

MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

IMPACTO DAS LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO ESTADO NUTRICIONAL, NA DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES NO SOLO E NA POPULAÇÃO DE NAMATÓIDES E DE MICORRIZAS EM UM POMAR DE COQUEIRO ANÃO- VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUI (AveBrJ) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

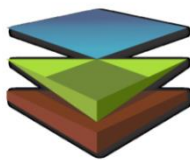
ARQUIMEDES FERREIRA FARIA

Serrinha - Bahia - Brasil - 2024



INSTITUTO FEDERAL

Baiano
Campus Serrinha



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO
CAMPUS SERRINHA
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

ARQUIMEDES FERREIRA FARIA

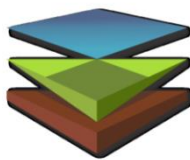
**IMPACTO DAS LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO ESTADO NUTRICIONAL, NA
DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES NO SOLO E NA POPULAÇÃO DE
NEMATOIDES E DE MICORRIZAS EM UM POMAR DE COQUEIRO ANÃO-
VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
Baiano, *campus* Serrinha, como parte das exigências
do Curso de Mestrado Profissional em Ciências
Ambientais, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Welson Lima Simões

Coorientadora: Dra. Jucicléia Soares da Silva

SERRINHA
BAHIA – BRASIL
2024



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO
CAMPUS SERRINHA
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Ricardo Santos do Carmo Reis - CRB – 5ª / 1649

Faria, Arquimedes Ferreira

F224i Impacto nas lâminas de irrigação no estado nutricional, na distribuição dos nutrientes no solo e na população de nematoides e de micorrizas em um pomar de coqueiro Anão-verde-do-Brasil-de-Jiqui (AveBrJ) no semiárido brasileiro/ Arquimedes Ferreira Faria.- Serrinha, Ba, 2024.

77 p.; il.: color.

Inclui bibliografia.

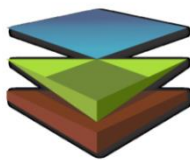
Dissertação (Mestrado Profissional em Ciências Ambientais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano – Campus Serrinha.

Orientador: Prof. Dr. Welson Lima Simões.

Coorientadora: Profa. Dra. Jucicléia Soares da Silva.

1. Cocos nucifera L.. 2. Nutrição de plantas. 3. Recursos naturais. 4. Microfauna. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano. II. Simões, Welson Lima (Orient.). III. Silva, Jucicléia Soares da Silva (Coorient.). IV. Título.

CDU: 634.616




INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO *CAMPUS*
SERRINHA
MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS


**IMPACTO DAS LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO ESTADO NUTRICIONAL, NA
DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES NO SOLO E NA POPULAÇÃO DE
NEMATÓIDES E DE MICORRIZAS EM UM POMAR DE COQUEIRO ANÃO-
VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**Comissão examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado do
discente Arquimedes Ferreira Faria**


Aprovado em 23 de agosto de 2024

Documento assinado digitalmente
 **WELSON LIMA SIMÕES**
Data: 19/12/2024 18:21:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dr. Welson Lima Simões
Embrapa Semiárido
(Presidente - Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **ALESSANDRA MONTEIRO SALVIANO**
Data: 19/12/2024 20:39:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

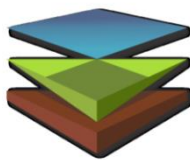
**Dra. Alessandra Monteiro Salviano Embrapa
solos**
(Examinadora Externa)

Documento assinado digitalmente
 **DELFRAN BATISTA DOS SANTOS**
Data: 19/12/2024 19:43:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Dr. Delfran Batista dos Santos IF
Baiano – *Campus* Serrinha**
(Examinador Interno)

Documento assinado digitalmente
 **JUCICLEIA SOARES DA SILVA**
Data: 19/12/2024 20:50:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Jucicléia Soares da Silva
Embrapa Semiárido
(Examinadora Externa)



AGRADECIMENTOS

Agradeço e louvo a Deus, Senhor de todas as coisas. Ele que me proporcionou chegar até aqui, sem Ele nada seria possível.

Agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano Campus Serrinha e ao programa de Mestrado Profissional em Ciências Ambientais por todo apoio e aprendizado gerado durante esses dois anos de curso.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pelo apoio, criação e manutenção dos Programas de Pós-graduação na modalidade Profissional.

Agradeço a minha querida família, minha amada esposa Carla Fabiane L. de S. Faria, meu querido filho João Rafael Santana de Faria, que me apoiaram e incentivaram na realização dessa conquista.

Aos meus queridos pais, Clementino Marcos Batista de Faria e Maria da Gloria Ferreira Faria, que nunca mediram esforços para que eu pudesse estudar.

Agradeço especialmente, ao meu orientador, Dr. Welson Lima Simões, registro aqui o meu muito obrigado pela confiança que o senhor depositou em mim, obrigado por acreditar que eu conseguiria. Obrigado por cada ensinamento, cada palavra, conselho, pela amizade e pelo importante apoio quando mais precisei. O senhor fez toda a diferença nesse sonho realizado.

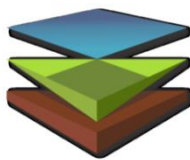
Quero agradecer também a grande contribuição do meu amigo Péricles Souza de Carvalho, que tanto me incentivou, ajudou, me encorajou, e me fez acreditar que eu era capaz de fazer e concluir esse desafio.

Gostaria de agradecer também a Dra. Alessandra Monteiro Salviano e Maryluce Campos, por toda contribuição que me foi dado, durante a realização do trabalho de tese.

A EMBRAPA Semiárido, os estagiários do laboratório de solo e de irrigação, por todo o apoio e suporte técnico que deram aos trabalhos da pesquisa.

Por fim, agradeço a cada um, que contribuiu de forma direta ou indireta para que eu conseguisse chegar até aqui.

Um trabalho como esse não seria possível realizar sem a contribuição de todos.
Meu muitíssimo obrigado.

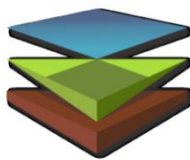


IMPACTO DAS LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO ESTADO NUTRICIONAL, NA DISTRIBUIÇÃO DOS NUTRIENTES NO SOLO E NA POPULAÇÃO DE NEMATOIDES E DE MICORRIZAS EM UM POMAR DE COQUEIRO ANÃO-VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos das lâminas de irrigação na absorção de nutrientes pela planta, na distribuição dos mesmos no perfil do solo e na população de nematoides e de micorrizas em um pomar cultivado com o coqueiro anão-verde-do-Brasil-de-Jiquei no Semiárido brasileiro. O experimento foi conduzido na zona rural do município de Paulo Afonso-Ba, de abril de 2022 a setembro de 2023. Os tratamentos foram compostos por quatro lâminas de irrigação (60; 80; 100 e 120% da evapotranspiração da cultura – ET_c), dispostos no delineamento experimental em blocos casualizados com 6 repetições. Cada parcela experimental foi composta por quatro plantas, sendo as duas centrais consideradas plantas úteis. O sistema de irrigação utilizado foi a microaspersão. Monitorou-se a umidade no perfil do solo com baterias de tensiômetros instalados nas camadas de 0-20; 20-40, 40-60 e 60-80 cm. A absorção de nutrientes pela planta foi avaliada com as coletas de folíolos das folhas número 14. Coletou-se amostras de solo nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm para avaliar a distribuição de nutrientes no perfil do solo e na camada de 0-20 cm para avaliar a população de nematoides e de micorrizas. As lâminas de irrigação alteram a disponibilidade do potássio, do cálcio, do magnésio e do cobre do solo e a distribuição do sódio, do manganês e do cobre no perfil do mesmo. O aumento da lâmina de irrigação até 120% da ET_c facilita a absorção do fósforo pelo coqueiro. A lâmina de irrigação de 104% da ET_c proporciona a maior densidade dos glomerosporos no solo e as de 88 e 120 % da ET_c proporcionam as maiores populações dos nematoides Bacterívoros e Fungívoros, respectivamente, num solo cultivado com coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ).

Palavra-chave: *Cocos nucifera* L.. Nutrição de plantas. Recursos naturais. Microfauna.



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	9
2.1 CULTIVO DO COQUEIRO IRRIGADO.....	10
2.2 MANEJO DA IRRIGAÇÃO DO COQUEIRO	13
2.3 CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL.....	16
2.4 SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS NATURAIS.....	18
2.5 DISPONIBILIDADE DOS NUTRIENTES PARA AS PLANTAS	18
2.6 MOVIMENTO DOS NUTRIENTES NO SOLO E NA PLANTA.....	21
2.7 DINÂMICA DOS ORGANISMOS E QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO	26
2.8 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES.....	28
2.9 NEMATÓIDES NO SOLO.....	29
3. OBJETIVO GERAL.....	31
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	34
4.3 VARIÁVEIS ANALISADAS	37
4.4 ANÁLISE DOS DADOS	40
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1 FERTILIDADE DO SOLO	41
5.2 TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE COQUEIRO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO	50
5.3 AVALIAÇÃO PELA ESTATÍSTICA MULTIVARIADA.....	52
5.4 MICROORGANISMOS DO SOLO	60
5.4.1 Nematofauna no solo	60
5.4.2 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA)	62
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
7. CONCLUSÕES.....	65
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1. INTRODUÇÃO

O coqueiro é uma cultura que possui uma grande importância social e econômica. De acordo com os dados da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2022), o Brasil produziu cerca de 2,46 milhões de toneladas de coco, sendo o quarto maior produtor mundial do fruto, atrás da Índia (14,30 milhões), das Filipinas (14,72 milhões) e da Indonésia (17,16 milhões). O Brasil é o maior produtor mundial de coco verde para consumo de água do fruto e o Nordeste contribui com cerca de 85,6% da produção nacional da cultura, com área plantada de aproximadamente 280.835 ha (Embrapa, 2022).

No Brasil, o coqueiro anão floresce e frutifica o ano todo, com pico de consumo dos frutos verdes no verão. Dessa forma, é muito utilizado para produção e consumo in natura e agroindustrial da água do coco verde, apresentando uma qualidade sensorial e sabor mais elevado do que os coqueiros híbridos e gigantes. Além disso, apresenta elevados teores de minerais, dentre eles o potássio, baixo valor calórico, como também é pobre em colesterol (Silva, 2020).

O coqueiro é considerado uma das frutíferas com maior consumo de água na sua irrigação, uma vez que, iniciada a fase de produção, a planta permanece durante todo o ano com inflorescências e frutos em desenvolvimento, fases estas em que há maior demanda hídrica e maior sensibilidade aos efeitos do déficit hídrico no solo. Dependendo das condições climáticas, plantas de coqueiro anão em produção podem apresentar consumos de água da ordem de 100 a 240 L planta⁻¹ dia⁻¹. No entanto, há relatos de produtores de coco utilizando volumes diários de irrigação de até 350 L planta⁻¹ dia⁻¹ (Miranda, 2019).

Nos últimos anos tem havido redução da disponibilidade de água para a irrigação em várias regiões onde o cultivo do coqueiro é uma atividade econômica importante, a exemplo da região litorânea do Ceará (Vale do Curu e Vale do Acaraú), do Perímetro Irrigado de São Gonçalo, em Sousa-PB e do Vale do São Francisco. Essa tendência é corroborada pelas previsões de mudanças climáticas para a região Nordeste do Brasil, cujos cenários apontam para aumentos de temperatura e do consumo de água das culturas e redução das precipitações (Miranda, 2019).

No Nordeste, o uso de sistemas de irrigação no coqueiro com menores perdas de água e com maior uniformidade de aplicação e a adoção de estratégias de irrigação

com leve ou moderado déficit estão entre as principais opções de aumentar a eficiência de uso da água na agricultura irrigada (Gomes do Ó *et al.*, 2017), indicando uma grande demanda de pesquisa para região.

Dentre os principais fatores responsáveis pela produtividade do coqueiro, o equilíbrio nutricional é fundamental, pois em um coqueiro em produção há a ocorrência de todos os estágios de frutificação de forma simultânea, por isso, é necessário que cada nutriente deva estar disponível na solução do solo em quantidades e proporções adequadas. A não observância dos desequilíbrios nutricionais existentes refletirá diretamente na produtividade e na qualidade dos frutos (Santos, 2018). Assim, o manejo correto da irrigação se torna uma pedra fundamental para uma melhor disponibilidade de nutrientes no solo e uma boa absorção pelas plantas.

O solo, enquanto componente essencial para a manutenção dos ecossistemas, possui papel preponderante quanto à avaliação e quantificação para o seu uso e manejo adequado, sobretudo no que tange à produtividade de culturas agrícolas. Nesse sentido, torna-se necessária a avaliação da diversidade microbiana do solo, uma vez que se mostra como forte indicador de ciclagem de nutrientes, fertilidade, mineralização, exercendo, igualmente, funções na decomposição de matéria orgânica, como as cascas de coco, subproduto da cultura do coqueiro (Sousa *et al.*, 2022).

A maioria das plantas vasculares utilizam associações com micorrizas como estratégias para aumentar a área de absorção de água e nutrientes (Hara *et al.*, 2021). No entanto, os fatores ambientais, como a precipitação pluviométrica, e os antrópicos, como o manejo inadequado da irrigação, podem alterar a dinâmica no estabelecimento dessa associação.

Neste contexto, deve-se considerar que o manejo adequado da irrigação nos perímetros irrigados do Nordeste é uma ferramenta fundamental para um cultivo sustentável das culturas, tanto do ponto de vista econômico, quanto social e ambiental.

Portanto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito das lâminas de irrigação na qualidade química e microbiológica do solo e nos teores foliares de nutrientes do coqueiro anão-verde-do-Brasil-de-Jiqui, no Semiárido Brasileiro.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil é o maior produtor mundial de coco verde para consumo de água do fruto. Em relação às variedades encontradas no Brasil, tem-se duas utilizadas para fins comerciais: *Cocos nucifera* var. *typica* (coqueiro-gigante) e *Cocos nucifera* var. *nana* (coqueiro-anão). Nos países produtores do fruto, o coqueiro-anão perde a visibilidade comercial, sendo utilizada, principalmente, em programas de melhoramento genético. Entretanto, no Brasil, a variedade apresenta destaque na produção de água de coco, devido à superioridade das suas características sensoriais (Embrapa, 2022).

O Nordeste brasileiro contribui com cerca de 85,6% da produção nacional da cultura, com área plantada de aproximadamente 280.835 ha (Neto, 2022). A segunda maior área de coco está na região Norte, onde prevalece a variedade híbrida. Nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, a variedade mais plantada é do coqueiro-anão, destinado à produção de água; a Sudeste é a segunda maior em produção, em função do maior rendimento (15.503 frutos ha⁻¹); e a Centro-Oeste destaca-se por ter elevado rendimento (11.930 frutos ha⁻¹) e também por apresentar a maior produtividade, ou seja, o valor da produção em relação a área colhida (Brainer, 2021).

A Bahia é o segundo maior produtor nacional de coco, respondendo por 19,3% da área colhida e 17,6% da produção. Em função das elevadas perdas de área da Bahia (32,9 mil hectares – somente entre 2016 e 2020), a produção caiu 254,0 mil toneladas, perdendo a posição de maior produtor nacional, tanto em tamanho de área (em 2019), como em produção (em 2020) para o Ceará. As perdas de áreas devem-se aos períodos de seca, à substituição por variedades de coco mais produtivas ou substituição por outras frutícolas (Brainer, 2021).

Os municípios baianos de Rodelas, Glória e Paulo Afonso e de Petrolândia em Pernambuco, fazem parte do território de Itaparica, localizada no submédio do rio São Francisco, e se destacam no aumento da produção do coco-da-baía com 5064 ha plantados (Brainer, 2021). As condições climáticas, hídricas e de escoamento da produção favorável nessa região, tem atraído um número maior de agricultores para o desenvolvimento desta cultura irrigada.

No Brasil, o coqueiro anão floresce e frutifica o ano todo, com pico de consumo dos frutos verdes no verão. Dessa forma, é muito utilizado para produção e consumo in natura e agroindustrial da água de coco verde, apresentando uma qualidade

sensorial e sabor mais elevado do que os coqueiros híbridos e gigantes, além de possuir elevados teores de minerais, como o potássio, e ser de baixo valor calórico e pobre em colesterol (Silva, 2020).

Segundo Martins e Jesus Junior (2011), cerca de 90% da produção mundial de coco é oriunda de pequenos agricultores, com áreas de até 5 hectares. No Brasil esse fator é de cerca de 70%, explorados em propriedades de até 10 hectares. Desse modo, a cultura do coqueiro pode ser considerada tipicamente de pequenos produtores ou agricultores familiares, reforçando a função social dessa cultura (Silva, 2020).

Observa-se que houve um aumento da produtividade e da produção nos últimos anos, passando de 13,2% para um patamar de produção e produtividade de respectivamente, 143,2 e 120,8% entre os anos de 1990 e 2022. Isso aconteceu devido a introdução de novos plantios da variedade coqueiro Anão Verde e híbridos Anão x Gigante, com utilização intensiva de insumos e tecnologia de irrigação (FAO, 2022).

2.1 CULTIVO DO COQUEIRO IRRIGADO

A variedade de coqueiro Anão Verde do Jiqui apresenta desenvolvimento radicular inferior ao de outras variedades, como do coqueiro gigante, em termos de volume de raízes e profundidade do sistema radicular, sendo consequentemente menos adaptada a déficit hídrico no solo. Desde o primeiro ano de cultivo até a fase adulta, mais de 80% das raízes absorventes do coqueiro anão irrigado estão concentradas até 0,6 m de profundidade. Na sua fase adulta, embora o sistema radicular do coqueiro possa alcançar profundidades maiores, 80% das raízes absorventes encontram-se até 1,8 m do tronco, aos cinco anos de idade (Araújo, 2019).

A quantidade de água necessária ao coqueiro depende de vários fatores relacionados à planta e ao ambiente. Fatores climáticos, como radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento devem ser considerados. Em relação ao solo, deve-se observar sua classificação (tipo) e o teor de umidade. Quanto à planta, deve-se considerar a idade, volume da copa, estado nutricional e rendimento. Em relação ao sistema de irrigação, deve-se avaliar sua eficiência e o tamanho da área molhada (Benassi; Fanton e Santana, 2013).

Inúmeros trabalhos mostram a melhoria dos sistemas de produção e aumento na produtividade das culturas devido à adoção de técnicas agrícolas, tais como, irrigação, práticas conservacionistas, uso de culturas adaptadas às condições locais e o consórcio entre elas, a fim de um melhor aproveitamento dos recursos biofísicos (Wang *et al.*, 2018; Nascimento *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2019).

O projeto para a implantação de um cultivo irrigado deve atender a três considerações básicas: como, quando e quanto irrigar. Diversos sistemas de irrigação podem ser utilizados no cultivo do coqueiro. Irrigação por superfície, irrigação convencional ou localizada. Considerando a necessidade de melhor utilizar os recursos naturais, a irrigação localizada é a mais indicada (Cuenca, 2007).

Sempre que for possível e economicamente viável, deve-se utilizar dois microaspersores por planta, com objetivo de aumentar a eficiência do processo pela ampliação da área a ser irrigada, pois o coqueiro requer grande volume de água (Benassi; Fanton e Santana, 2013).

A infiltração de água no solo diz respeito ao processo em que a água atravessa a superfície do solo em forma vertical e esse conhecimento é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e da aeração do solo (Andrade e Andrade, 2021).

As estimativas de cálculos e coeficientes utilizadas para a determinação da irrigação, frequentemente são importadas de outras localidades e, conseqüentemente, nem sempre bem ajustadas às condições de solo, clima e desenvolvimento da planta no local de cultivo. Os erros resultantes podem ser cumulativos e levar à deficiência hídrica ou excesso de irrigação. Assim, recomenda-se que seja utilizado o monitoramento da umidade do solo com o uso de aparelhos, como os tensiômetros (Benassi; Fanton e Santana, 2013).

Os tensiômetros geralmente são instalados, em pelo menos duas profundidades, a fim de se obter o teor de umidade no perfil do solo explorado pelo sistema radicular. No caso do coqueiro-anão, pode ser recomendada a instalação de três tensiômetros nas profundidades de 20 cm, 40 cm e 60 cm. Esse conjunto de tensiômetros pode ser instalado a uma distância de 0,8 a 1,20 m, em relação ao estipe do coqueiro (Benassi; Fanton e Santana, 2013).

Em várias regiões do estado do Ceará, indicam que, para coqueiros cultivados em solos arenosos, a tensão da água do solo entre as irrigações, medida pelo

tensiômetro deve variar entre 8 e 25 centibares. Para solos argilosos deve variar entre 25 e 50 centibares (Benassi; Fanton e Santana, 2013).

Quando a irrigação é realizada dentro dos padrões, seguindo corretamente a técnica, a mesma é capaz de aumentar a produtividade das áreas irrigadas em 2,5 a 3,0 vezes mais do que em áreas não irrigadas, valorizando a propriedade, permitindo uma maior eficiência dos fertilizantes, escalonamento de plantios, tratos culturais e colheitas. Portanto, deve-se ter claro que o uso da irrigação necessariamente induz ao aumento de tecnologias utilizadas na propriedade e que estas devem estar aliadas ao aumento da produtividade e a preservação do meio ambiente (Trombetta *et al.*, 2019).

Porém, tem-se observado que os agricultores não fazem o manejo da irrigação e quando fazem, ainda é inadequado, sem utilizar critérios técnicos. Tal fato ocorre, principalmente, devido as dificuldades de acesso a dados climáticos e de como utilizá-los na tomada de decisão de quando e quanto irrigar, além do desconhecimento dos critérios técnicos de demanda de água pela cultura do coqueiro e dos coeficientes do sistema de irrigação instalado (Silva, 2020).

Em quase todo o Brasil, são fortes as resistências quanto ao uso de qualquer método de manejo racional da água de irrigação. O baixo índice de adoção dessas tecnologias deve-se, segundo Marouelli *et al.* (2000), ao fato de os produtores acreditarem que são caras, complexas, trabalhosas e não proporcionam ganhos econômicos compensadores, ou seja, está relacionado a questões de ordem econômica e social.

O acesso do irrigante à tecnologia é ainda restrito, tanto pela falta de informação quanto pelo custo dos equipamentos e instrumentos destinados ao manejo. Em muitas regiões onde se pratica agricultura irrigada, o baixo nível de instrução dos irrigantes dificulta a implantação de estratégias mínimas de manejo. Acrescenta-se ainda o fato de que a água é barata ou sem custo e ainda tida como um recurso natural inesgotável. Nesse contexto, a prática da irrigação é desvinculada de técnicas de manejo reconhecidamente capazes de proporcionar aumentos de produtividade e racionalização do uso da água (Sousa *et al.*, 2011).

