



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

Lucas Henrique Maciel Carvalho

**Uso de remineralizadores e biofertilizante no estado
nutricional e produtividade de mangueira ‘Palmer’ no Vale do
São Francisco**

Petrolina

2024

LUCAS HENRIQUE MACIEL CARVALHO

**Uso de remineralizadores e biofertilizante no estado
nutricional e produtividade de mangueira ‘Palmer’ no Vale do
São Francisco**

Dissertação apresentada ao Curso de
Pós-Graduação em Agronomia –
Produção Vegetal do Campus de
Ciências Agrárias da Universidade
Federal do Vale do São Francisco,
como parte dos requisitos para
obtenção do título de mestre em
Agronomia – Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Ítalo Herbert Lucena
Cavalcante

Petrolina

2024

C331u Carvalho, Lucas Henrique Maciel
Uso de remineralizadores e biofertilizante no estado nutricional e produtividade de mangueira 'Palmer' no Vale do São Francisco / Lucas Henrique Maciel Carvalho. – Petrolina-PE, 2024.
xiii, 100 f.: il.; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina-PE, 2024.

Orientador: Prof.º Dr.º Ítalo Herbert Lucena Cavalcante.

Inclui referências.

1. Manga - Cultivo. 2. Nutrição vegetal. 3. Adubos e fertilizantes. 4. Biofertilizante. I. Título. II. Cavalcante, Ítalo Herbert Lucena. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 634.34

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

Lucas Henrique Maciel Carvalho

Uso de remineralizadores e biofertilizante no estado nutricional e produtividade de mangueira ‘Palmer’ no Vale do São Francisco

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Aprovada em: 23 de Fevereiro de 2024.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Ítalo Herbert Lucena Cavalcante, Universidade Federal do Vale do São Francisco
(Orientador)

Dr. Sérgio Tonetto de Freitas, Embrapa Semiárido
(Membro interno)

Dr. Edivan Rodrigues De Souza, Universidade Federal Rural De Pernambuco
(Membro externo)

A minha esposa Jamiles Carvalho, meus pais Carlos Henrique e Auricélia Maciel, que
foram inestimáveis na minha jornada até aqui.
Dedico

AGRADECIMENTOS

Expresso minha eterna gratidão a Deus pelo dom da vida, pelos obstáculos que enfrentei e pela constante proteção divina que recebi, mesmo quando não a merecia.

À minha família, que sempre acreditou e torceu por mim, especialmente, a minha esposa Jamiles Carvalho, a meus pais Carlos Henrique e Auricélia Maciel, aos meus irmãos José Lucca e Gabriel Henrique, a minha gratidão se estende pois nos momentos mais difíceis da minha trajetória, foram uma valiosa fonte de ajuda e apoio, proporcionando-me momentos de felicidade.

Ao meu orientador Ítalo Herbert Lucena Cavalcante quero expressar minha gratidão por todos os ensinamentos e pela confiança que foram compartilhados comigo ao longo de todo esse período.

Expresso minha gratidão ao grupo FRUTVASF e seus colaboradores pelo apoio fornecido e por toda a experiência de aprendizado vivenciada durante esta fase. Aos meus amigos Ruan Oliveira, Caio Carvalho, Gustavo Silva, Tércio Silva, Lucas Oliveira, Luan Silva, Ana Carolina da Silva, Victor Cunha, Vinicius Barreto, Vitor Silva, Amanda Mariano, pelo confiança investida em mim e apoio ao longo de todo esse período. A jornada foi desafiadora, e sem o apoio de vocês, teria sido ainda mais árdua.

Aos componentes da Univasf campus Centro de Ciências Agrárias pelo auxílio na realização das análises laboratoriais, em especial a Mônica Zuffo, Prof. Dr. Wagner Félix, Prof. Dr. Bruno Coutinho, Prof. Dr. Augusto Miguel, Prof. Dr. Marcos Sales para realização de parte das análises do experimento.

À FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) expresso minha gratidão pela oportunidade concedida por meio da bolsa de estudos, que possibilitou a realização de parte dos meus estudos.

A Valexport, Valeagro e Revitta solos agradeço pelo fornecimento de fertilizantes que foram fundamentais para o sucesso deste projeto, a parceria estabelecida não apenas impulsionou meu trabalho, mas também fortaleceu os laços entre a pesquisa científica e o setor produtivo.

Agradeço à banca pelas críticas construtivas, disponibilidade e atenção dedicadas a mim.

RESUMO

A mangueira tem importância econômica global, mas a alta dos fertilizantes prejudica a viabilidade dos pomares. A produtividade e qualidade dependem do estado nutricional, exigindo técnicas economicamente viáveis de suplementação. Os fertilizantes naturais, como os biofertilizantes, têm potencial sustentável de promover crescimento e são essenciais para práticas de produção sustentáveis. Desta forma, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade de fertilizantes naturais, incluindo biofertilizante, associados ou não a fertilizantes químicos no estado nutricional e produtividade da mangueira 'Palmer' cultivada no Vale do São Francisco. O experimento foi desenvolvido entre os anos de 2022 e 2023 em pomar experimental da mangueira 'Palmer' com espaçamento de 5 x 2 m, localizado no Perímetro Irrigado Nilo Coelho, em Petrolina-PE. Os tratamentos foram constituídos de estratégias de adubação para a cultura, sendo T1 (testemunha): sem aplicação de fertilizantes; T2: Manejo convencional adotando-se apenas fertilizantes químicos; T3: Manejo nutricional com fertilizantes naturais + biofertilizante via fertirrigação; T4: Manejo nutricional com fornecimento de 50% dos nutrientes através de fertilizantes químicos e fertilizantes naturais associado a biofertilizante via fertirrigação. Para determinar os efeitos dos tratamentos ao longo do ensaio foram avaliados o estado nutricional da planta antes da aplicação dos tratamentos e durante o pré-florescimento (160 DAP), e a produtividade da manga. Os dados foram submetidos à análise de variância para avaliação dos efeitos significativos pelo teste F, os tratamentos foram comparados entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Observou-se um impacto significativo dos diferentes tratamentos no estado nutricional da mangueira, especialmente em relação aos nutrientes como P, Cu, Mn, B, Zn e Mo. Entre os tratamentos avaliados, a aplicação de 50% de fertilizantes químicos com 50% de fertilizantes naturais e aplicação de biofertilizante apresentou os resultados mais promissores de produtividade (68,73 t ha⁻¹). Esses resultados enfatizam a recomendação desse método de manejo, sugerindo sua eficácia em promover um estado nutricional mais equilibrado e favorável para o crescimento e desenvolvimento da mangueira, além da redução de custos de produção com fertilizantes sintéticos.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L. Nutrição vegetal. Estratégias de fertilização. Fertilizantes naturais. Biofertilizante. Componentes de produção.

