto extremos podem comprometer a palatabilidade.

3.4 Conclusão

Os resultados deste estudo confirmam que as características físico-químicas da água de coco *in natura* estudada estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação brasileira.

No entanto, é importante considerar que essas características da água de coco podem alterar de acordo com os manejos agrícolas, a idade do fruto, a região de produção e com o período de colheita.

O manejo hídrico e nutricional tem impacto direto na qualidade da água de coco. As condições mais favoráveis foram observadas em tensões de 30 kPa e doses intermediárias de 200% NPK+Mg, que proporcionaram o melhor equilíbrio entre Brix e ATT, além de valores de pH e CE adequados para a qualidade do produto. Em tensões mais altas (45 e 60 kPa), a qualidade foi impactada por concentrações excessivas de solutos e ácidos, indicando que estratégias para mitigar o déficit hídrico são essenciais para manter a qualidade da água de coco em condições tropicais.

3.5 Referências

ARAGÃO, W. M., ISBERNER, I. V., CRUZ, E. M. O. **Água-de-coco**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001.

AROUCHA, E. M. M. *et al.* Análise físico-química e sensorial de água-de-coco em função de estágio de maturação das cultivares de coco anão verde e vermelho. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 10, n. 1, p. 33 - 38, 2014.

AVIZ, W. L. CARRERA. **Produção de coco verde (*cocos nucifera*, L.) submetido a manejo de irrigação por tensiometria e fertirrigação**. 2023. Tese de Doutorado. UFRA-Campus Belém.

AZEVEDO, B. M. *et al.* Efeito da frequência de irrigação na qualidade de frutos do coqueiro anão. **Irriga**, v. 11, n. 3, p. 280-292, 2006.

BRASIL. **Instrução Normativa MAPA nº 9, de 30 de janeiro de 2020**. Disponível em: <<https://in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-9-de-30-de-janeiro-de-2020-240823537>>.

CÂMARA, F. M. M. *et al.* Harvest timing and potassium doses on post-harvest quality of dwarf-green coconut water. **Comunicata Scientiae**, v. 12, 2021.

CARVALHO, J. M., MAIA, G. A., SOUSA, P. H. M., MAIA JR., G. A. Água-de-coco: propriedades nutricionais, funcionais e processamento. **Ciências Agrárias**, v. 27, n. 3, p. 437-452, 2006.

COELHO, E. F., COSTA, E. L. DA, BORGES, A. L., ANDRADE NETO, T. M. de, PINTO, J. M. Fertirrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 31, n. 259, p. 58-70, 2010.

FERREIRA NETO, M., HOLANDA, J.S., FOLEGATTI, M.V., GHEYI, H.R., PEREIRA, W.E., CAVALCANTE, L.F. Qualidade de fruto de coqueiro anão verde em função de nitrogênio e potássio na fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 11: 453-458, 2007.

FROEHLICH, A. Água de coco: aspectos nutricionais, microbiológicos e de conservação. **Saúde e Pesquisa**, v. 8, n. 1, p. 175-181, 2005. Doi: <https://doi.org/10.17765/1983-1870.2015.v8n1p175-181>.

IBGE. **Indicadores**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistematico-da-producao-agricola.html?&t=resultado>. Acesso em: 10 ago. 2023.

IMAIZUMI, V. M., BRUNELLI, L. T., SARTORI, M. M. P., VENTURINI FILHO, W. G. Análise físico-química e energética de água de coco *in natura* e industrializada. **Energia na Agricultura**, v. 31, n. 3, p. 298-304, 2016. Doi: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2016v31n3p298-304>

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p.

JACKSON, J. C. *et al.* Changes in chemical composition of coconut (*Cocos nucifera* L.) water during maturation of the fruit. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, v.9, p.1049-1052, 2004.

KANNANGARA, A. C., CHANDRAJITH, V. G. G., RANAWEERA, K. K. D. S. Comparative analysis of coconut water in four different maturity stages. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, 7, 1814-1817 p., 2018.

MARTINS, C. R., FONTES, H. R., ARAGÃO, W. M. Colheita, armazenamento e transporte. *In*: FERREIRA, J. M. S., WARWICK, D. R. N., SIQUEIRA, L. A (org.). **A cultura do coqueiro no Brasil**, Brasília - DF: Embrapa, 2018.

MARTINS, C.R., LA JESUS JR. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama 2014**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2013.