2.2 MANEJO DA IRRIGAÇÃO DO COQUEIRO

As necessidades hídricas do coqueiro dependem de vários fatores, tais como a idade da planta (altura e área foliar), o clima local (radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento), o teor de umidade do solo, o método de irrigação utilizado e o estado nutricional da planta. Esta palmeira é, em condições irrigadas, uma das maiores consumidoras de água, tornando-se oportuno, então, o conhecimento de suas reais necessidades hídricas, visando maximizar o uso da água (Sousa *et al.*, 2011). A utilização de medições diretas da evapotranspiração dessa palmeira, através de lísimetros ou por modelos micrometeorológicos, como o balanço de energia baseado na razão de Bowen, constitui-se numa ação imprescindível para o conhecimento das exigências hídricas do coqueiro (Sousa *et al.*, 2011).

O consumo de água do coqueiro varia com as condições ecológicas e a área foliar do dossel e difere entre os genótipos. O coqueiro, dependendo das condições climáticas locais, apresenta uma alta demanda hídrica ao longo do ano. Diferentemente da maioria das espécies frutíferas, uma vez iniciada a fase de produção, o coqueiro permanece com inflorescências e frutos em desenvolvimento em todos os meses do ano podendo apresentar consumos de água da ordem de 100 a 240 L planta⁻¹ dia⁻¹ e valores de coeficientes de cultivo (Kc) de 0,6 a 1,0 (Miranda *et al.*, 2007).

Plantas da mesma variedade e área foliar semelhante têm diferentes consumos de água em diferentes ambientes (Carlesso, 1995). Segundo o autor, os resultados de vários estudos sobre o consumo de água dos diferentes genótipos de coqueiro, sob distintas condições de cultivo e métodos de irrigação, levam à confusão. É altamente recomendável a realização de estudos, utilizando genótipos padrão, em condições climáticas específicas de cada local, para obter um melhor conhecimento da necessidade de água do coqueiro e as consequências do déficit hídrico, incluindo o desenvolvimento do sistema radicular em diferentes tipos de solo.

Na região litorânea do Ceará, Miranda *et al.* (2007) estimaram o valor de Kc do coqueiro anão de 1,0 na fase de florescimento e desenvolvimento dos frutos e Miranda e Gomes (2006) recomendam a aplicação de volumes de água de até 248 L dia⁻¹ na irrigação do coqueiro anão adulto nos meses de maior demanda evapotranspirométrica (setembro e outubro). No entanto, há evidências de que o Kc

do coqueiro varia entre regiões de climas distintos e na mesma região, sob condições climáticas diferentes ao longo do ano (Silva, 2020).

Cintra *et al.* (2009) avaliaram a aplicação, via microaspersão, de volumes de água de irrigação de 50; 100 e 150 L dia⁻¹ na produção do coqueiro anão em Neópolis-SE e constataram que tanto a produção de frutos por planta como o volume médio de água de coco por fruto aumentaram linearmente com o aumento do volume de água aplicado na irrigação. Com base em medidas da umidade do solo, os autores estimaram uma necessidade hídrica média por planta de 236 L dia⁻¹. No entanto, segundo os autores, ainda é necessário avaliar qual seria a lâmina de irrigação ideal do ponto de vista econômico.

Com relação à demanda de água da cultura do coqueiro, Miranda *et al.* (2007) definiram para a região litorânea do estado do Ceará que a evapotranspiração (ETc) do coqueiro variou de 0,51 mm d⁻¹ (25 L pl⁻¹ d⁻¹), aos 11 meses de idade, até um máximo de 5,01 mm d⁻¹ (244 L pl⁻¹ d⁻¹), aos 36 meses de idade. No quarto ano de cultivo, quando as plantas cobriam mais de 65% da superfície do solo, a ETc média do coqueiro foi de 3,86 mm d⁻¹, ou seja, um consumo médio de água de 188 L planta⁻¹ d⁻¹. Cintra *et al.* (2009), verificaram que volumes de água de irrigação inferior a 100 L planta⁻¹ d⁻¹ poderão comprometer a produção de frutos por planta e, em maior escala, o volume de água de coco por fruto, nas áreas de produção de coco do Platô de Neópolis, Sergipe.

O coqueiro anão apresenta maior consumo de água e menor tolerância ao estresse hídrico no solo em relação às variedades gigantes e aos híbridos. Plantas de coqueiro anão em produção, irrigadas por microaspersão, apresentam um consumo de água da ordem de 100 a 240 L planta⁻¹ dia⁻¹, dependendo das condições climáticas locais (Silva, 2020).

Observa-se, portanto, que se trata de uma cultura que demanda bastante água, requerendo técnicas de racionalização do uso. Neste contexto, a eficiência de uso e a melhoria na produtividade da água (relação entre produção física e volume de água aplicado) na agricultura irrigada torna-se essencial, diante dos impactos decorridos das mudanças climáticas, que projetam aumento de frequência de anos de seca e consequentemente redução da disponibilidade hídrica nos mananciais, com aumento de demanda para a irrigação na região Nordeste (Gondim *et al.*, 2018).

Miranda *et al.* (2019) constataram o manejo insatisfatório da irrigação nas propriedades monitoradas que é uma amostragem muito representativa da realidade

da grande maioria das propriedades produtoras de coco. O manejo da irrigação praticado pelos produtores, ora leva a uma aplicação excessiva de água, ora com déficit. A irrigação em excesso (23% acima do ideal) traz como consequência baixa eficiência de uso da água, resultando numa média de 2,7 frutos e 1,2 L de água de coco por m^{-3} de água aplicada. Teixeira *et al.* (2019) obtiveram médias de 1,9 fruto por m^{-3} de água aplicada e 0,8 L de água de coco por m^{-3} de água aplicada na cultura. Há, portanto, notória necessidade de aprimoramento do manejo da irrigação do coqueiro nas propriedades.

Para o cultivo agrícola, algumas características no solo são importantes de serem observadas, como as características físicas. A aeração do solo se destaca, pois, as raízes das plantas são muito sensíveis a falta do oxigênio, ocasionando asfixia radicular, menor crescimento vegetativo e surgimento de doenças fúngicas como *Phytophthora* ou *Fusarium*. Esses fenômenos ocorrem por alguns motivos, como o excesso de água no solo. Sobre a disponibilidade de oxigênio do solo, existe a taxa de difusão de oxigênio (TDO), esta taxa corresponde à capacidade do solo em permitir a difusão adequada de oxigênio na atmosfera até as raízes, estando relacionado também com a liberação de dióxido de carbono (Nordeste Rural, 2022).

O oxigênio é um elemento essencial para que a planta possa crescer, se desenvolver e manter seu metabolismo funcionando normalmente. Esse gás é obtido pela planta diretamente dos poros do solo e a camada porosa do solo sempre está preenchida com ar ou água, ou seja, sempre que ocorre a irrigação, seja por aspersão, gotejo superficial ou subterrâneo, a disponibilidade e a mobilidade do oxigênio reduzem. Deste modo, se a irrigação for exacerbada e gerar condições em que ocorra a falta de oxigênio, as atividades radiculares e o desempenho da planta podem diminuir dependendo do tempo de exposição e/ou do nível de estresse sofrido (Pes e Arenhardt, 2015).

A limitação de oxigênio pode causar diversos impactos nas plantas, como redução dos teores de clorofila, da condutância estomática e das taxas de transpiração das folhas, acarretando, conseqüentemente, reduções nas taxas fotossintéticas e na produtividade das plantas (Silva *et al.*, 2013).

Segundo Silva *et al.* (2007), o número de flores femininas cresce com o incremento positivo de 90% das lâminas de irrigação em relação a evaporação do tanque classe A e a produção expressa em biomassa cresce positivamente com o aumento das lâminas irrigação e reduz os níveis salinos. A interação dos níveis salinos

menores com as maiores lâminas de irrigação produz os maiores pesos de frutos registrados.

Em trabalho realizado por Silva (2020), observou-se que à medida que se reduziu a lâmina de irrigação, houve diminuição na média do número de frutos por plantas e a diminuição da produção de água de coco por fruto. A maior quantidade de frutos se deu nas plantas com a aplicação da lâmina de 100% da ETc, com 168 frutos por planta ao longo de 12 meses de colheita e um valor médio de 530,2 ml de água de coco por fruto. A irrigação com apenas 75% da ETc, reduziu a produção em 9% na quantidade de frutos e com 50% da ETc, reduziu a produtividade de frutos em 24% e o volume médio de água de coco por fruto ficou inferior a 300 ml, o que é indesejado pelas indústrias processadoras de água de coco.

Neste contexto, observa-se que o desafio da agricultura irrigada é aplicar água em quantidade e momento adequado, considerando o estágio fenológico da cultura, ou seja, em tempo real com elevada produtividade e eficiência (Araújo, 2017).

2.3 CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL

Com o aumento das áreas irrigadas surgem outras preocupações como a perda de nutrientes e a degradação dos recursos naturais principalmente ligados ao solo e a água. Tendo como foco a preocupação com a qualidade do meio ambiente, a água de irrigação utilizada na agricultura passa a ser um ponto importante, pois pode influenciar na contaminação tanto do solo como do lençol freático, o qual abastece de água as cidades e as residências no meio rural (Trombetta et al., 2019). Segundo Pereira et al. (2022), a irrigação agrícola é considerada um dos maiores responsáveis pela poluição dos lençóis freáticos levando em conta que os agroquímicos e fertilizantes são intensamente utilizados e, através da água da irrigação, os mesmos podem ser lixiviados ou por escoamento superficial serem carregados para os aquíferos ou mananciais superficiais.

A adoção de qualquer sistema de produção agrícola gera mudanças nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Do ponto de vista físico, a estrutura é um dos principais atributos do solo, importante principalmente no que tange à dinâmica da água e o crescimento vegetal. Esta propriedade do solo é a que mais sofre alteração quando realizado o uso e o manejo inadequado do mesmo, pela

diminuição da porosidade do solo e, conseqüentemente, redução na capacidade de armazenamento da água (Andrade e Andrade, 2021).

O excesso de água na irrigação pode proporcionar a lixiviação, determinando a perda de bases trocáveis da zona radicular para as camadas mais profundas do perfil do solo, podendo torná-los indisponíveis as culturas, e conseqüentemente, reduzir a produtividade por limitação nutricional. Assim, a lixiviação de íons provenientes da solução do solo ou de fertilizantes deve ser uma constante preocupação (Santos; Fageria e Zimmermann, 2002), principalmente sob condições irrigadas, onde esse efeito pode ser potencializado.

Solos submetidos a cultivos irrigados podem sofrer modificações químicas, físicas e biológicas. A intensidade destas modificações pode variar com a qualidade e quantidade de água aplicada (Faria *et al.*, 2009). De acordo com Wiethölted (1996), a adição de água acelera o processo de acidificação do solo, não só pela lixiviação de cátions de reação básica (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+), mas também pela intensificação do uso, promovendo a remoção desses cátions pelas culturas e pela adição de fertilizantes nitrogenados (principalmente amoniacais) que geram H^+ .

Com uma percepção direta dos problemas ambientais, pode-se inferir que a má condução da irrigação ocasiona alterações nas concentrações de substâncias dissolvidas na água em lavouras e, com isso, a água adquire restrições por contaminação para voltar aos mananciais e águas subterrâneas. No entanto, se o produtor irrigante utilizar técnicas de conservação do solo como sistema de plantio direto tende a reduzir a erosão, evitando o transporte de sedimentos com partículas de fertilizantes ou defensivos que poderão contaminar os corpos de água.

A adoção dessas medidas traria resultados positivos tanto econômicos como sociais, pois quando o manejo do solo e o uso correto da técnica da irrigação são realizados respeitando os métodos e os sistemas que a área e a cultura comportam, aplicando a quantia de água que a planta necessita, aliado a bons manejos do solo, como o plantio direto, evita-se problemas como a eutrofização ou contaminação de corpos hídricos por pesticidas através da erosão.

Dessa forma, a escolha correta e criteriosa de um método e sistema de irrigação adaptado para cada tipo de propriedade rural é uma forma possível de reduzir os problemas gerados pela irrigação tanto no solo quanto nos corpos hídricos.

2.4 SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS NATURAIS

A água é um dos principais fatores limitantes da produção agrícola na região semiárida do Nordeste brasileiro. O crescente aumento populacional em conjunto com o mau uso da água interfere na disponibilidade e qualidade desse recurso (Castro, 2018).

A preocupação do uso sustentável e da qualidade dos recursos naturais, especialmente do solo e da água, tem constituído em tema de crescente relevância, em razão do aumento das atividades antrópicas (Araújo; Goedert e Lacerda, 2007).

O semiárido brasileiro é caracterizado pelos baixos índices pluviométricos e elevadas temperaturas durante a maior parte do ano, além das altas taxas de evapotranspiração. Associando-se a esses fatores, o manejo inadequado de fertilizantes e da estratégia de manejo da água de irrigação; principalmente quando há teores elevados de sais, a salinização dos solos é inevitável, resultando em perdas de rendimento e qualidade das culturas (Alves *et al.*, 2022).

Para a agricultura, em especial em regiões áridas e semiáridas, onde a escassez de água é um problema crítico, o uso da irrigação e o desenvolvimento de estratégias em projetos irrigados desempenha um papel fundamental na produtividade agrícola. É necessário então verificar a disponibilidade de água por meio do planejamento agrícola adequado baseando-se na determinação da necessidade da cultura e na disponibilidade local de água (Souza, 2020).

Perante o cenário de competitividade nacional, torna-se importante descrever que o uso destas técnicas tornam os cultivos mais eficientes, numa forma de agricultura de precisão, consistindo num sistema de gerenciamento agrícola que analisa dados do cultivo de vegetais que variam no espaço e no tempo, de acordo com a quantidade de recursos empregados, como a quantidade ideal de água na irrigação, visando o aumento do retorno financeiro, a sustentabilidade e a minimização de efeitos nocivos ao meio ambiente (Basso *et al.*, 2019).

2.5 DISPONIBILIDADE DOS NUTRIENTES PARA AS PLANTAS

Existe um amplo e complexo conjunto de indicadores do solo que podem ser utilizados, os quais podem ser químicos, físicos e biológicos. A avaliação da qualidade do solo por meio desses indicadores tem se tornado um valioso instrumento, cada vez

mais eficaz para definir a capacidade do sistema de se manter e de viabilizar-se no presente e no futuro (Silva, 2020).

A determinação de indicadores químicos é importante, pois está relacionada aos nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas e outros organismos. Portanto, são bons indicadores a serem analisados em sistemas de cultivos agrícolas (Costa, 2019). Entre os indicadores químicos, para avaliar a capacidade de disponibilizar nutrientes, são levados em conta os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), os quais são facilmente mensuráveis e que estão ligados a nutrição das culturas. A saturação por base (V%) expressa a porcentagem que os elementos essenciais tais como o Ca^{+2} , Mg^{+2} e K^{+} estão ocupando a troca de cátions. Quando a saturação por base se apresenta baixa ocorre maior absorção de elementos tóxicos como o Al^{+3} e H^{+} (Taiz e Zeiger, 2017; Nunes, 2021).

Os principais indicadores químicos da fertilidade do solo para fins de manejo nutricional são o potencial hidrogeniônico (pH), o carbono orgânico C, a CTC efetiva, o N disponível no solo, os nutrientes disponíveis para as plantas, a condutividade elétrica e os sais solúveis totais. Esses indicadores auxiliam para identificação da capacidade do solo na sustentabilidade dos biomas, por meio da ciclagem dos nutrientes. Além disso, esses parâmetros estão correlacionados ao rendimento das culturas, permitindo analisar e determinar ações de correção no solo por meio de adubações e calagens, para prover condições para produção (Nunes, 2021).

O pH do solo serve para avaliar as condições de um solo: ácido, neutro ou alcalino. A escala de pH vai do 1 ao 14, sendo 7 a neutralidade, abaixo de 7 a acidez e acima de 7 a alcalinidade. A faixa ideal de pH para o desenvolvimento das plantas é de 6,0 a 6,5. Os solos ácidos apresentam problemas para a agricultura porque as plantas não desenvolvem bem nestas condições de acidez, no qual a disponibilidade de nutrientes é muito pequena para as plantas e a produtividade das lavouras é muito baixa (Braga, 2012).

A avaliação da qualidade do solo é feita por indicadores que devem integrar as suas propriedades, físicas, químicas e biológicas (Nunes, 2021). A capacidade de troca catiônicas, matéria orgânica do solo, densidade do solo, retenção de água, porosidade, condutividade elétrica, pH do solo, temperatura, produtividade e os atributos químicos (Teores de Al; Ca; Mg; K e P) são atributos muito utilizados em

associações e/ou correlações para avaliar a comunidade de nematoides do solo visando medir qualidade de solo e status ambiental.

As plantas obtêm os nutrientes que necessitam através da absorção, pelas raízes, dos elementos existentes na solução do solo. São três os processos de absorção: interceptação radicular, fluxo de massa e difusão. Porém, segundo Eurípedes Malavolta (2006), esta absorção dependerá da existência ou de sua disponibilidade na solução do solo.

A fácil adaptabilidade do coqueiro nos mais variados tipos de solos, torna difícil a determinação do solo ideal para cultura (Lins, 2000). No entanto, a preferência da planta por solos arenosos, a exemplo dos solos areno-argilosos, profundos e bem drenados com boa aeração, não tolerando solos com impedimentos tanto físicos como químicos, que influenciarão diretamente no desenvolvimento de suas raízes (Benassi; Fanton e Santana, 2013).

Segundo Fontes; Ferreira e Siqueira (2002), a nutrição equilibrada do coqueiro constitui-se em pré-requisito de fundamental importância para que se obtenha uma produção adequada. Vários fatores são responsáveis pela produção e qualidade dos frutos de coco, dentre os quais, o manejo da adubação mineral ou orgânica é crucial no seu plantio, pois a planta de coqueiro carece de elevadas quantidades de macronutrientes para formação dos frutos, caule e raiz (Malavolta *et al.*, 1976; Teixeira *et al.*, 2005). Porém, os micronutrientes também são importantes, os quais podem ser aplicados via foliar, assim como os bioestimulantes que favorecem o desenvolvimento da planta (Reis, 2019).

Em sistemas irrigados, é fato que a produtividade por ciclo é maior e o produtor consegue fazer um número maior de safras por unidade de tempo. Então, a quantidade de nutrientes do solo que são extraídos pela biomassa produzida no sistema irrigado será maior em relação ao sistema de sequeiro (Oliveira; Cunha e Alves, 2021).

Os nutrientes minerais são extraídos da solução do solo através das raízes e são utilizados no metabolismo para o desenvolvimento da planta. São componentes essenciais de moléculas orgânicas e de estruturas das membranas, e estão envolvidos como ativador de reações enzimáticas, no controle osmótico celular, no transporte de elétrons, no sistema tampão do protoplasma e no controle da permeabilidade das membranas. Os chamados elementos essenciais são necessários e indispensáveis ao crescimento normal das plantas e devem estar

presentes no solo, em formas assimiláveis e em concentrações ótimas para assegurar o adequado desenvolvimento da planta. Dependendo da quantidade requerida de um nutriente pela planta, o elemento pode ser classificado como macronutriente ou micronutriente. Estudo desenvolvido com o coqueiro híbrido PB 121 revelou que a extração de nutrientes segue a seguinte sequência: $K > Cl > N > Ca > Na > Mg > S > P$ (Benassi; Fanton e Santana, 2013).

Os macronutrientes são divididos em dois grupos: primários e secundários. Os macronutrientes primários são aqueles necessários nas concentrações mais altas: N, P e K. De fato, esses três nutrientes primários são necessários concentrações maiores do que o total do restante dos macronutrientes juntos (Devechio, 2023). Os macronutrientes secundários também são necessários para a manutenção da saúde das plantas, mas em quantidades menores do que os macronutrientes primários. Ca, Mg e S compreendem os macronutrientes secundários (CropLife Brasil, 2021).

2.6 MOVIMENTO DOS NUTRIENTES NO SOLO E NA PLANTA

Compreender como os nutrientes se deslocam e quais cuidados são necessários é crucial para evitar a perda de nutrientes devido à lavagem pela chuva, a evaporação (no caso de nutrientes como o nitrogênio) e a adsorção pelo solo (especialmente para o fósforo). O conhecimento da mobilidade também previne a salinização excessiva do solo, protegendo as plantas. Isso permite o uso eficiente de fertilizantes, otimizando o investimento agrícola (Castro *et al.*, 2020). Segundo o autor a compreensão completa dos movimentos dos nutrientes é essencial para escolher os fertilizantes certos e a fonte ideal de nutrientes. Isso influencia a estratégia de aplicação, seja no solo ou nas folhas, otimizando o sistema de produção.

A mobilidade na planta difere da mobilidade no solo. Alguns nutrientes podem ser móveis no solo, mas menos móveis nas plantas devido à função que desempenham no metabolismo vegetal. O xilema transporta a água e os minerais das raízes para as folhas, enquanto o floema transporta os compostos orgânicos produzidos nas folhas (açúcares, aminoácidos, lipídios, hormônios e proteínas) para outras partes da planta (Castro *et al.*, 2020).

A mobilidade dos nutrientes no solo varia, onde alguns são mais móveis que outros e mais suscetíveis a perdas por lixiviação. Os nutrientes são geralmente classificados como de baixa ou alta mobilidade (Castro *et al.*, 2020):

- Elementos de baixa mobilidade no solo: a exemplo do P, Mo, Cu, Fe, Mn e Zn.
- Elementos de mobilidade intermediária no solo: N (forma Amoniacal), K, Ca, Mg, S e B.
- Elementos de alta mobilidade no solo: N (forma Nítrica) e Cl.

O N é facilmente redistribuído no floema, apresentando alta mobilidade na planta. No solo, ele também apresenta alta mobilidade, sendo facilmente lixiviado e necessitando de adequado aporte nos estádios de maior resposta das culturas (Castro *et al.*, 2020).

O P, por sua vez, é considerado um nutriente de baixa mobilidade no solo, comportamento atribuído à sua “fixação” pelos minerais da argila, e esse elemento tem presença relevante nos solos tropicais que apresentam elevados teores de óxidos de ferro e de alumínio, com os quais o P tem grande afinidade (Pereira, 2009).

O K no solo comporta-se como íon cátion monovalente e dessa forma poderá ser facilmente lixiviado, absorvido, fixado, adsorvido as argilas ou permanecer na solução do solo.

O Ca no solo comporta-se como íon divalente positivo (Ca^{+2}), devendo ser fortemente adsorvido aos coloides, absorvidos pelas plantas e organismos do solo, estar na solução do solo, ou ser lixiviado. O Mg também é adsorvido aos coloides do solo como íon bivalente positivo (Mg^{+2}), com comportamento muito similar ao cálcio. A maior parte do enxofre do solo está imobilizado na matéria orgânica, podendo ser absorvido após a sua mineralização a sulfato (SO_4^{-2}) pelas bactérias do solo.

Os micronutrientes também são importantes, no entanto em pequenas quantidades. São sete: essenciais para o desenvolvimento e crescimento das plantas, mas são necessários apenas em pequenas quantidades, em comparação com seus macros equivalentes. Os sete micronutrientes essenciais são: Boro (B), Zinco (Zn), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Molibdênio (Mo) e Cloro (Cl) (CropLife Brasil, 2021).