ABSTRACT

The mango culture holds significant global economic importance; however, to achieve satisfactory production levels, appropriate nutrient supply practices are necessary. In recent years, there has been a surplus in chemical fertilizer prices, rendering orchard maintenance economically unviable. Increasing crop productivity and improving its quality are associated with the plant's nutritional status, which is linked to soil fertility. Therefore, it is paramount to employ techniques that economically meet mango nutrient requirements. Natural fertilizers, including biofertilizers, have the capacity to directly and/or indirectly influence plant growth and development, with a clear relationship to sustainable production practices. Thus, this study aims to assess the viability of natural fertilizers, including biofertilizers, either alone or in combination with chemical fertilizers, on the nutritional status and productivity of 'Palmer' mango trees cultivated in the São Francisco Valley. The experiment was conducted between 2022 and 2023 in an experimental 'Palmer' mango orchard with a spacing of 5 × 2 m, located in the Nilo Coelho Irrigation District, Petrolina-PE. Treatments consisted of fertilization strategies: T1 (control): no fertilizer application; T2: Conventional management using only chemical fertilizers; T3: Nutritional management with natural fertilizers + biofertilizer via fertigation; T4: Nutritional management with 50% of nutrients supplied through chemical fertilizers and natural fertilizers combined with biofertilizer via fertigation. To determine treatment effects during the trial, plant nutritional status was evaluated before treatment application and during pre-flowering (160 DAP), along with mango productivity. Data underwent analysis of variance to assess significant effects using the F-test, and treatments were compared using Tukey's test at a 5% probability level. Significant impacts of different treatments on mango nutritional status were observed, particularly regarding nutrients such as P, Cu, Mn, B, Zn, and Mo. Among the evaluated treatments, the application of 50% chemical fertilizers with 50% natural fertilizers and biofertilizer showed the most promising productivity results (68.73 t ha⁻¹). These findings emphasize the recommendation of this management method, suggesting its effectiveness in promoting a more balanced and favorable nutritional status for mango growth and development, along with reducing production costs associated with synthetic fertilizers.

Key-words: *Mangifera indica* L. Plant nutrition. Fertilization strategies. Natural fertilizers. Biofertilizer. Production components.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2	Pág.
Figura 1. Localização da área experimental do pomar de manga ‘Palmer’ no Campus de Ciências Agrárias da UNIVASF	35
Figura 2. Temperatura média do ar, umidade relativa do ar, precipitação e radiação solar registradas durante a condução do experimento nos anos de 2022 (A) e 2023 (B), Petrolina, PE	36
Figura 3. Coloração da polpa creme-amarelada (A), pesagem dos frutos para obtenção da produtividade estimada (t ha ⁻¹) (B).....	42
Figura 4. Produtividade em mangueira ‘Palmer’ em função de fertilizantes químicos, remineralizadores e bionutrição.....	46
Figura 5. Análise de comparação econômica (ACE) relativo à variável de produtividade da mangueira ‘Palmer’ e custos de produção em função de fertilizantes químicos, remineralizadores e bionutrição, na safra de 2022.....	47
CAPÍTULO 3	
Figura 1. Localização da área experimental do pomar de manga ‘Palmer’ no Campus de Ciências Agrárias da UNIVASF.....	71
Figura 2. Temperatura média do ar, umidade relativa do ar, precipitação e radiação solar registradas durante a condução do experimento nos anos de 2022 (A) e 2023 (B), Petrolina, PE).....	72
Figura 3. Concentração de carbono orgânico total (A), e teores de ácidos fúlvicos (B), ácidos húmicos (C) e huminas (D) em solos cultivados com mangueira ‘Palmer’ em função de fertilizantes químicos, remineralizadores e bionutrição nas safras de 2022 e 2023.....	79
Figura 4. Teores de respiração basal (A), carbono da biomassa microbiana (B), quociente microbiano (C), quociente metabólico (D), em solo cultivado com mangueira ‘Palmer’ em função de fertilizantes químicos, remineralizadores e bionutrição nas safras de 2022 e 2023.....	82

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1	Pág.
Tabela 1. Exemplos de remineralizadores produzidos no Brasil. (Fonte: Adaptado de Barros et al., 2021).....	16
CAPÍTULO 2	
Tabela 1. Análise química e física do solo da área experimental cultivada com mangueira ‘Palmer’ antes da aplicação dos tratamentos.....	37
Tabela 2. Teores foliares de macro e micronutrientes de mangueira cv. Palmer antes da aplicação dos tratamentos.....	37
Tabela 3. Quantidades de nutrientes e fertilizantes usados no experimento.....	38
Tabela 4. Características químicas e físico-químicas da cal hidratada usada no experimento.....	40
Tabela 5. Análise química e de substâncias húmicas do biofertilizante utilizado no experimento.....	40
Tabela 6. Caracterização microbiológica com principais bactérias presentes no biofertilizante usado no experimento e suas principais funções conforme a literatura.....	40
Tabela 7. Teores de macronutrientes foliares durante o pré-florescimento de mangueira ‘Palmer’ em função de fertilizantes químicos, remineralizadores e bionutrição, nas safras de 2022 e 2023.....	42
Tabela 8. Teores de micronutrientes foliares de mangueira ‘Palmer’ em função de fertilizantes químicos, remineralizadores e bionutrição, nas safras de 2022 e 2023.....	44
CAPÍTULO 3	
Tabela 1. Análise química e física do solo da área experimental cultivada com mangueira ‘Palmer’ antes da aplicação dos tratamentos.....	73
Tabela 2. Teores foliares de macro e micronutrientes de mangueira ‘Palmer’ antes da aplicação dos tratamentos.....	73
Tabela 3. Quantidades de nutrientes e fertilizantes usados no experimento.....	74
Tabela 4. Características químicas e físico-químicas da cal hidratada usada no experimento.....	76