MEDEIROS, M. B. C. L. *et al.* **Fisiologia e produção do coqueiro (Cocos nucifera, L.) submetido a irrigação e fertirrigação no Nordeste Paraense.** 2023. Tese de Doutorado. UFRA-Campus Belém.

MENDONÇA, L. P., MELO, E. C. C., MACEDO, R. C. B. S., FREIRE, B. C. F., SANTANA, F. E. O., SOARES, K. M. P. Caracterização microbiológica, físico-química e de rotulagem de águas de coco envasadas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e273985299, 2020. Doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5299>.

MIRANDA, F. R. de, NOGUEIRA, L. C., AMORIM, J. R. A. de. Fertirrigação. *In*: FERREIRA, J. M. S., WARWICK, D. R. N., SIQUEIRA, L. A. **A cultura do coqueiro no Brasil**, Brasília - DF: Embrapa, 2018.

NERY, M. V. S., BEZERRA, V. S., LOBATO, M. S. A. Avaliação físico-química de coco anão cultivado no Estado do Amapá. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 4, n. 1, p. 45-51, 2002.

PINHEIRO, A. M., MACHADO, P. H., COSTA, J. M. C., MAIA, G. A., FERNANDES, A. G., RODRIGUES, M. C. P., HERNANDEZ, F. F. H. Caracterização química, físico-química, microbiológica e sensorial de diferentes marcas de água de coco obtidas pelo processo asséptico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 2, p. 209-214, 2005.

SILVA, L. R., BARRETO, N. D. S., MENDONÇA, V., BRAGA, T. R. Características físicas e físico-químicas da água de frutos de coqueiro anão verde. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 7, n. 2, p. 1022-1032, 2013. Doi: <https://doi.org/10.3895/S1981-36862013000200002>

CONCLUSÕES GERAIS

O experimento realizado na fazenda reunidas durante o período de janeiro de 2022 a dezembro de 2023, permitiu avaliar com precisão os efeitos de irrigação e fertilização sobre o desempenho produtivo e qualitativo do coqueiro-anão verde e foram obtidas as informações seguintes:

- Os dados demonstraram que o nível de 200% de NPK+Mg apresentou melhor desempenho produtivo, especialmente quando associado às tensões de 15 e 30 kPa. Essa combinação foi particularmente eficiente em maximizar a produtividade, indicando uma sinergia positiva entre a disponibilidade hídrica e a absorção de nutrientes. Já os níveis de 300% de fertilização não demonstraram ganhos significativos em comparação ao de 200%, sugerindo um limite de resposta fisiológica à aplicação de nutrientes.
- A qualidade dos frutos foi fortemente influenciada pelas tensões de água no solo. As condições de 45 e 60 kPa, caracterizadas por menor disponibilidade hídrica, resultaram em maior concentração de sólidos solúveis (Brix) e maior condutividade elétrica na água de coco, evidenciando um efeito de concentração resultante do estresse hídrico. No entanto, essas tensões mais elevadas comprometeram a produtividade geral, reforçando a importância de condições hídricas intermediárias (30 kPa) para o equilíbrio entre qualidade e quantidade. Notou-se que, sob tensões mais baixas (15 kPa), a qualidade da água de coco foi ligeiramente inferior, possivelmente devido à diluição dos sólidos solúveis em decorrência do maior acúmulo de água nos frutos.
- Os teores de nutrientes nas folhas refletiram diretamente os níveis de fertirrigação, com maiores concentrações de nitrogênio (N), potássio (K) e magnésio (Mg) associados aos níveis de 200% e 300% de NPK+Mg. Contudo, a eficiência de uso desses nutrientes foi reduzida sob tensões de 45 e 60 kPa, indicando que o estresse hídrico compromete a absorção radicular. A tensão de 30 kPa destacou-se novamente como a condição ideal para otimizar o balanço entre disponibilidade hídrica e absorção eficiente de nutrientes, maximizando os efeitos da fertirrigação.

Conclui-se que o manejo ideal para o coqueiro-anão verde consiste na aplicação de 200% de NPK+Mg associada a uma tensão de 30 kPa, que promoveu maior produtividade, eficiência nutricional e qualidade da água de coco. Esse manejo também se mostrou sustentável, otimizando o uso de recursos hídricos e fertilizantes. Em contrapartida, as condições de 15 kPa, embora promovam alta produtividade, podem ser menos viáveis em termos de sustentabilidade devido ao elevado consumo de água.