O Fe no solo é adsorvido aos coloides como cátion trivalente (Fe^{+3}). Grande parte dos solos contém milhares de quilos de ferro, mas devido a fixação, muito pouco está disponível para as plantas.

O Cu é adsorvido aos colides como cátion bivalente. A deficiência ocorre em solos de turfa e várzeas, com elevada fixação do cobre pela matéria orgânica. Em solos arenosos e solos com elevado pH, observa-se baixa disponibilidade de cobre

para as plantas. O Mn também é adsorvido aos coloides como um íon cátion bivalente. Grandes quantidades de manganês, cerca de 10%, podem ocorrer nos solos na forma de óxidos e de hidróxidos de solubilidade variável, mas pequena porção está disponível às plantas.

O Zn é adsorvido aos coloides do solo como íon divalente catiônico. Seu teor no solo varia de 10 a 300 ppm. A sua deficiência é bastante comum em solos arenosos e ácidos ou solos neutros e alcalinos, ou ainda, em solos que têm baixo teor de zinco e que foi feita adubação fosfatada elevada, devido a interação negativa P x Zn. O Zn está intimamente associado a matéria orgânica do solo, de modo que a erosão e o nivelamento do solo podem agravar a deficiência do mesmo.

O B (BO_4^{-2}), o Cl (Cl^-) e o Mo (MoO_4^{-2}) são micronutrientes aniônicos e como todo o ânion sofrem os efeitos de uma maior lixiviação, uma vez que não são facilmente adsorvidos aos coloides do solo.

É importante ressaltar a correlação entre o fornecimento de nutrientes e as variáveis biométricas das plantas, sendo que cada elemento ocasionará diferentes resultados (Quaggio, 2004). Existem poucos estudos correlacionando os nutrientes às variáveis como altura, área foliar e número de folhas da cultura do coqueiro. Todavia, pesquisas com culturas perenes têm corroborado, demonstrando que existe correlação positiva entre os atributos químicos do solo, tais como a concentração dos teores de Ca e Mg e as variáveis biométricas (Reis, 2019).

A adubação é uma das práticas de expressivo impacto na produtividade do coqueiro, pois é uma cultura com alta exigência nutricional em nutrientes como K, Mg e Ca, que são extraídos em grandes quantidades do solo (Ouvrier, 1984).

A exportação de nutrientes pelos frutos do coqueiro anão ocorre na seguinte ordem: K ($169,77 \text{ kg ha}^{-1}$), Cl ($92,0 \text{ kg ha}^{-1}$), N ($87,71 \text{ kg ha}^{-1}$), P ($12,44 \text{ kg ha}^{-1}$), Mg ($9,48 \text{ kg ha}^{-1}$), S ($7,85 \text{ kg ha}^{-1}$) e Ca ($6,02 \text{ kg ha}^{-1}$), considerando a produtividade de 200 frutos planta⁻¹ ano⁻¹ (Andrade, 2021). Observa-se que dentre os nutrientes, o potássio é exportado em maior quantidade (Andrade, 2020).

O N, por ser um dos fatores mais limitantes ao crescimento e desenvolvimento de plantas, é exigido em maior quantidade (Bredemeier e Mundstock, 2000). O nutriente é responsável por 5% da matéria orgânica do solo, e cerca de 98 % está na forma orgânica, enquanto apenas 2% está na forma mineralizada (forma absorvida pelas plantas) (Malavolta, 2006). A mineralização é a transformação do nitrogênio orgânico em nitrogênio inorgânico. No processo ocorre a digestão da matéria orgânica

por bactérias, liberando o amônio (NH_4^+), que aumenta de acordo com a elevação da atividade microbiana, influenciada pela temperatura e umidade do solo (Cardoso; Tsai e Neves, 1992).

Este nutriente é atuante na síntese de aminoácidos que formam as proteínas, além de ser exigido na constituição de outros compostos como a clorofila, os ácidos nucleicos e as enzimas. Logo, na ausência da adubação com fonte nitrogenada, a deficiência de nitrogênio é evidenciada (Faquin, 2005). A deficiência de nitrogênio na planta resulta clorose nas folhas (amarelecimento), devido a diminuição da produção de clorofila, apresentando um gradiente partindo das folhas mais velhas para as mais novas, que são afetadas com a severidade da deficiência (Faqui, 2002).

Em solos diferentes: areia quartzarênica e solo podzólico amarelo, a aplicação de nitrogênio culminou no aumento significativo do número de frutos, com a dose adequada de $1,538 \text{ kg planta ano}^{-1}$ de N, proporcionando o nível crítico de $17,18 \text{ g kg}^{-1}$ de N na folha 14 para areia quartzarênica. No solo podzólico amarelo, os autores definiram a dose significativa de $1,032 \text{ kg planta ano}^{-1}$ de N, e o nível crítico de nitrogênio na folha das plantas presentes neste tipo de solo não pôde ser determinado, pois a equação de regressão foi linear, quando ajustada entre a dose de nitrogênio aplicada e o teor de nitrogênio na folha, necessitando de aplicações maiores, para obtenção do teor ideal na folha (Nascimento, 2021).

O suprimento nutricional adequado do coqueiro, tanto de nitrogênio como dos demais nutrientes, são obtidos com base nos dados referentes aos teores do elemento na planta (Fontes; Ferreira e Siqueira, 2002). Nascimento (2021) estabeleceu com base na folha 14, os valores de nível crítico de nitrogênio para o coqueiro entre 18 e 20 g kg^{-1} de N. Lins (2000), também destaca que para o nitrogênio, o nível crítico ideal na folha 14 em coqueiros gigantes e o híbrido PB 121 estão nas faixas de 18 a 20 g kg^{-1} e de 18 a 22 g kg^{-1} de N, respectivamente, e faixas abaixo dos valores mencionados afetam a composição da planta quanto ao nitrogênio. Em experimentação com coqueiro anão, definiram os níveis críticos de 19,2 e $20,5 \text{ g kg}^{-1}$, nas folhas 9 e 14, respectivamente (Nascimento, 2021).

No Brasil, 90% das análises de solo apresentam teores baixos de fósforo disponível. Malavolta (1976), afirma que, 75% dos solos brasileiros apresentam teores de fósforo abaixo do ideal. Os valores consideráveis ideais de fósforo disponível situam-se entre $20\text{-}30 \text{ mg dm}^{-3}$ (Malavolta, 1981). Os níveis de fósforo disponível no solo, são influenciados pela textura e o teor de argila no solo. Em solos argilosos com

teores de argila acima de 35%, níveis acima de 15 mg dm^{-3} de P são consideráveis muito altos, e abaixo de 5 mg dm^{-3} são baixos; em solos com textura média com 15 a 35 % de teor de argila, níveis acima de 20 mg dm^{-3} de P no solo são muito altos e menores que 8 mg dm^{-3} são baixos; e em solos de textura arenosa com teor de argila menor que 15%, níveis maiores que 25 mg dm^{-3} de P disponível, são consideráveis muito altos, enquanto que, valores menores que 10 mg dm^{-3} são baixos (Brasil e Cravo, 2020).

Lins e Viégas (2020), recomendam níveis de adubação fosfatada com base na análise de solo, onde valores menores que 15 mg dm^{-3} de P no solo, aplica-se $150 \text{ g planta}^{-1}$ de P_2O_5 ; entre 15 e 19 mg dm^{-3} de P, a aplicação é de $100 \text{ g planta}^{-1}$ de P_2O_5 ; e acima de 19 mg dm^{-3} de P, recomenda-se 50 g planta^{-1} de P_2O_5 . (Nascimento, 2021).

Andrade (2021), observou que coqueiros jovens respondem significativamente a adubação fosfatada quando comparados aos que não receberam adubação. O autor evidenciou que a utilização de $130 \text{ g planta}^{-1}$ de P_2O_5 , culminou em um incremento de 25% de concentração de fósforo na folha ($1,25 \text{ g kg}^{-1}$ de P), 23% de circunferência de coleto (110, 6 cm) e 20% no número de folhas emitidas (9,5 folhas). Teixeira et al. (2005), verificou que a resposta à adubação com fósforo foi baixa, porém o teor de fósforo na folha esteve na faixa de suficiência. Mesmo com a omissão de fósforo, o teor foliar para o nutriente foi superior a $1,1 \text{ g kg}^{-1}$. O nível crítico de fósforo ideal no coqueiro situa-se na faixa de $1,2 \text{ g kg}^{-1}$ de P (Andrade, 2021). Apesar desse nutriente ser pouco exportado pela planta (nível crítico nas folhas 9 e 14, respectivamente são: $1,50 \text{ g kg}^{-1}$ $1,40 \text{ g kg}^{-1}$), os valores no solo são muito baixos, tornando-o limitante a cultura (Nascimento, 2021).

Valores de potássio no solo que se situam abaixo de 40 mg dm^{-3} são considerados baixos, valores entre 41 e 60 mg dm^{-3} são medianos, 61 a 90 mg dm^{-3} são altos, e níveis acima de 90 mg dm^{-3} são muito altos (Brasil e Cravo, 2020). Segundo Lins e Viégas (2020), com a análise de solos é possível utilizar as seguintes doses de potássio no ano de plantio (Ano 0): $240 \text{ g planta}^{-1}$ de K_2O quando o valor de K no solo for menor que $0,15 \text{ mg dm}^{-3}$; $160 \text{ g planta}^{-1}$ de K_2O quando o valor estiver entre 0,15 e $0,19 \text{ mg dm}^{-3}$, e $100 \text{ g planta}^{-1}$ de K_2O quando o valor estiver acima de $0,20 \text{ mg dm}^{-3}$ de K no solo (Nascimento, 2021).

No solo, valores menores que $0,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ de Mg são consideráveis baixos, enquanto que, valores entre 0,5 e $1,5 \text{ cmolc. dm}^{-3}$ são medianos e valores acima de $1,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ são altos (Brunetto et al., 2005). Os níveis críticos na folha 14 em

coqueiro gigante e híbridos na produção inicial foi estabelecido em $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ e $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg nas condições de Côte d'Ivoire. Foi constatado nos experimentos, uma forte relação entre a concentração de Mg na folha, e o número de folhas verdes na coroa. No híbrido PB – 121 quando o nível de Mg é $1,1 \text{ g kg}^{-1}$, ocorre uma redução de folhas emitidas se estabelecendo em 12 folhas, e quando os níveis estão entre $1,1$ e $1,7 \text{ g kg}^{-1}$, o número gira em torno de 20 folhas, e 30 folhas para níveis acima de $1,7 \text{ g kg}^{-1}$ (Lins, 2000).

2.7 DINÂMICA DOS ORGANISMOS E QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO

O clima brasileiro é tropical, sendo quente e úmido e os solos são profundos e de baixa riqueza mineral, no qual a reciclagem da matéria orgânica é o que garante o alimento natural às plantas. Nos solos brasileiros a reciclagem da matéria orgânica é rápida por causa da enorme quantidade de microvida (20 milhões de fungos e bactérias por 1 cm^3 de solo), o que ocorre por causa da atividade das raízes, aliadas às condições climáticas (Andrade, 2020).

Apesar de extremamente pequenos e simples, os microorganismos exercem função importante, desde a captação de energia solar, até suas transformações na Terra. Dois grandes grupos de organismos são destaque: os degenerativos, que produzem no seu metabolismo primário substâncias como amônia, sulfeto de hidrogênio, com ação prejudicial à planta e endurecem o solo, impedindo o crescimento das plantas; e os regenerativos, que produzem substâncias orgânicas úteis às plantas, e podem produzir hormônios e vitaminas, melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Andrade, 2020).

Na decomposição da matéria orgânica há redução do todo em partes, e compostos menores são liberados no ambiente. Muitos destes compostos são nutrientes, hormônios, vitaminas que alimentam a própria comunidade microbiana, além de animais e plantas, sendo que alguns até aumentam a resistência das plantas aos insetos e doenças. A decomposição da matéria orgânica no solo aumenta os grupos de microrganismos, que estruturam o solo, agregam melhor as partículas minerais, evitam compactação e aumentam a porosidade, a infiltração de água, a água disponível e a profundidade de enraizamento, podendo reduzir a erosão e a frequência de irrigação (Andrade, 2020).

O solo, enquanto componente essencial para a manutenção dos ecossistemas, possui papel preponderante quanto à avaliação e quantificação para o seu uso e manejo adequado, sobretudo no que tange à produtividade de culturas agrícolas. Nesse sentido, torna-se necessária a avaliação da diversidade microbiana do solo, uma vez que se mostra como forte indicador de ciclagem de nutrientes, fertilidade, mineralização, exercendo, igualmente, funções na decomposição de matéria orgânica, como as cascas de coco, subproduto da cultura do coqueiro (Sousa *et al.*, 2022).

O solo saudável é mantido pelos organismos do solo: macroorganismos (aranhas, formigas, minhocas) e pelos microrganismos (bactérias, fungos, leveduras, actinomicetos). Estes organismos trabalham de modo coletivo e fazem as transformações da matéria orgânica, agregando e mantendo os poros no solo onde entra o ar e a água, indispensáveis à produção vegetal (Sousa *et al.*, 2022).

A densidade de microrganismos do solo apresenta-se como um indicador da qualidade do solo, trazendo uma avaliação momentânea qualitativa de determinado solo, possibilitando a adoção a curto prazo de medidas que visem manejá-lo de forma sustentável, eficiente e produtiva (Moreira e Siqueira, 2006; Carreiro *et al.*, 2016).

Os organismos da fauna do solo participam de processos-chave para o bi funcionamento deste ambiente. Esses organismos são classificados de acordo com aspectos funcionais, morfológicos (tamanho ou dimensão corporal) e categorias ecológicas, segundo o critério de localização espacial e mobilidade (Brito *et al.*, 2016).

Neste sentido, a fauna edáfica refere-se aos organismos invertebrados que vivem permanentemente ou que passam algumas fases de desenvolvimento no solo ou na serapilheira, tais como minhocas, coleópteros (larvas e adultos), centopeias, cupins, formigas, diplópodes, isópodes e aracnídeos, enquanto a fauna epigeica compreende a comunidade de invertebrados presentes na interface serapilheira-solo (Brito *et al.*, 2016).

As práticas agrícolas podem alterar a composição e diversidade dos organismos edáficos, em diferentes graus de intensidade, por meio das mudanças de habitat, fornecimento de alimentos, criação de microambientes e competição intraespecífica e interespecífica (Brito *et al.*, 2016). Esses animais, dentro de sua importância, são caracterizados e atuam como engenheiros do ecossistema. À sobrevivência e à diversidade dos mesmos vai depender de uma série de fatores como

tipo de solo, pH, matéria orgânica, umidade do solo, tipo de vegetação, dentre outros fatores edafoclimáticos, além da influência antrópica (Alves et al., 2020).

Os indivíduos componentes da fauna edáfica são sensíveis a modificações ambientais, sejam elas de ordem biológica, física ou química. Dessa forma, as práticas de manejo têm interferência direta sobre o aumento ou diminuição na diversidade dos organismos edáficos (Alves et al., 2020).

2.8 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES

Os fungos micorrízicos pertencem ao filo Glomeromicota e ocorrem em mais de 80% das plantas vasculares, cultivadas ou nativas, beneficiando o desenvolvimento das mesmas, através da maior absorção de nutrientes pelas hifas do fungo, principalmente aqueles com baixa mobilidade como o fósforo e aumentam a estabilidade de macroagregados (Moreira e Siqueira, 2006).

A adequada absorção de água e nutrientes, sob condições de déficit hídrico, está relacionada à maior eficiência funcional dos órgãos subterrâneos. Nesse sentido, a colonização radicular por fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) têm sido cada vez mais estudada pelo seu importante papel nas respostas das plantas ao déficit hídrico, combinando estratégias de prevenção e tolerância (Rapparini e Peñuelas, 2014). O significado literal do termo micorriza - "mico" significa "fungo" e "riza" significa "raiz" - reflete o significado comum, isto é, um fungo que interage ou habita as raízes (Hameed *et al.*, 2014).

Algumas das respostas de tolerância das plantas ao estresse hídrico, mediadas pelos FMAs, podem estar relacionadas às alterações na homeostase hormonal, especialmente, na sinalização do ácido abscísico (ABA). Este fitormônio tem sua biossíntese rapidamente induzida a partir da detecção, pela planta, do fator estressante (Osakabe *et al.*, 2014), regulando a condutividade hidráulica, taxa de transpiração, além da indução de genes de enzimas e proteínas de tolerância à desidratação celular (Hirayama e Shinozaki, 2007).

Os FMAs possuem a capacidade de manter uma relação simbiótico-mutualística com as plantas, aumentando a área de absorção de nutrientes e água das raízes dessas plantas, podendo atuar também no controle biológico, além de produzirem substâncias importantes para o solo, como as glicoproteínas denominadas

de glomalina, que agem como cimentantes das partículas de solo (Moreira e Siqueira, 2006). Nesta associação simbiótica as plantas fornecem abrigo e substâncias essenciais como carboidratos, vitaminas e aminoácidos necessárias à sobrevivência dos fungos, os quais disponibilizam nutrientes minerais, em especial o fósforo e o nitrogênio às plantas (Machado, 2024).

A maioria das plantas vasculares utilizam as associações micorrízicas como estratégias para aumentar a área de absorção de água e nutrientes, no entanto fatores ambientais como a precipitação pluviométrica, modela o estabelecimento dessa associação (Hara *et al.*, 2021).

Deste modo, as plantas inoculadas respondem ao déficit hídrico por meio de uma estratégia de conservação da água, mas permitindo o aumento da atividade fotossintética, por meio da regulação osmótica e o turgor nas células das folhas é mantido, não ocorrendo perda e induzindo resistência às condições de seca. Os FMAs intensificam a absorção de água atuando no incremento de biomassa vegetal (Folli-Pereira *et al.*, 2012).

2.9 NEMATÓIDES NO SOLO

A microfauna habita os filmes de água do solo, grupo no qual estão incluídos os nematoides. A mesofauna habita os poros preenchidos com ar e dependem da existência desses poros. Já, a macrofauna tem a habilidade de criar seus próprios espaços por meio de atividades escavadoras e, como a megafauna, pode ter grande influência na estrutura do solo (Goulart, 2007).

Os nematoides de vida livre possuem representantes na maioria dos níveis tróficos no solo e são, desta maneira, potencialmente indicadores para ampla variedade de propriedades do solo. Os nematoides Bacterívoros, por exemplo, estão diretamente ligados à decomposição da matéria orgânica, pela ingestão de micróbios saprofíticos. Assim, o aumento deste grupo trófico associa-se à maior taxa de decomposição da matéria orgânica (Ekschmitt *et al.*, 2011).

Os nematoides de vida livre possuem diferentes hábitos alimentares, podendo se alimentar de bactérias, fungos, nematoides e artrópodes no solo, contribuindo para a decomposição de resíduos orgânicos, e, por meio de seu metabolismo, liberam nutrientes para uso das plantas, também melhorando a estrutura do solo. A partir disso, sua presença assim como aumento de sua densidade populacional está

diretamente relacionada com o percentual de matéria orgânica e umidade no solo (Thomas; Murray e Murphy, 2016).

A presença de fitonematoides em áreas de produção de coco está disseminada por todo o Brasil, sendo caracterizada por populações bastante diferenciadas e complexas na rizosfera e no rizoplane (Dias-Arieira; Molina e Costa, 2008). Segundo os autores, além disto, algumas espécies apresentam alta capacidade de reprodução, causando danos quantitativos e qualitativos e, ao longo do tempo, podem reduzir a vida útil dos coqueirais ou inviabilizá-los, pois desencadeiam o declínio da planta.

A importância dessas espécies no país se deve a fatores como a presença de espécies endêmicas em algumas áreas de produção, a alta diversidade genética que dificulta seu controle e o risco potencial de danos devido ao aumento da área cultivada com espécies sensíveis (Rodrigues, 2022).

De acordo com a Portaria nº 05/DSV/MAPA de 21 de agosto de 2016, o fitonematoides são de difícil controle e é considerado uma das pragas com maior risco fitossanitário (Gao *et al.*, 2018). No contexto agrônomo, a compreensão da interação entre nematoides e plantas frutíferas é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo desses parasitas, ainda mais devido sua difícil erradicação (Sikora *et al.*, 2020). As medidas de controle disponíveis atualmente, como o uso de cultivares resistentes, rotação de culturas, aplicação de nematicidas e práticas de manejo integrado de pragas, têm sido aplicadas com diferentes graus de sucesso (Souza Junior: Neto e Assunção, 2024).

Os nematoides, por se apresentarem em número elevado, por serem sensíveis as diferentes alterações nas condições do solo e serem facilmente extraídos do solo, têm sido utilizados para avaliar a qualidade do solo e dos agrossistemas (Doihara, 2015). Entretanto, para envolver os nematoides em estudos de status ambiental, principalmente na qualidade do solo, é necessário conhecer sua abundância e diversidade, bem como, as associações existentes entre eles e as características físicas e químicas do solo (Freckman e Ettema, 1993).

A distribuição espacial e horizontal dos nematoides no solo é bastante desuniforme, ocorrendo principalmente em agregados presentes no solo. Esta pode se manifestar através de sintomas em manchas no campo. A distribuição horizontal de nematoides é afetada pela presença de raízes, umidade do solo, classe de solo e outros fatores físicos e biológicos, incluindo o movimento de animais, enxurradas, máquinas e implementos (Doihara, 2015).

Em agroecossistemas, segundo Goulart (2010), os nematoides são encontrados majoritariamente na faixa de 15 a 20 cm abaixo da superfície do solo, porém, a distribuição vertical de nematoides em solos é bastante variável Rodrigues (2022), afirma que as densidades populacionais de nematoides em solos de tabuleiros diminuem com a profundidade, e as maiores densidades foram encontradas nas profundidades de 0 a 20 cm. Segundo Caixeta *et al.* (2011), maiores variações populacionais de nematoides ocorrem com a profundidade, e as mais habitadas são as profundidades de 10 a 20 cm. A densidade do solo foi o atributo que mais influenciou a distribuição vertical dos nematoides.

Estudos sobre diversidade em comunidades de nematoides são normalmente desenvolvidos a partir de dados qualitativos, baseados nas identificações taxonômicas das espécies (dados qualitativos) que fornecem informações sobre o número de indivíduos de cada táxon, ou seja, a abundância (dados quantitativos) (Goulart, 2010). Dados da abundância relativa dos nematoides de cada grupo trófico são úteis para o estudo de comunidades e para a compreensão de suas relações com outros integrantes da biota do solo (Freckman e Ettema, 1993).

Com relação a disponibilidade hídrica do solo, segundo Rodrigues (2022), a elevação da umidade do solo, decorrente da alta precipitação, afetou negativamente os níveis populacionais dos endoparasitos nas raízes, e dos gêneros *Pratylenchus* e *Crictonemella* e das famílias *Dorymaimidae* 15 e *Mononchidae*, no solo. Os mesmos também relatam que a frequência dos nematoides diminuíram com a profundidade.

3. OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito das lâminas de irrigação na qualidade química e microbiológica do solo e nos teores foliares de nutrientes do coqueiro anão-verde-do-Brasil-de-Jiqui, no Semiárido Brasileiro.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o impacto das lâminas de irrigação no estado nutricional da cultura do coqueiro anão-verde-do-Brasil-de-Jiqui;
- Avaliar o efeito das lâminas de irrigação na distribuição dos macros e micronutrientes no perfil do solo;

- Avaliar o impacto das lâminas de irrigação na população dos microrganismos (fungos micorrízicos arbusculares e nematoides) de um solo cultivado com o coqueiro anão-verde-do-Brasil-de-Jiqui.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada no perímetro irrigado do município de Paulo Afonso, Estado da Bahia (Figura 1), em um lote destinado à agricultura familiar, localizado no povoado Ludovico ($9^{\circ}28'46.3''$ S $38^{\circ}13'57.7''$ W). O projeto de irrigação tem uma área total de 780 hectares, dos quais 390 são irrigados, atendendo a 130 famílias de agricultores, podendo chegar a 500 hectares irrigados (Seagri, 2009).

Figura 1. Localização da área experimental, na comunidade do Ludovico, Paulo Afonso-BA.



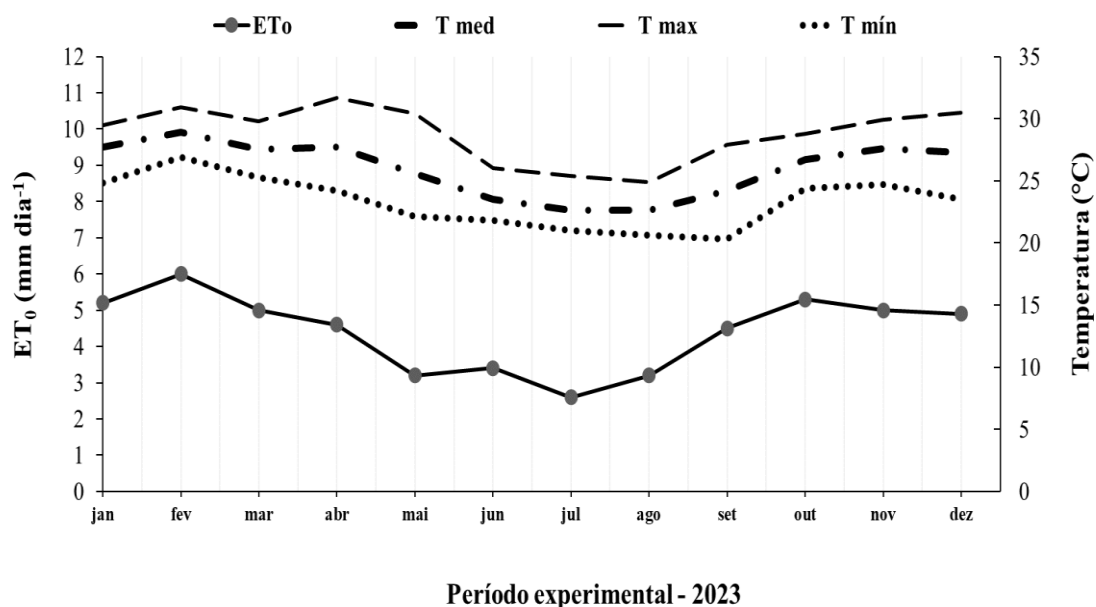
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O município de Paulo Afonso tem uma área aproximada de 1.700,4 km², localizado na região do submédio do Vale do São Francisco, no Semiárido baiano. O clima da região é classificado, segundo Koppen, como BSh – Clima Semiárido quente. É caracterizado por escassez de chuvas e grande irregularidade em sua distribuição;

baixa nebulosidade; forte insolação; índices elevados de evaporação, e temperaturas médias elevadas (por volta de 27 °C). A umidade relativa do ar é normalmente baixa, e as poucas chuvas – de 250 mm a 750 mm por ano – concentram-se num espaço curto de tempo, provocando enchentes torrenciais. Mesmo durante a época das chuvas (novembro a abril), sua distribuição é irregular, deixando de ocorrer durante alguns anos e provocando secas.

Os dados climáticos do período de cultivo, obtidos de uma estação meteorológica instalada próxima ao local do experimento, caracterizam-se inicialmente por um período mais quente, com maior evapotranspiração e temperatura do ar (Figura 2). As temperaturas médias, na época quente, referente aos meses de janeiro, fevereiro, março, abril, outubro, novembro e dezembro, foram em torno de 30 °C. Na época mais fria, referente aos meses de maio, junho, julho e agosto, as temperaturas médias variaram de 25 a 28 °C. As médias diárias da evapotranspiração de referência foram de 7,0; 6,0 e 5,3 mm para os meses das épocas quente e de 2,6, 3,2 e 3,4 mm para os meses das épocas frias.

Figura 2 – Evapotranspiração de referência (ET_o) e temperaturas mínimas (T_{min}), médias (T_{med}) e máximas (T_{max}) mensais durante os ciclos de cultivo do coco sobre diferentes lâminas de irrigação, no município de Paulo Afonso-BA



Elaborado pelo autor (2022).

O experimento foi conduzido numa área de coqueiro Anão da cultivar anão-verde-do-Brasil-de-Jiqui (AveBrJ), com 10 anos de cultivo, em sistema de plantio em triângulo equilátero, com 7 x 7 x 7 m de lado, totalizando 205 plantas ha⁻¹.

Os coqueiros foram irrigados utilizando-se microaspersores, com vazão de 50 L h⁻¹ (Figura 3) e diâmetro molhado de 3 m. Utilizou-se dois microaspersores por planta, no intuito de molhar uma maior área da subcopa, permitindo ao sistema radicular do coqueiro explorar um maior volume de solo (Embrapa, 2022).

Figura 3. Área experimental com o coco anão Verde-do-Brasil-de-Jiqui (AveBrJ), irrigado com sistema de microaspersão.



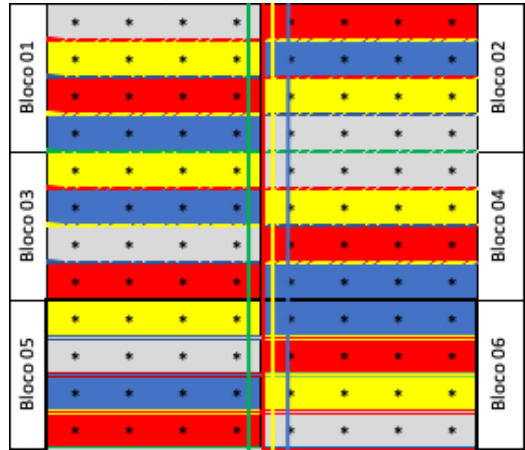
Elaborado pelo autor (2022).

Fonte:

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos, compostos por quatro lâminas de irrigação (60; 80; 100 e 120% da evapotranspiração da cultura – ETC), foram dispostos em blocos causalizados com seis repetições (Figura 4). Cada parcela experimental foi composta por quatro plantas, sendo consideradas úteis as duas plantas centrais.

Figura 4. Croqui da área experimental com os seis blocos e as quatro lâminas de irrigação para o coco anão Verde-do-Brasil-de-Jiqui (AveBrJ).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

As irrigações foram realizadas com base na ET_c , determinada pela multiplicação da evapotranspiração de referência (ET_o), originada de um Tanque Classe A, com um valor do K_p de 07 (Figura 5), pelo coeficiente de cultivo (K_c) proposto por Doorembos e Pruitt (1977).

Figura 5. Tanque classe A instalado para determinação da evapotranspiração de referência na área de cultivo do coco anão Verde-do-Brasil-de-Jiqui (AveBrJ).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Todos os tratos culturais, como controle das plantas espontâneas por meio da roçagem mecanizada e o controle de pragas e doenças, foram realizados de acordo com as recomendações para a cultura propostas em Embrapa (2022).

A umidade no perfil do solo, em todos os tratamentos, foi monitorada utilizando-se quatro tensiômetros por parcela experimental, instalados nas profundidades de 20; 30; 40 e 60 cm. As leituras foram realizadas com a utilização de um tensímetro digital de agulha (Figura 6).

Figura 6. Tensiômetros instalados nas parcelas de lâminas de irrigação do coco anão Verde-do-Brasil-de-Jiqui (AveBrJ).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Os volumes de água aplicados diariamente foram determinados por meio de um painel de controle (Figura 7), onde as lâminas definidas foram programadas para serem irrigadas, utilizando um sistema de válvulas hidráulicas para aplicar o volume de água de cada tratamento, por meio de abertura e fechamento do sistema hidráulico (Figura 8).

Figura 7. Painel para programação das lâminas de irrigação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 8. Sistema de válvulas hidráulicas, para o controle das lâminas de irrigação na área de cultivo do coco.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para caracterização da fertilidade do solo, os pontos de coleta das amostras foram estabelecidos por caminhamento em zigue-zague, de forma a se percorrer todo o talhão. Foram coletadas 20 amostras simples que foram misturadas para formar uma amostra composta. As subamostras foram coletadas dentro da projeção da copa do coqueiro, no local onde são aplicados os fertilizantes, em um raio de 5 m de copa,

na profundidade de 0-20 e 20-40 cm. Aproximadamente 500 g da amostra composta, de cada profundidade, foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e enviadas ao laboratório da Embrapa Semiárido para caracterização química (macro e micronutrientes) e física (Tabela 1).

Antes da coleta das amostras de solo foram removidos folhas e galhos, sem alterar sua superfície. A amostragem foi efetuada utilizando-se trado inoxidável para evitar uma possível contaminação da amostra com alguns micronutrientes e metais pesados.

Tabela 1 – Caracterização química e física do solo da área experimental com o coqueiro anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ).

Prof	pH	CE	P _{disp}	Ca	Mg	K	Na	Al	H+Al	SB	CTC	V	Ds	Dp	PT	Areia	Silte	Argila
(cm)		(dS m ⁻¹)	(mg dm ⁻³)									%	(kg dm ⁻³)		%	(g kg ⁻¹)		
0-20	6,5	0,35	2,87	3,00	1,40	0,27	0,88	0,00	0,50	5,60	6,00	92,00	1,33	2,51	47,08	522,1	274,4	203,5
20-40	6,4	0,34	2,00	2,90	1,30	0,19	1,53	0,00	0,70	5,90	6,60	89,20	1,32	2,53	47,87	497,4	324,9	159,6

pH- potencial hidrogeniônico; CE-condutividade elétrica do extrato de saturação; P= fósforo disponível extraído por Mehlich⁻¹; Ca²⁺= cálcio trocável; Mg²⁺= magnésio trocável; k⁺ = potássio trocável; Na⁺ = sódio trocável; H+Al = hidrogênio + alumínio; SB= soma de bases; CTC= capacidade de troca de cátions; V=saturação por bases; Ds= densidade do solo; Dp= densidade de partículas; PT= porosidade total; Prof = Profundidade.
Elaborado pelo autor (2022).

Na adubação, foram aplicados 1000 g planta⁻¹ de superfosfato simples, equivalente a 180 g planta⁻¹ de P₂O₅. Na adubação de cobertura foram aplicados 862 g planta⁻¹ de cloreto de potássio, equivalente a 517,2 g planta⁻¹ de K₂O e 1.000 g planta⁻¹ de ureia, 450 g planta⁻¹ de N, ambos parcelados em dez aplicações no ciclo produtivo da cultura.

4.3 VARIÁVEIS ANALISADAS

Para avaliação do efeito das lâminas de irrigação na distribuição dos macros e micronutrientes no perfil do solo, foram coletadas amostras nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm, em cada tratamento, dentro da parcela útil. As profundidades de coleta foram escolhidas, considerando-se que, desde o primeiro ano de cultivo até a idade adulta, o coqueiro-anão irrigado concentra mais de 80% das suas raízes absorventes até 0,6 m (Embrapa, 2022). A retirada das amostras foi realizada dentro da projeção da copa no raio de 5,0 m, identificadas e encaminhadas para o laboratório de solos da Embrapa semiárido (Figuras 9 e 10).

Figura 9. Coleta das amostras de solo na área do coco anão Verde-do-Brasil-de-Jiqui (AveBrJ).



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 10. Amostras de solos coletadas na área do coco anão Verde-do-Brasil-de-Jiqui (AveBrJ).



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para avaliação do efeito das lâminas de irrigação sobre a absorção dos nutrientes pela planta, foram coletados três folíolos de cada lado da parte central das folhas número 14 (Camboim Neto, 2002), da mesma idade fisiológica em relação ao padrão estabelecido. Para isso, localizou-se a inflorescência recém-aberta, ou seja, a última inflorescência aberta na copa do coqueiro, cuja folha correspondente era a número 10. Do lado oposto a esta, estava a folha número 9, cuja inflorescência estava prestes a abrir, ainda envolta pela espata. Abaixo desta, encontrava-se a folha de número 14, localizada no meio de copa e totalmente desenvolvida, que formava um

ângulo de, aproximadamente, 45° em relação à sua inserção no estipe e possuía, na sua axila, um cacho com frutos do tamanho de um punho.

Os folíolos foram coletados nas plantas úteis de todas as parcelas experimentais, sendo os mesmos acondicionados em sacos de papel, identificados e enviados ao laboratório para análise na Embrapa semiárido (Figura 11). Não foram coletadas amostras em plantas ou folhas muito danificadas por pragas ou doenças ou que apresentassem distúrbios fisiológicos ou morfológicos. As amostras de folhas foram coletadas entre 7 e 11 horas.

Figura 11. Coleta das amostras de folhas na área do coco anão Verde-do-Brasil-de-Jiqui (AveBrJ).



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para avaliar o efeito das lâminas de irrigação aplicadas nas características biológicas do solo, utilizando-se os fungos micorrízicos e a população de nematoides como indicadores, foram coletadas amostras de solo, em todas as parcelas experimentais na profundidade de 0-20 cm, utilizando-se a mesma área de coleta definida para avaliação da fertilidade do solo. Em seguida, as amostras foram enviadas para o laboratório da Universidade de Pernambuco para as análises.

Para extração dos nematoides do solo, as amostras de solo foram submetidas ao peneiramento úmido, seguido por centrifugação em água e sacarose (Jenkins,

1964) e, posteriormente, com auxílio de microscópio, quantificou-se os nematoides por contagem, classificando-os de acordo com o grupo trófico em Bacterívoros, frugívoros, onívoros, carnívoros e fitopatogênicos, como descrito por Bongers e Bongers (1998).

Para avaliação dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) no solo, o número de glomerosporos foi obtido após extração destes das amostras de solo por peneiramento úmido, seguido por centrifugação em água e sacarose (Jenkins, 1964), sendo quantificados em estereomicroscópio.

As raízes presentes nas amostras de solo foram separadas, lavadas e clarificadas com KOH 10% e posteriormente coradas com Azul de Trypan (0,05%) (Phillips e Hayman, 1970) e a percentagem de colonização micorrízica nas raízes foi avaliada segundo Giovannetti e Mosse (1980).

4.4 ANÁLISE DOS DADOS

Os resultados foram submetidos à análise de variância, empregando o teste de F a 5% de probabilidade e, quando houve diferença significativa entre os tratamentos, as médias foram comparadas entre si por regressão (variáveis quantitativas) e pelo teste de Tukey (variáveis qualitativas), a 5% de probabilidade.

Os dados também foram avaliados por meio de correlação de Pearson e de componentes principais (ACP), adotando-se os componentes que apresentaram altos valores, acima de 1,00, e alcançaram uma variância acumulada acima de 70%. Foram apresentados apenas os gráficos biplot referentes aos componentes 1 e 2. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o software Statistica 14.0 (Silva, 2022)

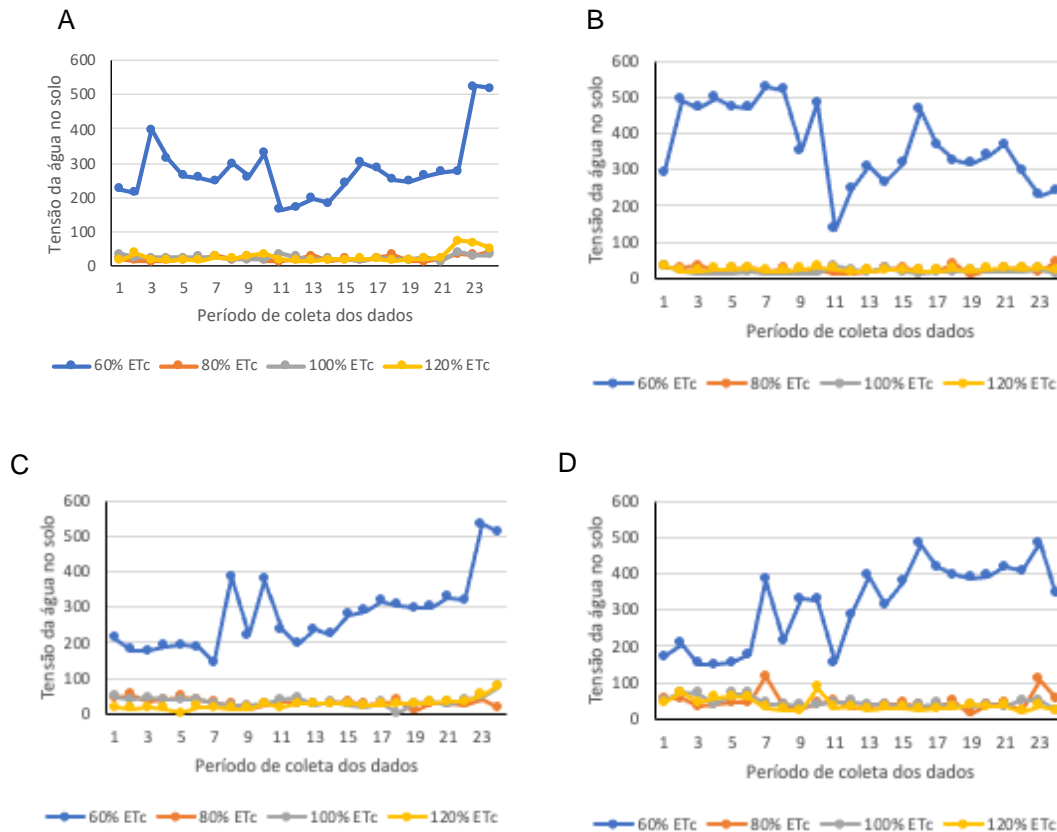
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tensões da água no solo nas profundidades de 0-20; 20-40; 40-60 e 60-80 cm, na área cultivada com o coco anão Verde-do-Brasil-de-Jiqui (AveBrJ), são apresentadas nas Figuras 12 A, B, C e D, respectivamente. As maiores tensões foram observadas para as lâminas de irrigação de 60 % da evapotranspiração da cultura – ETc e as menores para as de 100 e 120% da ETc, nas quatro profundidades avaliadas.

Para as lâminas de irrigação de 80; 100 e 120% da ETc, as maiores tensões de água no solo foram na profundidade de 60-80cm. Este resultado demonstra a distribuição da água no perfil do solo até a profundidade de 80 cm.

A baixa diferença entre as tensões da água no solo antes da irrigação, para as lâminas de irrigação de 80; 100 e 120% da ETc nas camadas de 0-20 e 40-60cm demonstram que, quanto maior a disponibilidade de água no solo, maior foi a absorção pelas plantas.

Figura 12. Leituras de tensão da água no solo (mbar) nas profundidades de 0-20cm (A), 20-40cm (B), 40-60cm (C) e 60-80 cm (D), na área cultivada com o coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUI (AveBrJ) sob as lâminas de irrigação de 60; 80; 100 e 120% da evapotranspiração da cultura – ETc. O período de coleta dos dados foi quinzenal, a partir do início do experimento.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

5.1 FERTILIDADE DO SOLO

Os resultados da ANOVA, referente ao efeito das lâminas de irrigação em relação às características químicas do solo (macro e micronutrientes), condutividade elétrica (CE), pH e H+Al, nas profundidades do solo de 0 – 20; 20 – 40 e 40 – 60 cm,

estão apresentados na Tabela 2. Para as variáveis CE, P, Zn e Fe, não foram observadas diferenças significativas para lâminas de irrigação e profundidade do solo na área do coqueiro, pelo teste F ($p < 0,05$), sendo seus valores médios $0,37 \text{ dS m}^{-1}$, 13,36; 1,52 e $103,92 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente.

Tabela 2 – Análise de variância (ANOVA) e comparação de médias das características químicas no perfil do solo cultivado com coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUI (AveBrJ) sob diferentes lâminas de irrigação.

Fatores	CE	pH	P	K	Ca	Mg	Na	SB	H + Al	CTC	Mn	Cu	Zn	Fe
	dS m^{-1}		mg dm^{-3}											
Lâmina (L)	1,01 ^{ns}	2,96 [*]	1,47 ^{ns}	5,83 ^{**}	7,57 ^{**}	5,83 ^{**}	2,76 ^{ns}	7,68 [*]	1,52 ^{ns}	8,66 ^{**}	0,19 ^{ns}	3,66 [*]	1,24 ^{ns}	2,74 ^{ns}
Profundidade (P)	0,89 ^{ns}	19,68 ^{**}	0,43 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,44 ^{ns}	7,33 ^{**}	0,35 ^{ns}	20,07 ^{**}	0,28 ^{ns}	3,52 [*]	3,69 [*]	0,54 ^{ns}	0,92 ^{ns}
L*P	0,65 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,18 ^{ns}	2,50 [*]	0,28 ^{ns}	0,12 ^{ns}	1,71 ^{ns}	0,79 ^{ns}	1,64 ^{ns}
CV (%)	46,14	7,20	109,00	56,26	28,17	35,06	49,97	23,26	175,58	21,26	159,94	39,76	194,27	45,55
Profundidade (cm)														
0 – 20	0,40	6,96C	12,98	0,20	9,78	3,66	0,60C	11,24	2,44	14,54	22,69A	1,62A	1,70	113,08
20 – 40	0,36	7,20B	13,92	0,21	9,75	3,93	0,81AB	11,85	2,37	15,30	24,85A	1,65A	1,53	110,49
40 – 60	0,35	7,54A	13,20	0,19	8,89	3,75	0,99A	10,09	1,24	15,42	18,25B	1,47B	1,34	88,19

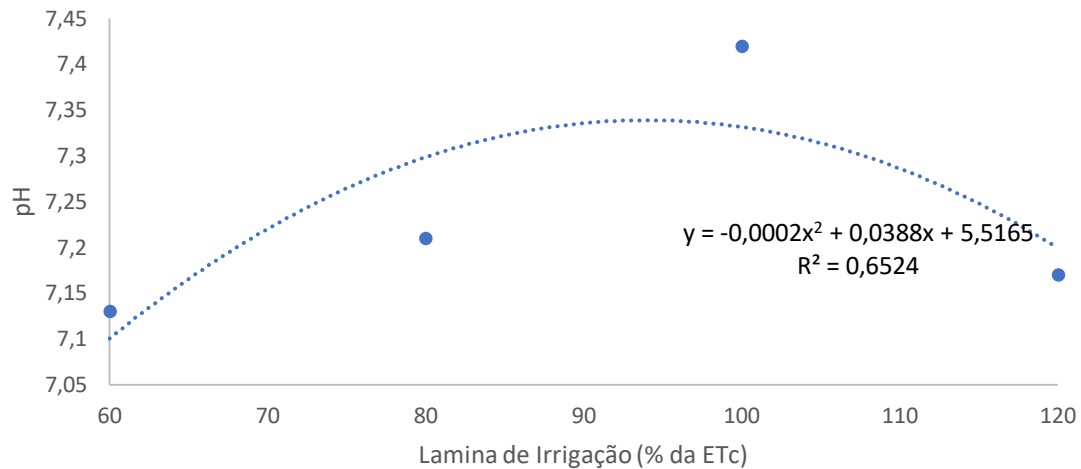
Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ^{ns}, **, * não significativo e significativo a 1 e 5 %, respectivamente

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A uniformidade dos teores de P no perfil do solo pode estar associada a utilização de fontes fosfatadas solúveis em água e ao teor de areia no solo, sob condições irrigadas, o que permite a pronta disponibilidade do nutriente para a planta e facilita a difusão do mesmo no perfil do solo. Assim, a uniformidade de distribuição do P no perfil do solo em estudo também pode estar associada ao fato que o mesmo possuir mais de 50% de areia, o que pode facilitar a sua mobilidade (Dominghetti, 2013).