Tabela 5. Análise química e de substâncias húmicas do biofertilizante utilizado no experimento.....	76
Tabela 6. Caracterização microbiológica com principais bactérias presentes no biofertilizante usado no experimento e suas principais funções conforme a literatura.....	76
Tabela 7. Caracterização inicial do fracionamento de matéria orgânica do solo e da estimativa do carbono da biomassa microbiana (CBM), da respiração basal (RB) e do carbono orgânico total (COT) da área experimental cultivada com mangueira 'Palmer' no pomar experimental da UNIVASF antes da aplicação dos tratamentos.....	78

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: REVISÃO DE LITERATURA	13
1.INTRODUÇÃO	13
2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 Importância econômica da mangueira	15
2.2 Fertilizantes químicos versus fertilizantes naturais e Biofertilizantes	15
2.3 Adubação e biofertilização no estado nutricional das plantas	17
2.4 Ação da adubação e biofertilização no solo	19
REFERÊNCIAS	21
CAPÍTULO 2: VIABILIDADE DA BIOFERTIRRIGAÇÃO NA NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DE MANGUEIRA ‘PALMER’ NO VALE DO SÃO FRANCISCO	30
RESUMO	30
ABSTRACT	31
1.INTRODUÇÃO	32
2.MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1. Área de coleta	33
2.2. Manejo da área.....	35
2.3. Delineamento experimental	36
2.4. Análises estatísticas	41
3. RESULTADOS	41
3.1 Teores nutricionais	41
3.2. Produtividade.....	44
3.3. Análise de comparação econômica (ACE)	45
4.DISSCUSSÃO	46
5. CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS	57
CAPÍTULO 3: VIABILIDADE DA BIOFERTIRRIGAÇÃO NAS CONCENTRAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL, FRACIONAMENTO DE MATÉRIA ORGÂNICA E METABOLISMO MICROBIANO EM SOLO CULTIVADO COM MANGUEIRA ‘PALMER’ NO VALE DO SÃO FRANCISCO	65
1. INTRODUÇÃO	67

2. MATERIAL E MÉTODOS	68
2.2. Área de coleta	68
2.3. Manejo da área	70
2.3. Delineamento experimental	72
2.4. Análises químicas e microbiológicas	75
3. RESULTADOS.....	76
4. DISCUSSÃO	82
6. CONCLUSÕES.....	88

CAPÍTULO 1: REVISÃO DE LITERATURA

1. INTRODUÇÃO

A grande quantidade de frutas produzidas faz do Brasil o terceiro maior produtor mundial, que no ano de 2021 colheu cerca de 41,3 milhões de toneladas de frutas. A manga (*Mangifera indica* L.), detêm boa parte desta produção, e nos últimos anos tem ocupado o primeiro lugar no ranking de exportações brasileiras de frutas (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTIFRUTI, 2022).