Para o pH do solo houve efeito significativo das lâminas de irrigação ($p < 0,05$) e para profundidade ($p < 0,01$), sendo que o valor de pH na camada de 40 – 60 cm foi superior ao observado nas demais profundidades (Tabela 2), apresentando média de 7,54. O menor valor de pH foi encontrado na profundidade de 0 – 20 cm (6,96). Observa-se que o pH teve comportamento quadrático, com curva ascendente, com o aumento da lâmina de irrigação até, aproximadamente 100% da ETc, reduzindo posteriormente (Figura 13).

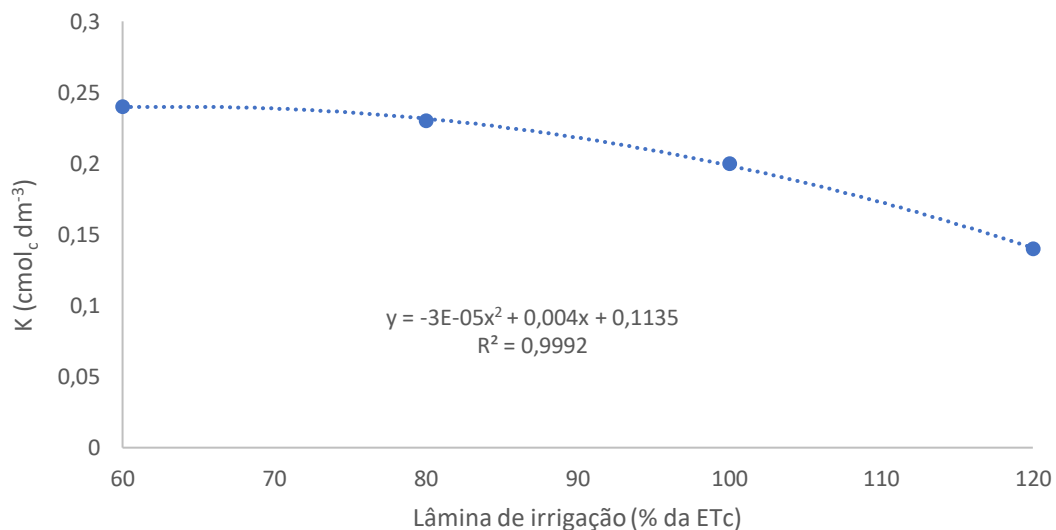
Figura 13 – Valores do pH no perfil do solo cultivado com coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUI (AveBrJ), sobre diferentes lâminas de irrigação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Houve efeito significativo das lâminas de irrigação ($p < 0,05$) nos teores de K do solo (Tabela 2), sendo que o aumento da lâmina de irrigação reduziu a sua disponibilidade no solo (Figura 14). Isso indica que o excesso de água aplicada via irrigação, principalmente em solos de textura mais arenosa, pode provocar a deficiência deste elemento para planta.

Figura 14 – Teores médios de potássio (K) no perfil do solo cultivado com coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE- JIQUI (AveBrJ), sobre diferentes lâminas de irrigação.



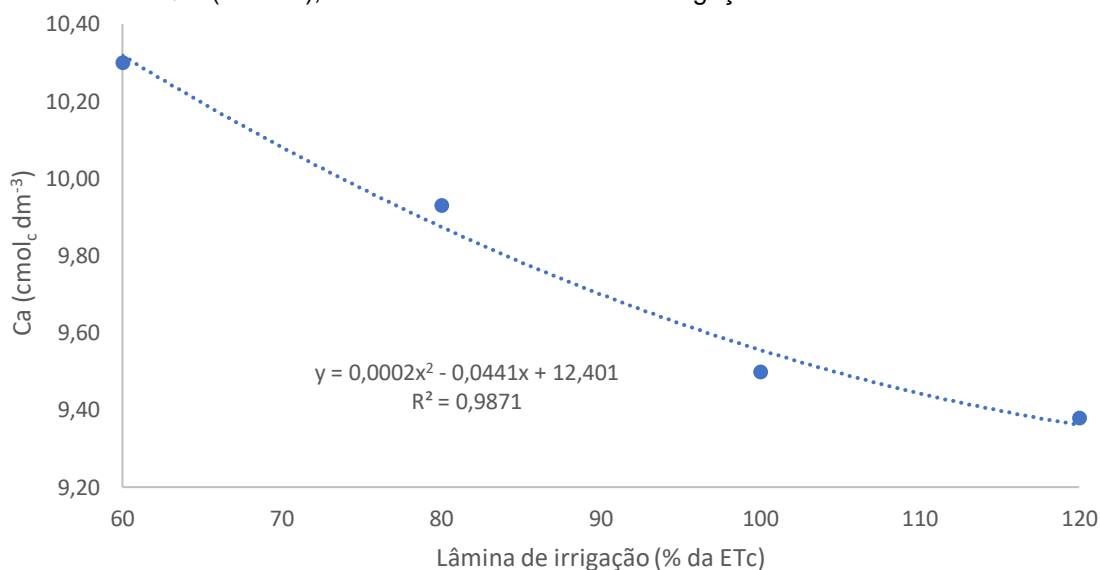
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Monqueiro *et al.* (2012) avaliou o efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação na lixiviação de K, em um Latossolo Vermelho distrófico de textura média.

Os resultados mostraram que uma lâmina de água de 10 mm é suficiente para transportar o K e, quando se utilizou uma lâmina de 30 mm, ocorreu a lixiviação de 149 kg ha^{-1} (presente em restos vegetais e na adubação aplicada). O deslocamento do K nas condições irrigadas, também está relacionada a sua maior mobilidade em solos arenosos (Faquin, 2005).

Houve efeito significativo ($p < 0,05$) das lâminas de irrigação nos teores de cálcio (Ca) no perfil do solo (Tabela 4). Similar ao observado para os teores de K, observa-se na Figura 15 que o aumento da lâmina de irrigação também reduziu a disponibilidade de Ca no solo, também indicando que o excesso de água pode provocar a movimentação deste nutriente no solo e, conseqüentemente, causar a deficiência deste elemento na planta. Hernandez; Gomes e Vanzela (2005) relata que sem a irrigação, os valores de cálcio nas camadas de 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-1,00, foram mais elevadas (26, 28 e 23 mmolc.dm^{-3} , respectivamente).

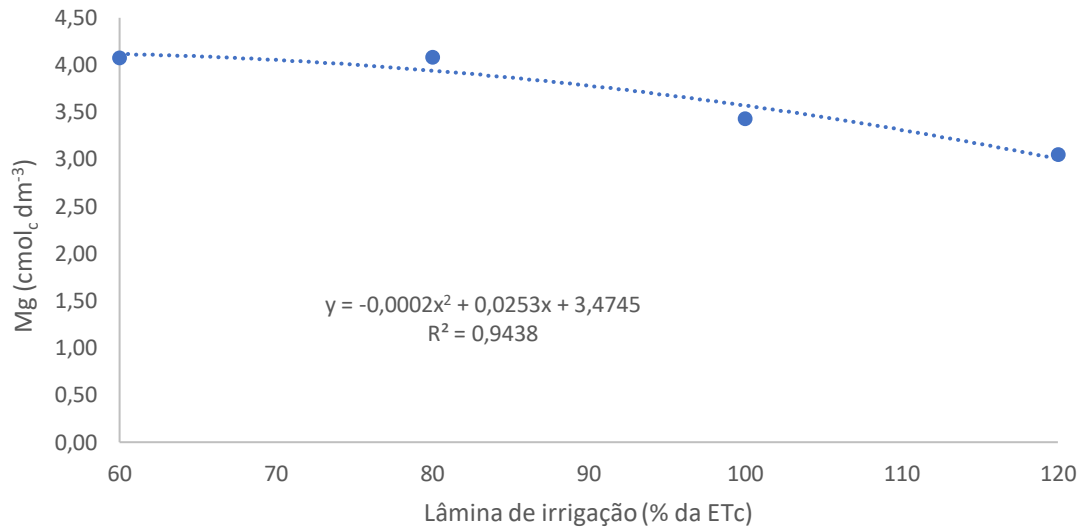
Figura 15 – Teores médios de cálcio (Ca) no perfil do solo cultivado com coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ), sobre diferentes lâminas de irrigação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

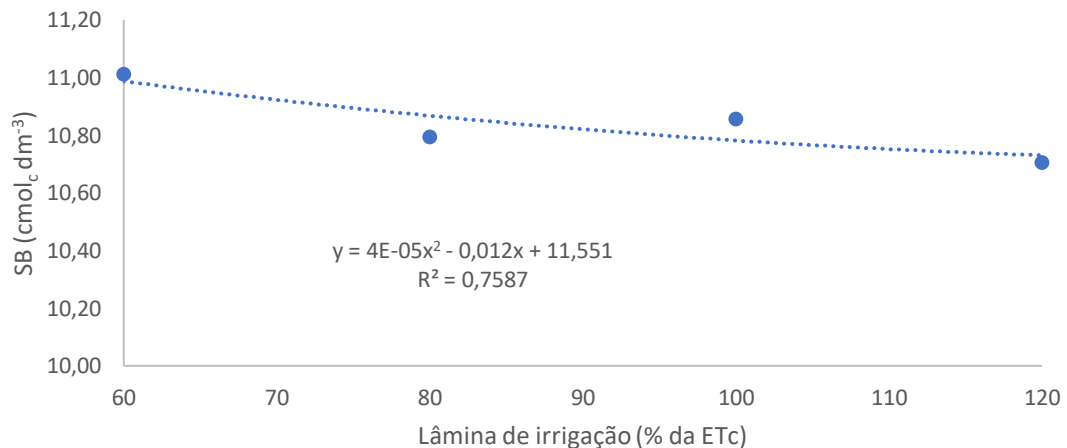
Similar ao observado para K e Ca, as lâminas de irrigação alteram os teores de Magnésio (Mg) e a soma de bases (SB) no perfil do solo, com diferenças estatisticamente significativas pelo teste F ($p < 0,05$) (Tabela 2). O aumento da lâmina de irrigação, observado nas Figuras 16 e 17, reduzem as médias dos teores de Mg e do valor da soma de bases no solo, indicando assim que o excesso de água pode provocar a deficiência dos principais elementos da soma de base do solo para planta.

Figura 16 – Teores de magnésio (Mg) no perfil do solo cultivado com coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUI (AveBrJ), sobre diferentes lâminas de irrigação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 17 – Soma de base (SB) no perfil do solo cultivado com coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUI (AveBrJ), sobre diferentes lâminas de irrigação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Saraiva e Matias (2023) observaram que o Ca e o Mg apresentaram boa distribuição no perfil do solo e destaca que o comportamento do magnésio no solo é muito similar ao do cálcio, indicando que os fatores que influenciam suas variabilidades no solo podem ser os mesmos.

Houve efeito significativo da profundidade do solo nos teores de sódio (Na) e Manganês (Mn), pelo teste de F à 1 e 5% de probabilidade de erro, respectivamente (Tabela 2). Observa-se nesta tabela que nas profundidades de 20 – 40 e 40 – 60 cm, os teores de Na foram superiores aos da profundidade de 0 – 20 cm, pelo teste de

Tukey ($p < 0,05$), indicando uma lixiviação deste elemento da primeira camada para as demais. Entretanto os teores de Mn, nas profundidades de 0 – 20 e 20 – 40 cm, foram superiores aos encontrados na camada de 40 – 60 cm, caracterizando um modelo de deslocamento diferente entre estes elementos para o ambiente de estudo (Veloso, 2024).

O mecanismo que governa o movimento do Mn até a raiz depende de propriedades do solo. Quando a concentração do Mn na solução do solo é baixa (extrato de saturação com manganês 0,4 μmolar), a difusão é o mecanismo preponderante; se a concentração é maior que 14 μmolar , o fluxo de massa é mais importante. Como a solubilidade do manganês é controlada pelas condições de pH e redox, estes fatores são importantes na determinação da quantidade de manganês em solução e, conseqüentemente, na sua lixiviação. Assim, o manganês não deve ser suscetível a lixiviação em solo com pH alto e bem drenado. Entretanto, intensa lixiviação ao longo do tempo pode ocorrer se o pH é baixo e as condições são anaeróbicas (Camargo, 2006).

A maior concentração dos nutrientes considerados móveis nas camadas mais profundas, para as maiores lâminas de irrigação, corrobora com a descrição que um dos principais problemas em sistemas de produção irrigados é a lixiviação dos íons no perfil do solo, sendo o excesso de água aplicada uma das principais causas de perdas de nutrientes, contribuindo sensivelmente para a acidificação do solo, redução da eficiência de uso dos fertilizantes e aumento de custos com adubação (Veloso, 2024).

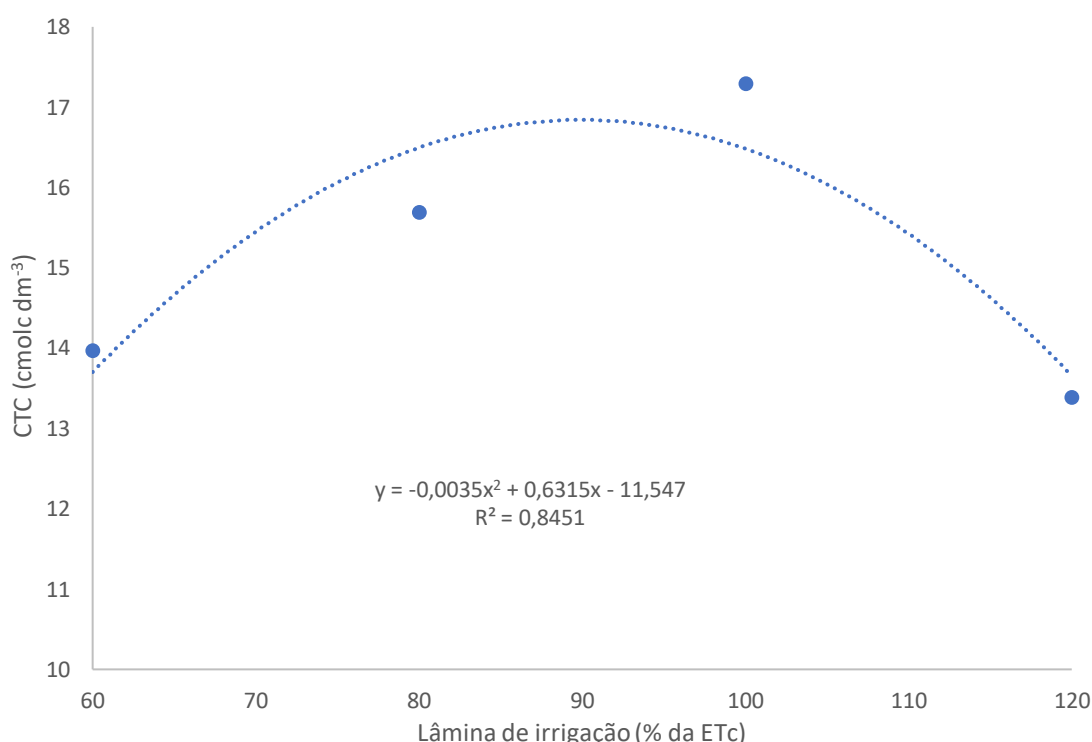
De uma forma geral, na avaliação da fertilidade do solo, observa-se que as lâminas menores aplicadas, apresentam os maiores teores de nutrientes em relação aos demais tratamentos. Vilas Boas *et al.* (2014), avaliando os efeitos de lâminas de irrigação e do nitrogênio no rendimento e na eficiência do uso da água na cultura da cebola, utilizando a fertirrigação por gotejamento, observaram um comportamento linear decrescente na eficiência do uso da água (EUA) e na produtividade total de bulbos de cebola, com valor máximo para EUA de 208,3 $\text{kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ na menor lâmina de irrigação (305,5 mm).

Vilas Boas *et al.* (2014) também observaram que a EUA, em cultivo de cebola, tinha comportamento linear crescente quando submetidos a tensões de água no solo cada vez maiores (15, 25, 35, 45, 60 e 75 KPa), obtendo um valor máximo de 105,1 $\text{kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ para tensão de 75 KPa (menor lâmina de água aplicada - 277mm).

Comparando-se com os resultados deste trabalho, observa-se que as alterações dos nutrientes no perfil do solo indicam que altas lâminas de irrigação podem proporcionar baixa eficiência no cultivo do coqueiro anão na região.

A capacidade de troca catiônica (CTC) também apresentou diferença estatisticamente significativa para a lâmina de irrigação aplicada (Tabela 2), sendo crescente com o aumento da lâmina de irrigação até aproximadamente 90% da ET_c, reduzindo posteriormente (Figura 18).

Figura 18 – Capacidade de troca catiônica (CTC) no perfil do solo cultivado com coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUI (AveBrJ), sobre diferentes lâminas de irrigação.



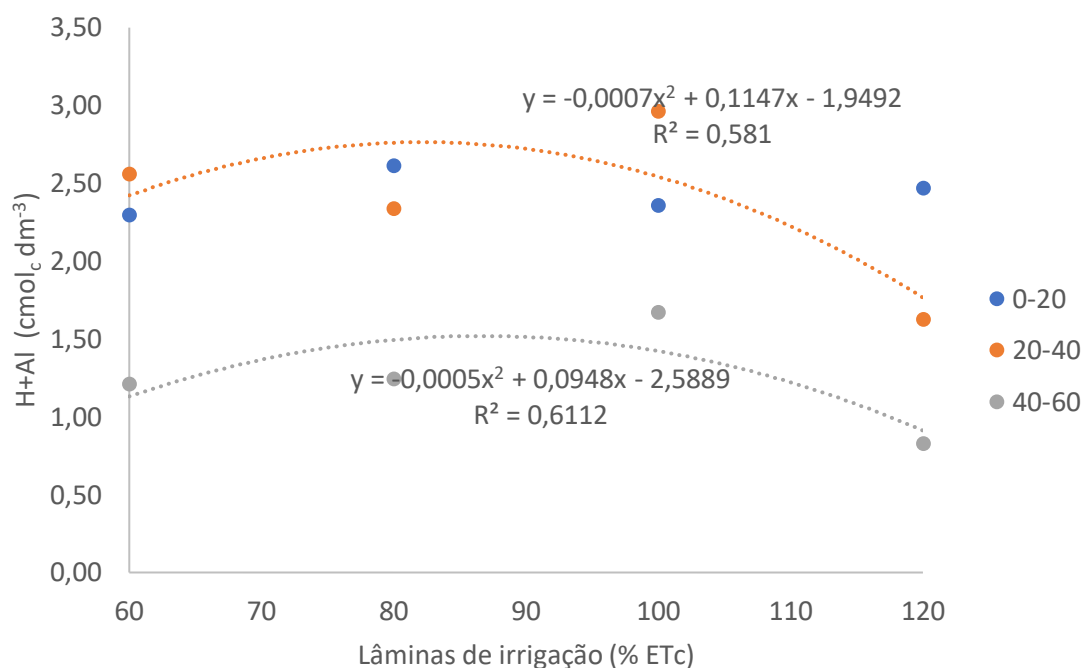
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Tabela 2, os resultados da ANOVA para os teores de H+Al no solo demonstraram a existência de interação significativa entre os fatores principais (profundidade e lâminas de irrigação), pelo teste de F à 5% de probabilidade de erro, o que acarretou na necessidade de proceder com os desdobramentos de tais fatores. Com relação a profundidade 20 – 40 cm, não foi possível o ajuste de um modelo matemático para descrever o comportamento dessa variável em relação à lâmina de irrigação, apresentando valor médio de H+Al de 2,37 cmolc dm⁻³.

Observa-se que, para as profundidades de solo de 0 – 20 cm e 40 – 60 cm (Figura 19), o comportamento da acidez potencial foi similar ao observado para CTC

do solo. Os valores de H+Al aumentaram com o incremento da irrigação até a lâmina de 80 % da ETc na profundidade de 0 - 20 cm e 90% da ETc na profundidade de 40 - 60 cm, com uma redução após estes valores. Estes resultados demonstram que a restrição hídrica e o excesso da água aplicada interferem negativamente na disponibilidade dos mesmos no perfil do solo.

Figura 19 – Acidez potencial (H+Al) nas camadas no perfil do solo cultivado com coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ), sobre diferentes lâminas de irrigação.



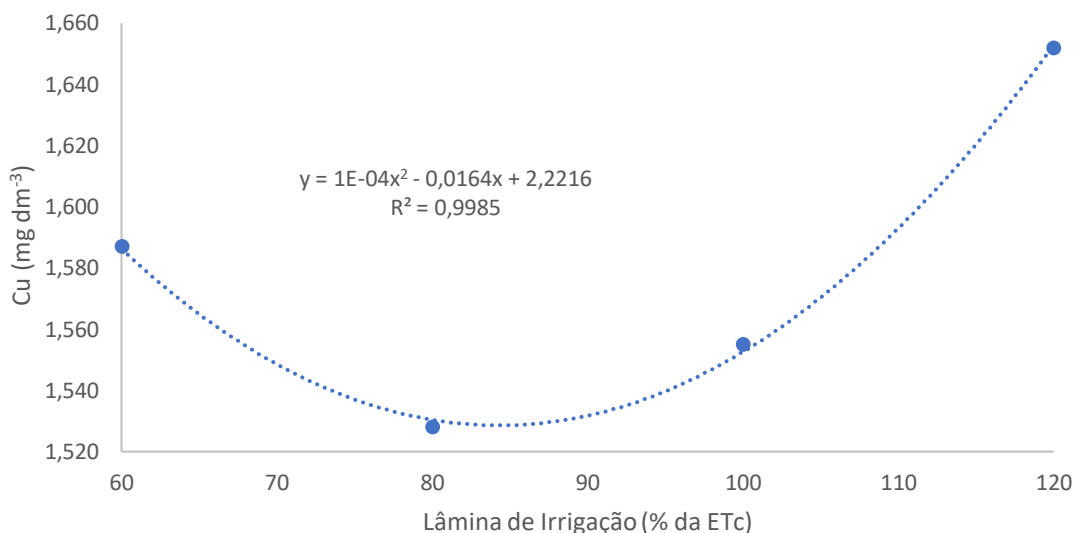
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Para os teores de cobre (Cu), apesar de não ter sido observado uma interação entre as lâminas de irrigação e as profundidades do solo, houve uma diferença significativamente para cada um dos fatores separadamente (Tabela 2). Observa-se que os teores de Cu foram maiores nas profundidades de 0 – 20 e 20 – 40 cm em relação aos da profundidade de 40 – 60 cm, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, similar ao observado para os teores de Mn.