A região Nordeste possui os mais elevados índices de produtividade do Brasil, equivalente a 21,1 t ha⁻¹, portanto superior aos 19,8 t ha⁻¹ registrados na média nacional, enquanto o Vale do São Francisco possui uma produtividade de 27 t ha⁻¹ (OBSERVATÓRIO DA MANGA, 2022). A elevada produtividade da mangueira no Vale do São Francisco justifica-se em função das condições edafoclimáticas propícias ao cultivo da mangueira e, principalmente, pelo manejo praticado nessa região conforme as demandas hídricas, nutricionais e hormonais (CARREIRO et al., 2022).

Especificamente, quanto ao manejo nutricional, destaca-se que a mangueira é uma cultura bastante exigente em nutrientes (LOBO et al., 2019; MOURA, 2021), visto que culturas comerciais de alta capacidade produtiva possuem elevada demanda nutricional (KOLLN et al., 2020). Entretanto, segundo a Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados (ABRAFRUTAS, 2022), durante a pandemia de Covid-19, o preço dos fertilizantes aumentou consideravelmente com destaque para os incrementos registrados para o potássio na forma de cloreto de potássio (KCl) que triplicou de preço, do fósforo na forma de fosfato monoamônico (MAP) que subiu 91% e do nitrogênio na forma de ureia que registrou incremento de 80%.

Uma das potenciais alternativas para melhoria da eficiência dos fertilizantes químicos e, conseqüentemente, sustentabilidade do sistema produtivo são os remineralizadores de solo e fertilizantes biológicos ou biofertilizante. Os remineralizadores de solo são materiais minerais, como rochas, que passaram por processos mecânicos de redução do tamanho de partícula (ALMEIDA et al., 2022).

Esses materiais são utilizados para enriquecer a composição mineral do solo, fornecendo uma variedade de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Um bom exemplo é o fosfato natural que é extraído de rochas contendo minerais de fosfato e

passam por processos de britagem e moagem para serem transformadas em pó aumentando sua área de superfície específica de contato com o solo.

Segundo Vessey (2003) e Santana et al. (2017), biofertilizante é um insumo que contém microrganismos vivos que, quando aplicado na planta ou diretamente no solo, colonizam a rizosfera ou o interior da planta e promovem o crescimento vegetal pelo maior suprimento e/ou disponibilidade de nutrientes. Os fertilizantes biológicos possuem em sua composição substâncias húmicas (FILHO et al., 2020), que são substâncias formadas pela transformação de biomoléculas, durante o processo de decomposição de resíduos vegetais e animais presentes no ambiente, e constituem o produto resultante do fracionamento da matéria orgânica, como os ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina.

Especificamente para a mangueira, o uso de fertilizantes biológicos via fertirrigação tem apresentado resultados satisfatórios quanto à redução de fertilizantes sintéticos, melhoria de fertilidade de solo, incremento de produção e de qualidade físico-química dos frutos, inclusive com possibilidade de ser agregado ao sistema produtivo dessa cultura conforme preconizam Kumari et al. (2021), Dalvi et al. (2021) e Prates et al. (2021).

Mediante o exposto, pela importância social e econômica da fruticultura para o desenvolvimento do Vale do São Francisco, o presente projeto vem a contribuir com a sustentabilidade da atividade frutícola através da avaliação de fertilizantes naturais associados ou não a fertilizantes químicos na nutrição e produtividade da mangueira 'Palmer' no Vale do São Francisco.

2.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Importância econômica da mangueira

A cultura da mangueira (*Mangifera indica* L.) tem origem no continente asiático sendo uma das frutas de clima tropical mais importantes no mundo (WANG et al., 2022). Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) (2021), o Brasil é o sétimo maior produtor mundial de manga, registrando incrementos na produção no ano de 2022 de 1,55 milhões de toneladas, exportando cerca de 231,36 mil toneladas do fruto (Anuário brasileiro de fruticultura, 2023).

A manga é produzida principalmente na região Nordeste, respondendo por cerca de 80% da produção nacional, equivalente a 1,5 milhão de toneladas no ano de 2022 (IBGE 2022). Dentre os principais estados produtores de mangueira, destacam-se o Pernambuco e Bahia, onde o volume somado representa quase dois terços de toda a produção, com a região do Vale do São Francisco sendo o principal polo produtivo de mangueira, com 27 t ha⁻¹, superando em praticamente 40% a média nacional (EMBRAPA SEMIÁRIDO, 2022).

O potencial de produção na região é resultado de um manejo adequado da cultura, que se baseia na adoção de tecnologia de produção pelos mangicultores, como aplicação eficiente da irrigação, à presença de mão- de- obra disponível, além das propícias condições edafoclimáticas (SILVA et al., 2017).

No Vale do São Francisco, as cultivares que mais se destacam são Keitt, Kent, Tommy Atkins e Palmer (CORDEIRO et al., 2023) (Figura 1). Os frutos da cultivar Palmer possuem casca fina, amarelo-a laranjada e polpa firme e amarela, com baixo teor de fibras e teor de sólidos solúveis de 19° Brix. Essas características a tornaram atrativa ao paladar dos consumidores, consagrando como uma das cultivares com maior aceitação no mercado interno e como fruta para os mercados industrial e internacional (SIMÕES et al., 2022; SOUZA et al., 2023).

Essa cultivar é reconhecida por sua alta produtividade e capacidade de adaptação a condições estressantes, tornando-se uma escolha viável para os produtores da região (SILVA et al., 2023). A eficiência hídrica e a capacidade de produzir grandes quantidades de frutos a torna uma escolha econômica para os agricultores locais, além disso, seu cultivo pode ser uma estratégia eficaz para a diversificação agrícola no Vale do São Francisco, o que é importante para o desenvolvimento econômico da região.

2.2 Fertilizantes químicos versus fertilizantes naturais e Biofertilizantes

A crescente demanda mundial por alimentos levou a um uso crescente de fertilizantes químicos nas áreas agrícolas (LU e TIAN, 2016; HAKEEM et al., 2021). Contudo, o aumento dos preços destes insumos nos últimos anos, tornou-se mais um desafio para os agricultores, incentivando-os assim na busca por fontes alternativas mais rentáveis (MAHANTY et al., 2017). Com isso, a utilização de fertilizantes naturais, remineralizadores e biofertilizantes surgem como alternativa crucial frente aos altos custos desses insumos (ASRUL, 2019; MEDDICH et al., 2020).

A utilização desses fertilizantes tem ganhado cada vez mais espaço nos ambientes agrícolas por apresentarem menor custo, a depender do manejo, e impacto ao ambiente (DEBNATH et al., 2019; AQUINO et al., 2020; AKRAM et al., 2020). São, portanto, uma alternativa promissora para a produção de alimentos de forma mais sustentável, porém, para um manejo mais eficaz dessas fontes, é necessário compreender e conhecer suas especificidades.

Os remineralizadores, comumente chamados de fertilizantes naturais, podem ser descritos como sendo rochas ou outros materiais de origem mineral que sofreram redução de tamanho de partícula por processos mecânicos (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), 2004). Inúmeras pesquisas têm enfatizado a ação benéfica desses fertilizantes quanto a melhoria nas características química do solo, aumentando a fertilidade através da adição de macro e micronutrientes (ALOVISI et al., 2019; KAUTZMANN et al., 2020; VIANA et al., 2021; CURTIS et al., 2022; BEM et al., 2023), e física, contribuindo para melhor agregação dos solos, estrutura, aeração e drenagem (OKHUMATA et al., 2021; SWOBODA et al., 2022).

De liberação mais lenta quando comparado aos fertilizantes químicos, os remineralizadores demonstram impactos positivos nas produtividades das culturas agrícolas podendo compensar esses investimentos (BARROS et al., 2021). No Brasil, já existem cerca de dezoito empresas registradas no MAPA que produzem e comercializam fertilizantes remineralizadores (Tabela 1).