A movimentação do Cu no perfil do solo ocorre, principalmente, por convecção (95 %). Camargo (2006) destaca que apesar desse mecanismo ser efetivo para movimentação a pequenas distâncias, ele não parece sê-lo para grandes distâncias, o que pode justificar a diferença do mesmo no perfil do solo encontrado neste trabalho, com pouco teor na camada mais profunda. O autor relata ainda que a lixiviação do Cu ocorre principalmente em solos arenosos e com pouca matéria orgânica.

Na Figura 20, observa-se que os teores de Cu no solo decrescem com o aumento das lâminas de irrigação aplicadas, até 85 % da ETc, aumentando novamente, obtendo-se o valor máximo na lâmina de 120% da ETc.

Figura 20 – Teores de cobre (Cu) no perfil do solo cultivado com coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ), sobre diferentes lâminas de irrigação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

As diferenças entre os deslocamentos dos micronutrientes observado nos resultados deste trabalho pode estar associado à mobilidade dos mesmos no solo. Alguns deles, como o Cu e o Zn, são fortemente retidos na fase sólida do solo, enquanto alguns não são adsorvidos ou, às vezes, são mesmo excluídos pelas cargas negativas das argilas. Estudos demonstram que dois mecanismos agem no movimento dos íons no perfil do solo: a difusão e o fluxo de massa (Oliveira; Rosolem e Trigueiro, 2004). Neste contexto, na aplicação de um pequeno volume de água os nutrientes podem ficar retidos em uma faixa no perfil do solo fora do alcance das raízes efetivas das plantas e um volume de água maior que a capacidade de retenção de água do solo pode lixiviar-los, podendo provocar uma deficiência às plantas.

Com relação a disponibilização e o movimento destes nutrientes no solo, Bingham *et al.* (1976) e Bingham e Cummings (1985) mostraram que sob condições redutoras a solubilidade do Cu e do Zn diminuem e a do Fe e do Mn aumentam. Camargo; Valadares e Dechen (1982) encontraram uma diminuição dos teores de Cu, Fe, Mn e Zn extraídos com DTPA quando amostras de diversos solos foram incubadas com água à capacidade de campo por sessenta dias (Camargo, 2006). Siddle e Kardos (1977) também relatam que o Zn não se movimenta muito por lixiviação,

mesmo em solos com pH 5,0, com a aplicação de lodo de esgoto em doses de 28 e 49 kg ha⁻¹

Os resultados observados com relação às lâminas de irrigação e ao movimento de íons no solo pode contribuir para o uso mais racional da água na irrigação, inclusive considerando a mobilidade no solo a capacidade de campo o equilíbrio entre as partes solidas, água e ar. Cabe salientar que a compreensão da relação entre a lâmina de irrigação e a mobilidade dos nutrientes no solo e nas plantas são essenciais para a produtividade agrícola, o que, bem feito, facilitará a manutenção dos nutrientes no complexo de troca evitando a lixiviação, melhorando absorção pelas raízes das plantas. Assim, os agricultores devem considerar o volume de água aplicado na irrigação e a mobilidade dos nutrientes ao planejar as lâminas e práticas agrícolas, para maximizar o rendimento das culturas e promover a sustentabilidade agrícola.

5.2 TEORES FOLIARES DE NUTRIENTES EM PLANTAS DE COQUEIRO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

Os resultados da ANOVA, apresentados na Tabela 3, demonstram que os teores de K, Ca, Mg, Na, S, B, Mn, Cu, Zn e Fe nas folhas do coqueiro não foram alterados de forma estatisticamente significativa ($p < 0,05$) em função das lâminas de irrigação aplicadas. Não havendo efeito das lâminas de irrigação para extração destes nutrientes, observa-se na Tabela 3, seus valores médios.

Tabela 3 – Análise de variância (ANOVA) e valores médios das características químicas nas folhas nº14 do coco año VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ) sob diferentes lâminas de irrigação.

	P	K	Ca	Mg	Na	S	B	Mn	Cu	Zn	Fe
Fatores	g kg ⁻¹										
Lâmina	3,23*	0,00 _{ns}	0,48 _{ns}	2,33 _{ns}	0,60 _{ns}	0,06 _{ns}	2,90 _{ns}	0,43 _{ns}	0,46 _{ns}	0,87 _{ns}	5,11 _{ns}
CV (%)	24,42	8,58	13,41	8,73	5,60	37,68	4,69	14,68	13,26	16,80	16,63
Média	0,67	48,94	3,19	3,81	10987,50	0,87	30,24	20,65	26,91	31,49	152,08

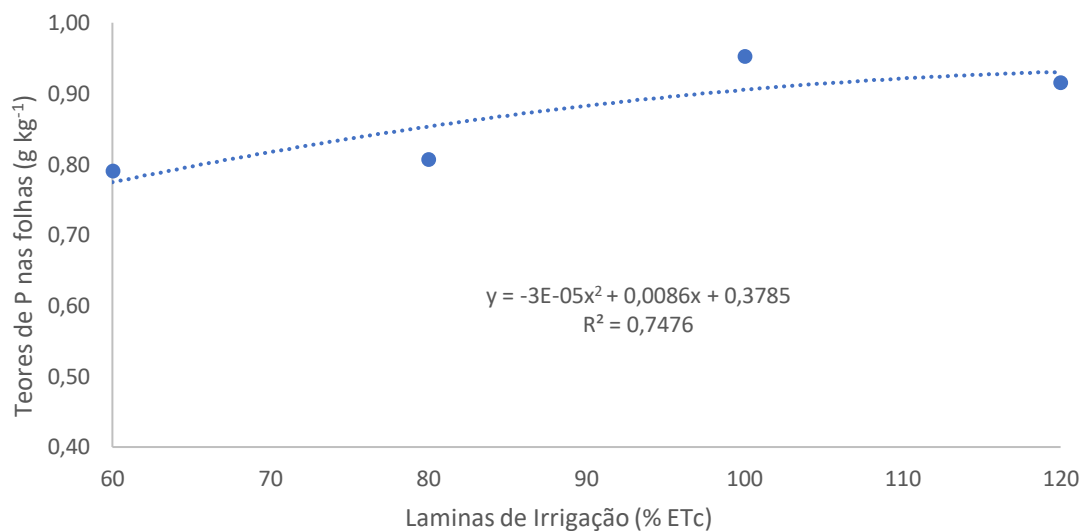
**** , * não significativo e significativo a 1 e 5 %, respectivamente**

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na Tabela 3, a análise de variância para o P na folha do coco demonstra que houve diferença significativa ($p < 0,05$) com relação as lâminas de irrigação. Assim, observa-se na Figura 21 que o aumento da quantidade de água no solo proporcionou uma maior absorção do P pela planta.

A mobilidade dos nutrientes nas plantas ocorre por meio dos vasos condutores de maneira tanto ativa quanto passiva. Nos vasos do xilema, a seiva bruta, composta por minerais dissolvidos na água e absorvidos pelas raízes, circula e é deslocada para as folhas e outros segmentos da planta. Esse processo é essencial para fornecer os nutrientes necessários ao desenvolvimento pleno da planta até a formação do fruto (Faquin, 2005), indicando que o aumento das lâminas também aumentou a disponibilidade do P para o coqueiro, cujas respostas observa-se nas folhas do mesmo na Figura 21.

Figura 21 – Variação dos teores de fósforo (P) nas folhas do coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ) sobre diferentes lâminas de irrigação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O déficit hídrico rigoroso diminui ou inibe a absorção de nutrientes pelas plantas, pois a água é o veículo por meio do qual os íons predominantemente se movimentam da solução do solo para o sistema radicular, principalmente para aqueles cuja principal via de contato do nutriente com as raízes se dá por fluxo de massa. Assim, a restrição hídrica no solo leva, obrigatoriamente, à deficiência de vários nutrientes (Silva, 2015).

Cabe salientar que o P é um macronutriente que é requerido em grande quantidade pelas plantas, pois participa de processos vitais para a células vegetais como metabolismo energético, transdução de sinais e fotossíntese e está presente nas células na forma de biomoléculas como proteínas quinases, ácidos nucleicos, adenina trifosfato (ATP) e lipídios das membranas celulares (Dechen e Nachtigall, 2007). Assim, cabe salientar que a redução do P pelas menores lâminas de irrigação,

pode proporcionar efeitos negativos para o desenvolvimento e produtividade da planta.

Os teores foliares médios de K, Mg, B, Cu, Fe e Zn (tabela 3) estão acima dos níveis críticos para cultura (Camboim Neto, 2002). No entanto, os teores médios dos macronutrientes Ca ($3,19 \text{ g kg}^{-1}$) e S ($0,87 \text{ g kg}^{-1}$) e do micronutriente Mn ($20,65 \text{ g kg}^{-1}$), nas folhas do coqueiro, estão abaixo dos níveis críticos para cultura, indicando a necessidade de uma adubação.

Neste contexto, cabe destacar que os valores de pH do solo são neutros ou levemente alcalinos (pH entre 6,85 – 7,80) (Tabela 2) o que se encontra fora do ponto de equilíbrio (pH entre 6,0 – 6,5) o qual a maioria dos nutrientes permanecem disponíveis às raízes. Neste contexto, esta informação pode justificar o resultado dos teores foliar de alguns nutrientes que reduzem a sua disponibilidade para planta com o aumento do pH.

5.3 AVALIAÇÃO PELA ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

As componentes principais 1 e 2 para os dados de fertilidade das camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm do solo e os teores foliares de nutrientes em coqueiros apresentou variâncias explicadas acumuladas semelhantes, equivalentes a 74,76; 75,67 e 75,19 %, respectivamente (Tabela 4).

Para a camada de 0-20 cm, as variáveis com maior importância na explicação da variabilidade dos dados na CP1, que explica 43,75 % da variância, foram os teores dos macronutrientes K e Ca, os teores dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn; e os teores foliares de P, Mg, B e Mn e devem estar relacionados à mobilidade dos íons e às lâminas aplicadas, que foram usadas como variável suplementar, que também apresentou maior peso também na CP1 (Tabela 4; Figura 22).

Essa variável apresentou correlação inversa com os teores dos nutrientes no solo que foram significativos na CP1 (K, Ca, Cu, Fe, Mn e Zn) indicando que seu aumento reduziu esses teores devido sua movimentação no perfil pelo excesso de água aplicada. Apresentou também correlação positiva com os teores foliares de P, Mg e Mn e negativa com o teor foliar de B e Na. Vale destacar que o B e o Na são elementos considerados móveis no solo, sendo lixiviado com mais facilidade. Provavelmente o aumento das lâminas reduziu a disponibilidade desses nutrientes no

solo, reduzindo sua absorção pelas plantas. No caso do P e do Mn. Como são absorvidos por difusão, podem ter sido beneficiados pelo aumento da umidade no solo, principalmente quando o elemento tem baixa mobilidade e menor risco de lixiviação, como o P. O Mg pode ter sido beneficiado pela redução dos teores de Ca no solo, reduzindo a relação Ca/Mg, aumentando sua absorção preferencial pelas plantas.

Tabela 4 - Coeficientes de correlação entre cada componente principal e as variáveis analisadas

Variável	0-20 cm			20-40 cm			40-60 cm		
	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3	CP 1	CP 2	CP 3
CE (dS m ⁻¹)	-0,33	-0,94	0,09	0,45	-0,59	0,68	0,07	1,00	-0,04
pH	0,55	-0,38	0,74	-0,76	0,54	-0,35	0,45	-0,61	-0,65
P (mg dm ⁻³)	-0,10	0,00	0,99	-0,07	-0,48	-0,88	0,75	-0,53	-0,40
K (cmol _c dm ⁻³)	-0,95	0,18	0,27	0,17	0,97	-0,16	0,60	-0,74	0,29
Na (cmol _c dm ⁻³)	0,53	-0,73	0,43	-0,81	-0,34	-0,47	-0,68	-0,02	-0,73
Ca (cmol _c dm ⁻³)	-0,89	0,46	-0,03	-0,78	0,38	-0,49	0,89	-0,06	-0,46
Mg (cmol _c dm ⁻³)	-0,09	-0,56	0,82	0,58	0,81	0,09	0,90	0,37	-0,22
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	-0,13	-0,77	-0,63	0,02	0,90	-0,43	-0,40	-0,39	-0,83
Cu (mg dm ⁻³)	-0,87	0,27	-0,41	0,82	-0,16	-0,55	0,90	-0,38	0,22
Fe (mg dm ⁻³)	-0,98	-0,05	0,20	0,75	0,57	-0,33	-0,93	0,35	0,04
Mn (mg dm ⁻³)	-0,98	0,10	0,18	0,89	0,43	0,12	0,94	-0,04	0,35
Zn (mg dm ⁻³)	-0,96	0,07	0,28	0,94	-0,20	0,28	-0,74	0,01	0,67
P (g kg ⁻¹)	0,71	-0,32	0,63	-0,27	-0,14	-0,95	0,00	-0,57	-0,82
K (g kg ⁻¹)	-0,36	-0,70	-0,62	-0,75	-0,05	0,66	0,24	0,96	-0,15
Ca (g kg ⁻¹)	0,59	0,54	-0,60	0,47	-0,88	0,12	-0,99	0,04	0,12
Mg (g kg ⁻¹)	0,76	0,16	-0,63	0,09	-1,00	0,02	-0,95	0,20	-0,25
S (mg kg ⁻¹)	-0,46	-0,84	0,29	-0,80	0,60	0,02	0,87	0,32	-0,36
B (mg kg ⁻¹)	-0,94	-0,32	0,15	-0,28	0,84	0,46	0,88	0,32	0,35
Cu (mg kg ⁻¹)	0,05	-0,95	-0,30	-0,98	-0,15	0,15	0,25	0,70	-0,66
Fe (mg kg ⁻¹)	0,57	-0,77	-0,29	-0,80	-0,57	-0,18	-0,19	0,44	-0,87
Mn (mg kg ⁻¹)	0,75	0,60	0,29	0,61	-0,44	-0,66	-0,64	-0,76	-0,11
Zn (mg kg ⁻¹)	0,18	-0,86	-0,47	-0,91	-0,37	0,20	0,03	0,76	-0,65
Na (mg kg ⁻¹)	-0,70	-0,14	-0,70	-0,19	0,11	0,98	0,17	0,85	0,49
*lâminas	0,92	-0,36	-0,15	-0,39	-0,78	-0,48	-0,55	0,03	-0,84
Autovalores	10,06	7,13	5,80	9,73	7,67	5,60	10,46	6,84	5,71
Variância explicada (%)	43,75	31,01	25,24	42,31	33,36	24,34	45,47	29,72	24,81

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A CP2, proporcionou a explicação de 31,01 % da variabilidade dos dados, tendo como variáveis mais importantes a CE, o teor de (Na) e a acidez potencial no solo, os teores foliares de K, S, Cu, Fe e Zn. Todas as variáveis apresentaram relação

direta com a CE e com a acidez potencial do solo que representa parte da CTC e da capacidade tampão do solo.

Na CP3, as variáveis mais importantes foram o pH e os teores de P e Mg no solo, que apresentaram correlação positiva entre si, e o teor de (Na) no tecido foliar, com correlação negativa com as variáveis do solo Tabela 2. Os resultados indicam que o aumento do pH do solo, aumentou a disponibilidade de P e Mg e reduziu a absorção de (Na) pelas plantas.

Para a camada de 20-40 cm, as variáveis com maior importância na explicação da variabilidade dos dados na CP1, que explica 42,31 % da variância, as mais importantes foram o pH e os teores dos macronutrientes Na e Ca, os teores dos micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn no solo; e os teores foliares de K, S, Fe e Zn (Tabela 4; Figura 23). O pH apresentou relação direta com os teores de Na e Ca do solo e indireta com os teores de micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn) indicando que valores mais altos de pH aumentam os teores de Na e Ca, mas reduzem o dos micronutrientes no solo. O pH apresentou também correlação direta com os teores foliares de K, S, Cu, Fe e Zn, indicando que a redução dos teores de micronutrientes no solo não reduziu a absorção destes pelas plantas.

Apesar de uma boa absorção destes nutrientes depender de uma faixa de pH levemente ácido, o pH do solo, numa faixa ligeiramente alcalina, não afetou a absorção pelas plantas, exceto o Mn onde faixa ideal de pH para absorção e de 6,0 a 6,5 se observa que na (Tabela 3) a faixa de pH é superior a 7,0 tornado assim o ambiente do solo em condições desfavoráveis para a absorção do manganês, apresentando assim deficiência nas plantas em todos os tratamentos, apesar dos teores considerados elevados no solo (Tabela 2), de acordo com Brasil e Cravo (2020).

A CP2, proporcionou a explicação de 33,36 % da variabilidade dos dados, sendo que as variáveis de maior importância foram os teores dos macronutrientes K e Mg e a acidez potencial no solo, os teores foliares de Ca, Mg e B, além das lâminas de irrigação. Como esta variável suplementar só foi significativa na segunda CP, mostra que ela teve uma menor importância para a variabilidade dos dados nessa camada do solo, em relação à camada mais superficial.

A acidez potencial apresenta relação direta com o teor foliar de B, Ca e Mg no solo, mostrando que o aumento da CTC promove o aumento da disponibilidade dos cátions trocáveis e mantém mais o B e Mg no solo facilitando sua absorção. As

lâminas apresentam relação favorável com o teor foliar de Ca, provavelmente porque trata de um elemento de baixa mobilidade no solo facilitando assim a sua mobilidade e absorção.

O cálcio movimenta-se no solo principalmente por fluxo de massa, inclusive chegando teores de Ca até a raiz muito maiores do que aquele efetivamente absorvido, há também participação significativa da interceptação radicular, sendo esta responsável por cerca de 35% do Ca que chega à raiz, conta também com uma faixa ideal de pH igual ou maior que 6,5 porque a sua disponibilidade está relacionada com o pH do solo (Devechio, 2023). Pela maior manutenção do Mg no solo, que alteraram as relações entre estes nutrientes Ca e Mg desbalanceado, favorecendo mais o Mg o elemento se destaca com bons níveis no solo e nas folhas, apresentado assim uma relação direta positiva favorável a lâmina uma vez que é considerado um elemento com boa mobilidade no solo e na planta. Os principais fatores que afetam a sua disponibilidade às plantas são as quantidades totais de Mg trocável e a sua concentração relativa ao grau de saturação do complexo de troca e, também, em relação aos demais cátions predominantes nesse complexo (Embrapa, 2020).

A lâmina de irrigação apresentou relação indireta com os teores de K no solo e com os teores foliar de K, indicando que o aumento da lâmina pode ter comprometido absorção do nutriente provavelmente devido movimentação destes no perfil do solo e como também o desequilíbrio da relação Ca, Mg e K os teores de cátions trocáveis estão em equilíbrio com os teores de cátions da solução do solo, e quando um deles é removido da solução, pode ocorrer a reposição dos teores trocáveis pela troca com outros cátions da solução. Podendo ter comprometido absorção do nutriente pelas plantas proporcionando redução destes nutrientes no tecido foliar (Devechio, 2023).

Na CP3, as variáveis mais importantes foram os teores de P no solo e de P e Na no tecido foliar, tendo o P do solo apresentado correlação positiva com o P foliar e positiva com o teor de (Na) no tecido foliar (Tabela 23). Os resultados indicam que o aumento do teor de P do solo e da absorção de P pelas plantas, devem estar relacionado com a manutenção do elemento no solo e as lâminas aplicadas uma vez que os fosfatos adicionados como fertilizantes se dissolvem, passando para a solução do solo onde sua absorção se dar pelas plantas, apesar de apresentar baixa mobilidade no solo, alto potencial de fixação em decorrência da baixa solubilidade dos compostos de fósforo formados no solo e da forte tendência de adsorção destes pelo

solo, a maior parte do P passa para a fase sólida na qual fica em parte como P lábil, passando gradativamente para P não lábil.

Já na planta no floema a mobilidade do P apresenta alta mobilidade, sendo prontamente móvel na planta no sentido ascendente, na forma de fosforilcolina (Devechio, 2023). Enquanto aumentou a absorção de (Na) pelas plantas, devem estar relacionados com as lâminas uma vez presente na água aplicada já que o sódio é um cátion de alta solubilidade. Quando existem altos teores do elemento no solo, pode ocorrer um aumento na condutividade elétrica (e consequentemente salinidade), aumentando o potencial osmótico no solo, o que causa distúrbios e prejudica o desenvolvimento das plantas. O sódio pode ser adsorvido aos colóides do solo, e quando se encontra em altas concentrações, pode deslocar o magnésio, cálcio e o potássio desse complexo de troca, podendo alterar a estrutura do solo (Faquin, 2005).

Para a camada de 40-60 cm, as variáveis com maior importância na explicação da variabilidade dos dados na CP1, que explica 45,47 % da variância, foram os teores dos macronutrientes P, Ca e Mg os teores dos micronutrientes Cu, Fe, Zn e Mn; no solo e os teores foliares de Ca, Mg, B e S e devem estar relacionados à mobilidade dos íons e às lâminas aplicadas, que foram usadas como variável suplementar, que também apresentou maior peso também na CP1 (Tabela 3; Figura 24). Essa variável apresentou correlação inversa com os teores dos nutrientes no solo que foram significativos na CP1 (Cu, Fe, Zn e Mn) indicando que seu aumento reduziu esses teores nas folhas devido sua movimentação no perfil pelo excesso de água aplicada. Apresentou também correlação positiva com os teores foliares de Ca, Mg, S, B e negativa com o teor foliar de P, Fe, Cu, Mn e Zn. Vale destacar que o Mn, Zn devido a sua mobilidade dos elementos no solo, sendo lixiviado com facilidade, provavelmente o aumento das lâminas reduziu a disponibilidade desses nutrientes no solo, reduzindo sua absorção pelas plantas.

Os resultados indicam que o pH elevado do solo devido a sua rocha origem e os altos teores de carbonato de cálcio no solo, contribuíram para elevação dos valores do pH, deixando os nutrientes P, Fe e Cu fora da faixa do valor ideal para absorção pelas plantas considerando que são nutrientes de baixa mobilidade no solo não tiveram influência das lâminas aplicadas. No caso do Ca e do Mg. Como são absorvidos por difusão, podem ter sido beneficiados pelo aumento da umidade no solo, principalmente quando o elemento tem baixa mobilidade e menor risco de

lixiviação, pode ter sido beneficiado aumentando sua absorção preferencial pelas plantas (Devechio, 2023).

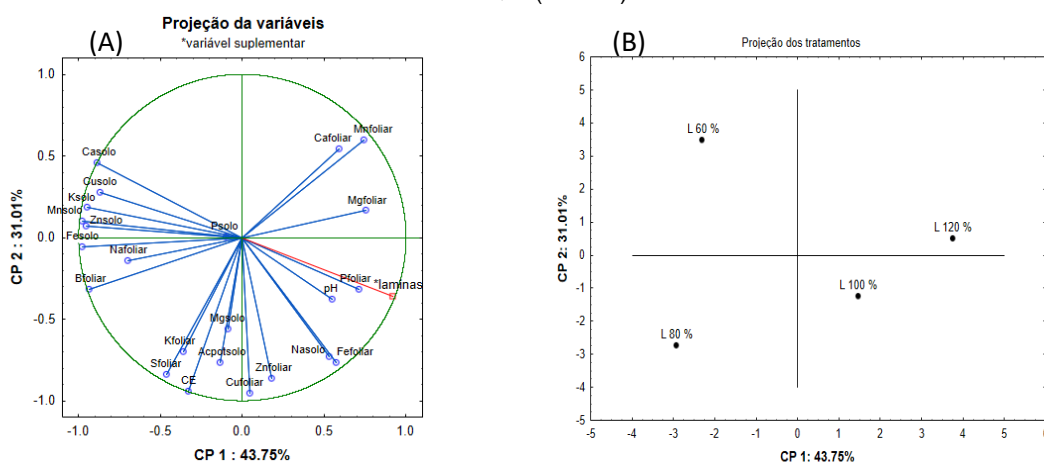
A CP2, proporcionou a explicação de 29,72 % da variabilidade dos dados, tendo como variáveis mais importantes a CE, o teor de K no solo, os teores foliares de K, Mn, Na, Cu e Zn. Todas as variáveis apresentaram relação direta com a CE e que demonstra a possibilidade de lixiviação dos nutrientes e o aumento da concentração de sais solúveis no solo devido as lâminas de irrigação. A lâmina de irrigação apresentou relação direta com os teores de K no solo e com os teores foliar de K, indicando que o aumento da lâmina pode ter contribuído para absorção do nutriente pela planta provavelmente devido ser altamente solúvel, alta mobilidade e de fácil movimentação destes no perfil dos solos. Já para o aumento da absorção dos nutrientes Mn, Na, e Zn apesar de seus valores no solo não ter se destacado, as lâminas apresenta relação favorável com os teores foliar considerando que são elementos com alta mobilidade no solo e são absorvidos através do fluxo de massa. A lâmina apresentou também correlação favorável com o Cu uma vez que é absorvido por fluxo de massa, apesar de ter baixa mobilidade no solo poder ser que o elemento esteja ligado a quelados e com o aumento da lâmina facilitado a absorção pelas plantas (Devechio, 2023).

A CP3, proporcionou a explicação de 24,81 % da variabilidade dos dados, tendo como variáveis mais importantes o teor de (Na) e a acidez potencial no solo, que representa parte da CTC e da capacidade tampão do solo, e o teor de P e Fe no tecido foliar, com correlação negativa para o elemento (Na) nas folhas que pode ter sido lixiviado com o aumento da lâmina de irrigação considerando a sua alta mobilidade no solo. Os teores P e Fe se destacaram nas folhas, no caso do Fe a absorção pelas plantas se dar através do mecanismo fluxo de massa (é predominante), mas difusão e interceptação radicular também contribuem para o contato íon-raiz, considerando o aumento da lâmina o volume do fluxo de massa aumentou proporcionado a absorção do Fe. No caso do P foi adicionado fertilizantes na forma de supersimples, na quantidade de $1,6 \text{ kg planta}^{-1}$ que se dissolvem, passando para a solução do solo que foi logo absorvido pelas raízes das plantas, e o restante em decorrência da baixa solubilidade dos compostos de fósforo formados no solo e da forte tendência de adsorção destes pelo solo, a maior parte do P passa para a fase sólida na qual fica em parte como P lábil, passando gradativamente para P não lábil indisponível para as plantas (Devechio, 2023).

Também pode ter havido a lixiviação do P para as camadas mais profundas de 1 m do solo através de fluxo convectivo uma vez que o solo dá área não tem cobertura vegetal estando exposto as intempéries climáticas ou como o solo e de textura argilosa predomina os microporosos textura mais fina, sendo assim, o P pode ter sido transportado mais rápido devido as maiores lâminas aplicadas, e, não houve tempo suficiente para o fósforo difunde-se para o interior dos agregados uma vês que a velocidade de escoamento pode ter sido alta em função das lâminas aplicadas.

Sobrepondo-se as figuras 22A e B, na camada de 0-20 cm, observa-se que a L 60 % proporcionou os menores teores foliares de Cu, Zn, Fe e P, além de menores pH e teor de (Na) no solo, enquanto o tratamento referente à L 100 % apresentou comportamento contrário. O uso da L 80 % proporcionou maiores teores foliares de K e S, de Mg no solo, CE e acidez potencial, além de menores teores foliares de Ca, Mg e Mn. A principal característica da L 120 % são os menores teores de nutrientes no solo (Ca, K, Mn, Cu, Zn e Fe), além de menores teores foliares de B e Na.

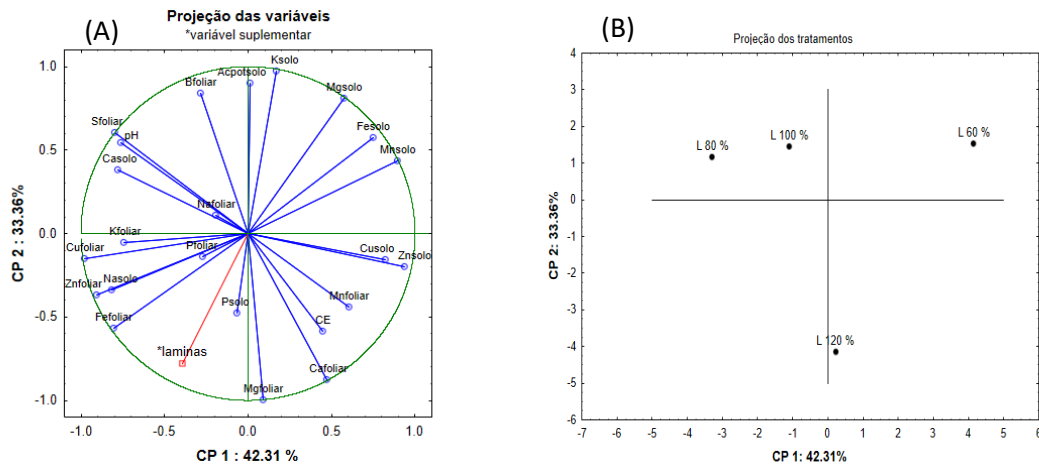
Figura 22 - Projeção das variáveis no perfil de 0-20 cm do solo, em função das lâminas de irrigações aplicadas na cultura do coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ).



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Sobrepondo-se as Figuras 23A e B, no perfil de 20-40cm, observa-se que a L 60% e L 120 % proporcionou os menores teores foliares de Cu, Zn, Fe, Mg e Ca, além de menores teores de S, K, Mg, Mn, Fe e Zn no solo, enquanto o tratamento referente à L 80 % apresentou comportamento contrário. O uso da L 100 % proporcionaram maiores teores foliares de P e Na, de P no solo, acidez potencial.

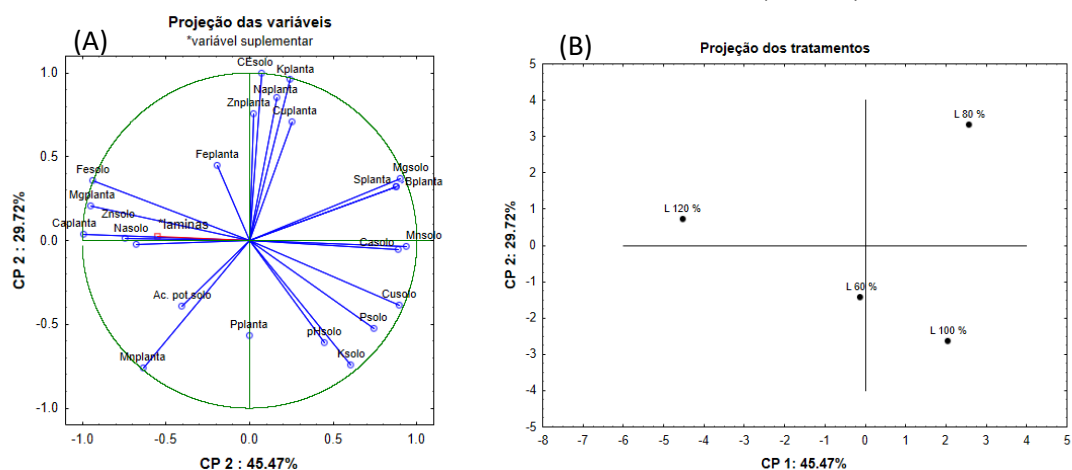
Figura 23 - Projeção das variáveis no perfil de 20-40 cm do solo em função das lâminas de irrigações aplicadas na cultura do coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ).



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com relação à camada de 40-60 cm, sobrepondo-se os gráficos biplot que apresentam a projeção das variáveis e dos tratamentos (Figuras 24A e B), observa-se que a L 80 % e L 120% proporcionou os menores teores foliares de K, B, Mn, Ca, e Mg além de menores CE e teor de Mg, Mn, Zn, Cu, K e Fe no solo, enquanto o tratamento referente a L 60 % apresentou comportamento contrário. O uso da L 80 % proporcionou maiores teores foliares de Fe, Cu, P e no solo Na e Ca, além de menores teores foliares de Ca e Mn. A principal característica da L 120 % são os menores teores de nutrientes no solo K, Ca, Mg, Cu e Mn, além de menores teores foliares de S, B e Na.

Figura 24 - Projeção das variáveis no perfil de 40-60 cm do solo em função das lâminas de irrigações aplicadas na cultura do coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUI (AveBrJ).



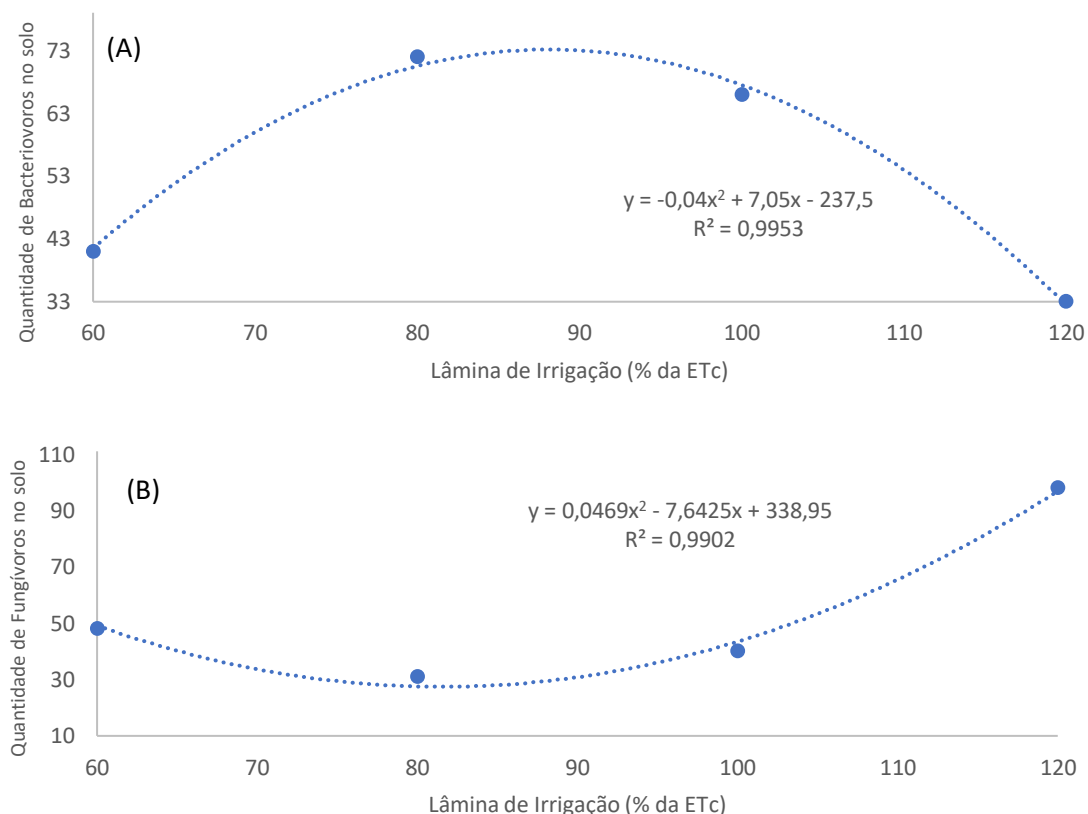
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

5.4 MICROORGANISMOS DO SOLO

5.4.1 Nematofauna no solo

Com relação ao efeito das lâminas de irrigação na população dos nematoides encontrados no solo cultivado com o coqueiro anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUI (AveBrJ), observa-se na Figura 25 A que, para os nematoides Bacterívoros, as maiores quantidades foram observadas na lâmina de 88 % da ETc, sendo a menor quantidade verificada nas lâminas de 60 e 120% da ETc. Já para os nematoides Fungívoros as maiores concentrações foram para a maior lâmina de irrigação aplicada, de 120% da ETc (Figura 25 B).

Figura 25 – População dos nematoides e Fungívoros (A) e Bacterívoros (B) no solo cultivado com coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUI (AveBrJ), sobre diferentes lâminas de irrigação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com relação aos *Onívoros* e os *Fitonematoides*, estatisticamente, as lâminas de irrigação testadas não influenciaram nas suas populações, sendo suas médias encontradas de 61,7 e 32,0, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5. Quantidade de nematoides em 100 ml de solo coletado nas parcelas do experimento com coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ), sob diferentes lâminas de irrigação.

Lâminas de irrigação	<i>Onívoros</i>	<i>Fitonematoides</i>
60 % da ETc	43	25
80 % da ETc	68	20
100 % da ETc	66	57
120 % da ETc	70	26
Média	61,7	32

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com relação as alterações das populações de nematoides observadas, cabe salientar que agroecossistemas são geralmente estabelecidos como monoculturas, e práticas de manejo associadas resultam em modificações na estrutura do solo, que, por sua vez, causam maiores flutuações de umidade e temperatura, em relação a áreas não cultivadas. Assim, provavelmente com as atividades de monocultura desenvolvidas na área do coco irrigado, o baixo teor de matéria orgânica da região do semiárido, e o solo de textura argiloso pode ter comprometido o desenvolvimento populacional da microfauna (nematoides), uma vez que a falta da vegetação nativa e a não rotação de cultura comprometem o desenvolvimento de outros gêneros de nematoides, como também a multiplicação dos nematoides já existentes no solo.

Neste contexto, cabe ressaltar ainda que, um solo bem nutrido nem sempre é sinônimo de produtividade. Condiciona e assegura a absorção de nutrientes pela planta, participa das transformações químicas e afeta diretamente a atividade dos microrganismos que são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica (Marchioti, 2023). O solo com baixo teor de matéria orgânica torna o fornecimento de alimentos cada vez mais escasso para a micro fauna limitando o seu alimento. A textura argilosa também tem a característica de dificultar mais ainda a sua locomoção, tendo que gastar mais energia à busca de alimentos em um ambiente com alta escassez de alimentos, comprometendo a proliferação de nematoides já existentes no solo, como também o desenvolvimento de nematoides de outros gêneros.

Segundo (Doihara, 2015 apud Tihohod,1993), em resumo, solos secos ou saturados de água são sempre desfavoráveis à sobrevivência da maioria dos nematoides, como observado para população dos Bacterívoros (Figuras 25 A), em que as menores populações estão nas maiores e menores lâminas de irrigação testadas.

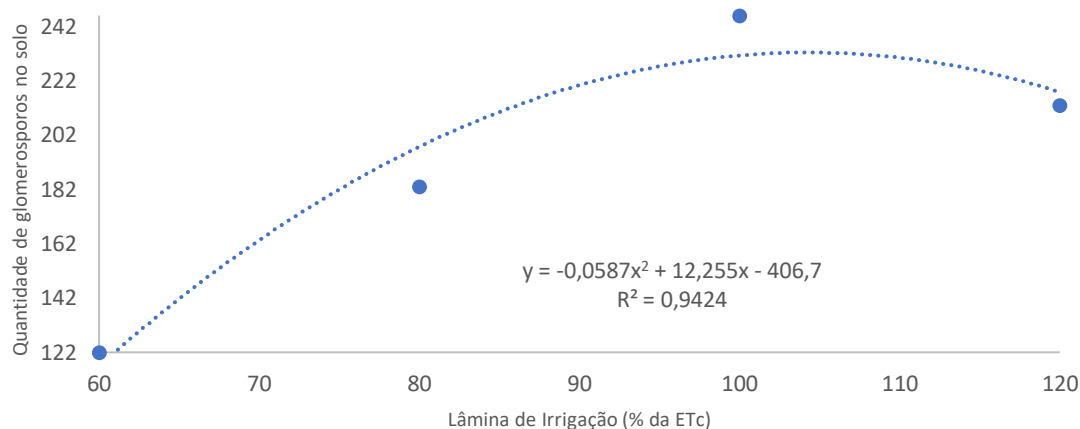
O excesso ou o baixo volume de água no solo podem inibir o estabelecimento e a permanência de muitos nematoides. Entretanto a agricultura favorece alguns nematoides que são capazes de sobreviver e se reproduzir em um ambiente de frequentes mudanças, inclusive em relação a fontes de alimento. Portanto, comunidades de nematoides em agroecossistemas geralmente apresentam riqueza e diversidade mais baixas que em áreas naturais (Goulart, 2007).

Segundo (Doihara, 2015 apud Tihohod, 1993), solos muito argilosos dificultam a movimentação dos nematoides e encharcam facilmente. Já os solos arenosos são mais bem drenados, porém, provocam grandes oscilações no teor médio de umidade. Em resumo, solos secos ou saturados de água são sempre desfavoráveis à sobrevivência da maioria dos nematoides.

5.4.2 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) no solo

Avaliando-se a colonização de fungos micorrízicos nas raízes do coqueiro anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ), sobre diferentes lâminas de irrigação, não foi identificada a ação dos mesmos. Entretanto, com relação a população dos fungos micorrízicos arbusculares presentes no solo, observa-se na Figura 26 que houve diferença significativa da densidade de glomerosporos em função das lâminas de irrigação aplicadas. Verifica-se que a densidade de glomerosporos aumentou até a lâmina de irrigação de 104 % da ET_c, no qual observou-se 232,9 esporos do fungo por 100 ml de solo. A menor quantidade de esporos observada foi para lâmina de irrigação de 60% da ET_c, em que o solo estava mais seco.

Figura 26 – Quantidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em 100 ml de solo coletado nas parcelas do experimento com o coqueiro anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUI (AveBrJ) sob diferentes lâminas de irrigação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O crescimento e a atividade dos microrganismos no solo são afetados por diversos fatores bióticos (relações entre as comunidades microbianas) e abióticos (relacionados ao ambiente). Dentre os fatores abióticos, os mais importantes são: umidade, o que corrobora com o resultado encontrado para as lâminas de irrigação deste trabalho, temperatura, disponibilidade de oxigênio, pH e disponibilidade e proporção de nutrientes presentes no substrato, onde todos atuam de forma iterativa, e por isso, nenhum é mais ou menos importante para os microrganismos (Elevagro, 2022).

Os microrganismos do solo suportam diferentes faixas de pH. De forma genérica, as bactérias preferem valores de pH mais elevados, de 5 a 8. Já os fungos preferem as condições mais ácidas, pH de 4 a 6, o que pode explicar a baixa colonização encontrada neste trabalho que tem pH acima de 7 (Tabela 2). Assim, o pH do solo refletirá em formações de populações microbianas um pouco diferentes para cada faixa (Elevagro, 2022).

Neste contexto, o desenvolvimento dos fungos micorrízicos no solo foi comprometido, uma vez que não haviam condições ideais para seus desenvolvimentos, em se tratando de uma região de semiárido com solos com baixo teor de matéria orgânica, altos teores de argilas, com baixa porosidade e pH acima de 7,0 criando um ambiente alcalino. Destaca-se também, como ambiente não favorável a proliferação dos fungos no solo, a baixa porosidade e as lâminas de irrigação, que saturam facilmente o solo com água, eliminando o ar do solo criando uma condição desfavorável para o habitat natural dos fungos, uma vez que dependem da existência desses poros preenchidos com ar para sua existência. Outro fator que contribuiu para

não proliferação, provavelmente, foi a falta de alimentos, considerando a monocultura do coco na área, baixo teor de matéria orgânica, criando um ambiente com alta escassez de alimentos e o pH acima de 7,0 favorece um ambiente alcalino, desfavorecendo uma faixa de crescimento para os fungos.

Carvalho (2015) verificou decréscimo dos teores de matéria orgânica em profundidade no solo, provavelmente, em função da redução na quantidade de raízes e da atividade de microrganismos, que são suas principais fontes de matéria orgânica no solo. No entanto, sob condições irrigadas, os teores foram em média, 24,2, 46,7, 38,1 e 45,8% menores que em condição de sequeiro, nas profundidades de 0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60-1,00 m, respectivamente. Provavelmente, a baixa umidade do solo em condição de sequeiro, desfavorece o processo de mineralização da matéria orgânica, mantendo assim, a sua concentração mais alta em relação aos solos irrigados (Hernandez; Gomes e Vanzela, 2005).

No Semiárido da Paraíba, Souto *et al.* (2008) avaliando a comunidade microbiana em ambientes de Caatinga constataram que o conteúdo de água do solo é regulador do desenvolvimento desta comunidade edáfica, podendo o crescimento da microbiota está limitado por diversas situações, como a baixa disponibilidade de água no solo, temperatura do solo acima de 30 °C e também da reduzida oferta de alimento para esses organismos (Santos *et al.*, 2016).

Diagnosticando os níveis de degradação ambiental com base nos atributos microbiológicos, no sertão da Paraíba, Oliveira; Furtunato e Lima (2013), observaram também que em todas as amostras das áreas coletadas (desmatada, desmatada e queimada, e área mata nativa) nas épocas chuvosa e seca, foram detectadas presenças de bactérias, fungos, actinomicetos e solubilizadores de fosfato, sendo a densidade destes influenciadas pela ação antrópica e pela sazonalidade (Carreiro *et al.*, 2016).

Os baixos níveis da vida da microfauna do solo observado podem estar relacionados ao fato de se tratar de uma área cultivada com baixos níveis tecnológicos de conservação e manejo de solo aplicado como: não existência de rotação de cultura ou consórcio da cultura perene com uma cultura anual e a falta de uma proteção do solo como o manejo e uso da vegetação natural como mulching na cobertura do solo entre linhas de planta, o que poderiam aumentar os teores de matéria orgânica, melhorando as condições física e química, protegendo o solo das intervenções climáticas e humanas.

6. CONCLUSÕES

- As lâminas de irrigação alteram a disponibilidade do potássio, do cálcio, do magnésio e do cobre do solo cultivado com coqueiro anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ);
- A irrigação do coqueiro anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ) interfere na distribuição do sódio, do manganês e do cobre no perfil do solo;
- O aumento da lâmina de irrigação até 120% da ETc facilita a absorção do fósforo pelo coqueiro anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ);
- A lâmina de irrigação de 104% da ETc proporciona a maior densidade dos glomerosporos no solo;
- As lâminas de irrigação de 88 e 120 % da ETc proporcionam as maiores populações dos nematoides Bacterívoros e Fungívoros, respectivamente, no solo cultivado com coco anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados neste trabalho demonstram que os agricultores devem considerar que os elementos edafoclimáticos e o volume de água aplicado na irrigação do coqueiro anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ) podem afetar na dinâmica do solo significativamente.

Verificou-se que as lâminas de irrigação interferem nas faixas de umidade e na fertilidade do perfil do solo, além da absorção dos nutrientes pela planta e da população dos microorganismos no solo. Estes resultados implicam numa necessidade de ajustes ao planejar as lâminas e práticas agrícolas para maximizar o rendimento do coqueiro e promover a sustentabilidade do cultivo desta cultura na região.

Observou-se ainda que apenas o ajuste da lâmina de água aplicada no solo não é suficiente ao favorecimento da vida da microfauna e da absorção de nutrientes pelo coqueiro anão VERDE-DO-BRASIL-DE-JIQUEI (AveBrJ), o que requer uma tomada de decisões em conjunto com práticas de manejo de adubação e conservação do solo, para devolver um ambiente favorável ao desenvolvimento da cultura na região do submédio do Vale do São Francisco.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. V. *et al.* Fauna edáfica em diferentes usos do solo. **Acta Biológica Catarinense**, v. 7, n. 1, p. 37-45, 2020.

ALVES, H. K. M. N. *et al.* Uma abordagem sobre práticas agrícolas resilientes para maximização sustentável dos sistemas de produção no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.1, n.01, 2022.

ANDRADE, H. A. F. de. Potencial do uso do líquido da casca do coco verde na cultura do Coqueiro-anão. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

ANDRADE, Mateus Ferreira; ANDRADE, Maria Marta Ferreira. Influência do uso e manejo do solo na velocidade de infiltração de água. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 4, p. 5263-5269, 2021.

ANDRADE, F.M.C., **Caderno Dos Microrganismos Eficientes** (E.M), 3ª ed., 2020.

ARAÚJO, B. de A., **Respostas fisiológicas do coqueiro anão verde sob diferentes lâminas de irrigação**. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

ARAÚJO, G. J. F. de. **Desafios da agricultura irrigada de base familiar no sistema produtivo de água de coco – Petrolândia, Pernambuco**. 195f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017.

ARAUJO, R.; GOEDERT, W.J.; LACERDA, M.P.C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 31:1099-1108, 2007.

BASSOI, L.H. *et al.* Agricultura de precisão e agricultura digital. **Teccogs**, n. 20, jul./dez. 2019

BENASSI, A.C.; FANTON, C.J.; SANTANA, E.N. O cultivo do coqueiro-anão-verde, Vitória – ES: **Incaper**, 2013.

BINGHAM, F. T. *et al.* Cadmium availability to rice in sludge-amended soil under “flood” and “nonflood” culture. **Soil Science Society of America Journal**, v. 40, n. 5, p. 715-719, 1976.

BINGHAM, S. A.; CUMMINGS, J. H. Urine nitrogen as an independent validity measure of dietary intake: a study of nitrogen balance in individuals consuming their normal diet. **The American journal of clinical nutrition**, v. 42, n. 6, p. 1276-1289, 1985.

BONGERS, T.; BONGERS, M. Functional diversity of nematodes. **Applied Soil Ecology**, v. 10, p. 239-251, 1998.

BRAGA, G. N. M. **O pH do solo e a disponibilidade de nutrientes**. Na sala com Gismonti Assuntos sobre Agronomia. Disponível em: <https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/2012/01/o-ph-do-solo-e-disponibilidade-de.html>. Acesso em: 16 de out. 2024.

BRAINER, M. S. de C. P. **Coco: Produção e mercado**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil (Caderno Setorial Etene, n. 206), ano 6, n.206, dez., 2021.

BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VELOSO, C. A. C. Amostragem do solo. **Embrapa: Agricultura Digital**, 2020.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, v. 30, p. 365-372, 2000.

BRITO, L. C. de *et al.* Variações no solo e nematofauna após o corte da cana-de-açúcar e aplicação de vinhaça [Changes in soil and nematode community after sugarcane harvest and vinasse application]. **Nematropica**, p. 271-280, 2011.

BRITO, M. F. de *et al.* Diversidade da fauna edáfica e epigeica de invertebrados em consórcio de mandioca com adubos verdes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 253-260, 2016.

BRUNETTO, G. *et al.* Nível crítico e resposta das culturas ao potássio em um Argissolo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 565-571, 2005.

CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S.; DECHEN, A. R. Efeitos do pH e da incubação na extração do manganês, zinco, cobre e ferro do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, 1982.

CAMARGO de, O. A. **Reações e interações de micronutrientes no solo**. (2006). Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com.br/Artigos/2006_3/Micronutrientes/. Acesso em: 12 de out. 2024.

CAMBOIM NETO, L. de F. **Coqueiro anão verde: influência de diferentes lâminas de irrigação e de porcentagens de área molhada no desenvolvimento, na produção e nos parâmetros físico-químicos do fruto**. 121 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002.

CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de ciência do solo, 1992.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: Água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, v. 25, p. 183-188, 1995.

CARREIRO, D. de A. *et al.* **Microrganismos indicadores da qualidade do solo de áreas produtoras de coco no perímetro irrigado de São Gonçalo-PB**. In: Anais I

CONIDIS – Congresso Internacional da Diversidade do Seminário - Campina Grande: Realize Editora, 2016.

CARVALHO, C. S. **Matéria orgânica, agregação e proteção física em solos tratados com lodo de esgoto**. 129f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico, Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Campinas, SP, 2015.

CASTRO, C.N., **sobre a agricultura irrigada no semiárido: uma análise histórica e atual de diferentes opções de política**, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2018.

CASTRO, C. de *et al.* **Magnésio: manejo para o equilíbrio nutricional da soja** – Londrina: Embrapa Soja, 2020.

CINTRA, F. L. D. *et al.* Efeito de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção de coqueiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 1041-1051, 2009.

CROPLIBE BRASIL. **Nitrogênio: sua fixação biológica está mais perto de você do que você imagina**. (2021). Disponível em: <https://croplifebrasil.org/fixacao-biologica-nitrogenio/>. Acesso em: 16 de set. de 2024.

CUENCA, M. A. G. **A cultura do Coqueiro. Sistemas de Produção**. V.1, Versão eletrônica. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. **Fertilidade do Solo**. p. ca 3-132, 2007.

DEVECHIO, F. de, F. da, S. **Apostila de Fertilidade do Solo**. FZEEA / USP, 2023.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; MOLINA, R. de O.; COSTA, A. T. Nematoides causadores de doenças em frutíferas. **Revista Agro@ Ambiente On-line**. v. 2, n. 1, p. 46-56, 2008.

DOIHARA, P. I., **Nematofauna edáfica em sistemas de uso do solo na microrregião de Chapadinha–MA**. 81f. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciências do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal – SP, 2015.

DOMINGHETTI, A.W., **disponibilização de fósforo em lavouras cafeeiras sob diferentes manejos de irrigação**. Lavras - MG: UFLA, 2013.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Crop water requirements. Rome: **FAO Irrigation and Drainage Paper**, v. 24, p. 1-144, 1977.

EMBRAPA. COCO. (2022) Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/coco/pre-producao/importancia-socioeconomica/estatistica-da-producao>. Acesso em: 12 de nov. 2024.

ELEVAGRO. **O que é a microbiologia do solo e como usá-la a nosso favor** (2022). Disponível em: <https://elevagro.com/blog/o-que-e-a-microbiologia-do-solo-e-como-usa-la-a-nosso-favor/>. Acesso em: 12 de out. 2024.

EKSCHMITT, K. *et al.* Nematode community structure as indicator of soil functioning in European grassland soils. **European Journal of Soil Biology**, v. 37, n. 4, p. 263-268, 2001.

FAO. **Crops and livestock products** (2022). Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/>. Acesso em: 18 de out. 2024.

FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas no Agronegócio) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2002.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. 182f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Solos e Meio ambiente) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2005.

FOLLI-PEREIRA, M. da S. *et al.* Micorriza arbuscular e a tolerância das plantas ao estresse. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1663-1679, 2012.

FONTES, H. R. F.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, L. A. **Sistema de produção para a cultura do coqueiro**. Aracaju: EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, 2002.

FRECKMAN, D. W.; ETTEMA, C. H. Assessing nematode communities in agroecosystems of varying human intervention. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 45, n. 3-4, p. 239-261, 1993.

GAO, S. *et al.* Deep injection and the potential of biochar to reduce fumigant emissions and effects on nematode control. **Journal of environmental management**, v. 223, p. 469-477, 2018.

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Transactions of the British Mycological society**, v. 46, n. 2, p. 235-244, 1963.

GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytologist**, v. 84, p. 489-500, 1980

GOMES do Ó, L. M. *et al.* **Produção e características dos frutos de coqueiro-anão sob diferentes lâminas de irrigação**. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 4., 2017, Fortaleza. Anais... Fortaleza: INOVAGRI, 2017.

GONDIM, R. *et al.* Climate change impacts on water demand and availability using CMIP5 models in the Jaguaribe basin, semiárido Brasil. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 15, p. 1-14, 2018.

GOULART, A. M. C. **Diversidade de nematoides em agroecossistemas e ecossistemas naturais**. Embrapa Cerrados, Planaltina – DF, 2007.

GOULART, A. M. C. Análise nematológica: importância e princípios gerais. **Planaltina: Embrapa Cerrados**, 2010.

HAMEED, A. *et al.* Role of AM fungi in alleviating drought stress in plants. **Use of Microbes for the Alleviation of Soil Stresses: Volume 2: Alleviation of Soil Stress by PGPR and Mycorrhizal Fungi**, p. 55-75, 2014.

HARA, F. A dos S. *et al.* Ocorrência de fungos micorrízicos em pau-rosa (*Aniba duckei* kosterm) e mogno (*Swietenia macrophylla* king) em diferentes épocas de coleta na região de Manaus. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p. e25010413666-e25010413666, 2021.

HERNANDEZ, F. B. T.; GOMES, D. R.; VANZELA, L. S. **Características químicas do solo sob condições irrigadas e de sequeiro na cultura da acerola**. Escrito para apresentação no XV Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Teresina – PI, 2005.

HIRAYAMA, T.; SHINOZAKI, K. Perception and transduction of abscisic acid signals: keys to the function of the versatile plant hormone ABA. **Trends in plant science**, v. 12, n. 8, p. 343-351, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Área agrícola resultado**. 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado>. Acesso em: 2023.

JENKINS, W.R., A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Report**, v. 48, p. 692, 1964.

LINS, P. M. P. **Reposta do coqueiro (*Cocos nucifera* L.) à aplicação de N, P, K e Mg nas condições edafoclimáticas de Moju-PA**. Belém. 81f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciência Agrária do Pará, 2000.

LINS, P. M. P.; VIÉGAS, I. J. M. Recomendação de adubação e calagem para plantas frutíferas, Coqueiro. Parte 5, Cap. 8, p.347. In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M da S.; VIÉGAS, I. J. M. **Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará**. Embrapa Amazônia Oriental-Livro técnico (INFOTECA-E). 419 p., 2 ed. De Brasília, DF, 2020.

MACHADO, A. W. **Micorrizas (FMA) – tudo o que você precisa saber**. Agrolink. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/fertilizantes/outros-insumos/micorrizas--fma----tudo-o-que-voce-precisa-saber_471047.html. Acesso em: 12 de nov. de 2024.

MALAVOLTA, E. *et al.* Estudos sobre a nutrição mineral do milho: II. efeito de doses crescentes de N, R e K no crescimento, produção e composição mineral da variedade Piranão em condições controladas. *Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz*, v. 33, p. 479-499, 1976.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola: adubos e adubações**. 3ª ed. Editora: Agronômica Ceres. São Paulo. 1981.

MALAVOLTA, E., **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**, Editora: Agronômica Ceres, 2006.

MARTINS, C. R.; JESUS JUNIOR, L. A. de. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010** – Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2011.

MARCHIOTI, R., **A influência do pH na absorção de nutrientes**, CAMDA – A Força do Campo, Notícias maio – 2023

MARQUELLI, W. A. *et al.* Eficiência econômica do manejo racional da irrigação em tomateiro para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, v. 18, p. 238-243, 2000.

MIRANDA, F. R. de *et al.* Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do coqueiro anão-verde na região litorânea do Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 2, p. 129-135, 2007.

MIRANDA, F. R. de *et al.* Eficiência do uso da água na irrigação do coqueiro anão. **Irriga**, v. 24, n. 1, p. 109-124, 2019.

MIRANDA, F. R.; GOMES, A. R. M. **Manejo da irrigação de coqueiro-anão. Fortaleza, Embrapa Agroindústria Tropical** (Circular Técnica, 25, online) 8p., 2006.

MONQUEIRO, P. A. *et al.* Lixiviação de saflufenacil e residual após períodos de seca. **Planta Daninha**, v. 30, p. 415-423, 2012.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006.

NASCIMENTO, A. K. *et al.* Effects of irrigation uniformity on yield response and production economics of maize in a semiarid zone. **Agricultural Water Management**, v. 211, p. 178-189, 2019.

NASCIMENTO, W. de L. **Biometria e estado nutricional de plantas de coqueiro com um ano de idade, em função da adubação N, P, K e Mg**. Curso de Agronomia, Campus Universitário de Capanema, Universidade Federal Rural da Amazônia, Capanema - PA, 2021.

NORDESTE RURAL. **A irrigação usada de forma correta melhora o solo para valorizar o desenvolvimento das raízes** (2022). Disponível em: <https://nordesterural.com.br/a-irrigacao-usada-de-forma-correta-melhora-o-solo-para-valorizar-o-desenvolvimento-das-raizes/>. Acesso em: 16 de nov. 2024

NUNES, F.K. M.; **Influência do composto à base de fibra de coco nas propriedades químicas do solo de um plantio de coqueiro anão verde em Santa Izabel do Pará**. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021.

OLIVEIRA, J.T.; CUNHA, F.F.C.; ALVES, C.Z., irrigação e relação com fertilidade e nutrição na produção agrícola. **Revista Plantio Direto e Tecnologia Agrícola**, Publicado em: 31/08/2021.

OLIVEIRA, K. R. M.; FURTUNATO, T. C. S.; LIMA, A. S. Ocorrência e densidade de microrganismos em solos de áreas degradadas no semiárido da Paraíba. **I Reunião Nordestina de Ciência do solo. De**, v. 22, 2013.

OLIVEIRA, R. H.; ROSOLEM, C. A.; TRIGUEIRO, R. M. Importância do fluxo de massa e difusão no suprimento de potássio ao algodoeiro como variável de água e potássio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 439-445, 2004.

OSAKABE, Y. *et al.* Response of plants to water stress. **Frontiers in plant science**, v. 5, p. 86, 2014.

OUVRIER, M. Exportation par la récolte du cocotier PB-121: en fonction de la fumure potassique et magnésienne. **Oléagineux (Paris)**, v. 39, n. 5, p. 263-271, 1984.

QUAGGIO, J. A. *et al.* Sweet orange trees grafted on selected rootstocks fertilized with nitrogen, phosphorus and potassium. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 55-60, 2004.

PEREIRA, H. S. Fósforo e potássio exigem manejos diferenciados. **Revista visão agrícola**, v. 9, 2009.

PEREIRA, B. de F. M. *et al.* Contaminação no lençol freático, rios, lagos e lagoas do Brasil por agrotóxicos. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 7, p. 863-874, 2022.

PES, L. Z.; ARENHARDT, M. H. **Fisiologia Vegetal**. Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Rede e-Tec Brasil, Santa Maria, RS, 2015.

PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. **Transactions of the British mycological Society**, v. 55, n. 1, p. 158-IN18, 1970.

RAPPARINI, F.; PEÑUELAS, J. Mycorrhizal fungi to alleviate drought stress on plant growth. **Use of microbes for the alleviation of soil stresses, volume 1**, p. 21-42, 2014.

REIS, E.G. *et al.* **Efeito da calagem nos cátions básicos, altura, número de folhas e área foliar de mudas de coco anão-verde do brasil**. In: IV Congresso Internacional das Ciências Agrárias (COINTER) – PDVAgro, Recife – PE: Instituto Despertando Vocações, 2019.

RODRIGUES, K. D. N. **Ocorrência de fitonematoides no solo em frutíferas do cerrado**. 10f. Trabalho de Conclusão de Curso, (Graduação em Agronomia) - Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, Goiás, 2022.

SANTOS, A. B. dos; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 12-16, 2002.

SANTOS, G. R. dos *et al.* Respiração microbiana do solo relacionada ao conteúdo de água no solo e a temperatura do solo, na época do equinócio de primavera. Olho D'Água do Casado, Semiárido de Alagoas. **Regne**, v. 2, p. 884-893, 2016.

SANTOS, J. M. dos. **Diagnose do estado nutricional do coqueiro anão verde na região do Vale do São Francisco, Bahia**. 39f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, 2018.

SARAIVA, J. R.; MATHIAS, AM. Dinâmica do Magnésio no Sistema Solo - Planta – Ambiente. Agromove (2023). Disponível em: <https://blog.agromove.com.br/magnesio-solo-planta-ambiente/>. Acesso em: 17 de out. de 2024.

SEAGRI - Secretaria da Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária. **Paulo Afonso impulsiona agricultura irrigada na região** (2009). Disponível em: <http://cpu002572.ba.gov.br/noticias/2009/08/04/paulo-afonso-impulsiona-agricultura-irrigada-na-região>. Acesso em: 13 de nov. 2024.

SIDLE, R. C.; KARDOS, L. T. **Transport of heavy metals in a sludge-treated forested area**. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, 1977.

SIKORA, R.A. *et al.* **The Plant-Parasitic Nematode Genus Meloidogyne Göeldi, 1887** (2nd ed.). Brill, 2020.

SILVA, D. J.; DE FARIA, C. M. B. Amostragem foliar de coqueiro e distribuição de fertilizantes. **Embrapa Semi-Árido. Instruções Técnicas**, v. 47, 2001.

SILVA, P. C. M. da *et al.* Eficiência flora e biomassa dos frutos de coqueiro sob diferentes lâminas de irrigação e níveis salinos. **Revista Caatinga**, v. 20, n. 4, p. 77-77, 2007.

SILVA, A. R. A. da *et al.* Trocas gasosas em plantas de girassol submetidas à deficiência hídrica em diferentes estádios fenológicos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p. 86-93, 2013.

SILVA, T.R., **relação da tolerância ao déficit hídrico com o teor e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio em cultivares de cana-de-açúcar**, Universidade Estadual Paulista – UNESP Câmpus De Jaboticabal, 2015.

SILVA, J. B. da. **Produção inicial do coqueiro anão verde sob diferentes lâminas e sistemas de irrigação**. 53f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

SILVA, J. F. **Análise da evolução da qualidade da água em trecho do eixo norte do projeto de integração do Rio São Francisco**. 1223f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

SOUSA, V. F. de *et al.* **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**, Embrapa Cocais, Embrapa Informação Tecnológica – Brasília, DF, 2011.

SOUSA, L. F. de *et al.* **População microbiana como indicadora de qualidade do solo em diferentes manejos do cultivo de coco**. In: Anais do II conecta UFRA: bioeconomia. Anais UFRA. Belém, PA, 2022.

SOUZA, M.H.C., **ESTRATÉGIAS DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NO PERÍMETRO IRRIGADO PONTAL SUL**. 80f. Tese (Doutorado em Agronomia Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu – São Paulo, 2020.

SOUTO, P. C. *et al.* Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob caatinga no semi-árido da Paraíba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 151-160, 2008.

SOUSA, L. F. de *et al.* **População microbiana como indicadora de qualidade do solo em diferentes manejos do cultivo de coco**. In: Anais do II conecta UFRA: bioeconomia. Anais UFRA. Belém, PA, 2022.

SOUZA JUNIOR, F. J. C. de; NETO, A. B. M.; ASSUNÇÃO, M. C. Caracterização molecular de populações de *Meloidogyne enterolobii* e *M. konaensis* no estado do Ceará, Brasil. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, mai. 2024. ISSN 2447-9187, 2024.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre-RS: Artmed, 2017.

TEIXEIRA, L. A. J. *et al.* Adubação com NPK em coqueiro anão-verde (*Cocos nucifera* L.): atributos químicos do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, p. 115-119, 2005.

TEIXEIRA, A.H. de C. *et al.* Water productivity assessments for dwarf coconut by using Landsat 8 images and agrometeorological data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.155, p. 150–158, 2019.

THOMAS, B.; MURRAY, B. G.; MURPHY, D. (Eds.) (2016). **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**. 2ª ed., Elsevier. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/referenceworks/9780123948083>>. Acesso em 01/09/2024.

TROMBETTA, L.J. *et al.* **Benefícios versus malefícios do uso da irrigação em áreas agrícolas**. 18F. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Agronomia) - Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus Santiago, 2019.

VELOSO, C. **Lixiviação de nutrientes: por que o potássio possui o maior risco de perdas?** Blog Verde. Disponível em: <https://blog.verde.ag/pt/nutricao-de-plantas/lixiviacao-de-nutrientes-por-que-o-potassio-possui-o-maior-risco-de-perdas/>. Acesso em: 17 de nov. 2024.

VIEIRA, L. R. *et al.* **Número de cachos de coco verde irrigado em função de diferentes doses de CROP-SETTM.** 8f. Engenharia Agrícola e Ambiental, Faculdade Ieducare, FIED, Tiangua, CE, 2019.

VILAS BOAS, R. C. *et al.* Rendimento da cultura da cebola submetida a níveis de água e nitrogênio por gotejamento. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 2, p. 633-646, 2014.

WANG, D. *et al.* Effects of gravel mulching on yield and multilevel water use efficiency of wheat-maize cropping system in semi-arid region of Northwest China. **Field Crops Research**, v. 218, p. 201-212, 2018.

ZHANG, Y. *et al.* A lack of complementarity for water acquisition limits yield advantage of oats/vetch intercropping in a semi-arid condition. **Agricultural Water Management**, v. 225, p. 105778, 2019.



**INSTITUTO
FEDERAL**

Baiano

Campus
Serrinha