Tabela 1. Exemplos de remineralizadores produzidos no Brasil. (Adaptado de Barros et al., 2021)

Tipo de rocha	% SB	% K ₂ O	%SiO ₂	Nome comercial
Biotita gnaisse diorítico	11	3	NI	Pó de Biotita gnaisse diorito
Basalto	11,5	3,5	NI	Pó de rocha Goyas
Sienito	12	12	0	Potasil
Fonolito	10	8	0	Ekosil
Microgabro + Dacito	14	1,4	10	Mineralle Agro

NI= Dado não informado; SB= Soma de Bases.

Os biofertilizantes, segundo o Decreto nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004, são considerados produtos que contêm princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas, podendo atuar de forma direta e/ou indireta na produção e produtividade das culturas agrícolas (CAVALCANTE et al., 2019). Esse tipo de fertilizante, é caracterizado pela presença de microrganismos vivos em sua composição, além de substâncias naturais que possuem a capacidade de aprimorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (KOUR et al., 2020; REDDY et al., 2020; NOSHEEN et al., 2021). Os efeitos dos biofertilizantes já estão sendo estudados em áreas de cultivos de frutíferas como manga (TALANG et al., 2018; FREIRE e SANTOS, 2019; JIANG et al., 2023), uva (SILVA et al., 2018; ALSALHY et al., 2021), morango (VALE et al., 2023), laranja doce (CONSOLI et al., 2023) entre outros, no qual tem mostrado uma eficiência significativa.

Por fim, os fertilizantes minerais químicos são produtos de natureza fundamentalmente mineral, natural ou sintético, obtido por processo físico, químico ou físico-químico (MAPA, 2004). É importante salientar que a utilização de fertilizantes químicos em excesso, pode elevar os níveis de salinidade e acidez do solo de forma a superar os níveis de tolerância pela maioria das culturas (DENG et al., 2023), além de encarecer o custo de produção em pomares, resultando na diminuição do rendimento (JÚNIOR et al., 2021; EL-RAHMAN et al., 2021). Logo, se torna essencial gerenciar esses custos de forma eficiente para garantir a viabilidade econômica dos pomares.

2.3 Adubação e biofertilização no estado nutricional das plantas

O crescimento e desenvolvimento das plantas estão intimamente relacionados à disponibilidade constante de sais minerais juntamente com outros elementos como luz, água, oxigênio e dióxido de carbono, que embora seja necessário em pequenas quantidades, desempenha um papel importante na realização de atividades metabólicas essenciais (TAIZ et al., 2017).

Os elementos minerais, que incluem macro e micronutrientes, representam os blocos de construção primários que a engenharia biossintética das células utiliza para seu crescimento e desenvolvimento (KUMAR et al., 2021; BHATLA et al., 2018; PRADO, 2021). Embora façam parte de uma pequena fração variando entre 4% a 6% da matéria seca total (BARROS, 2020), esses elementos minerais desempenham papéis cruciais no metabolismo dos vegetais, pois não apenas fazem parte de moléculas importantes, como também desempenham funções estruturais, como formação membranas, além de participar dos processos de ativação de enzimas, controle osmótico, transporte de elétrons, regulação

do equilíbrio protoplasmático e controle da permeabilidade celular (ZAMBOLIM et al., 2016; MA et al., 2021; HANSEL et al., 2021).

Com uma gama tão ampla de pesquisas sobre nutrição mineral vegetal, fica evidente a sua importância para as plantas não apenas para a sobrevivência, mas também para buscar a produção máxima que podem apresentar, principalmente em ambientes semiáridos que possuem maior parte dos solos pobres em nutrientes, o que aumenta a necessidade de adição de recursos externos (TAVARES et al., 2020; NATALE et al., 2021).

Uma opção viável para reposição de nutrientes são os fertilizantes químicos que possuem uma boa capacidade de solubilização e disponibilização, podendo favorecer as plantas em capacidade produtiva. Existem ainda, outras fontes de nutrientes para o solo, tais como fertilizantes naturais associados a biofertilizantes, que podem produzir efeitos sinérgicos ao fornecer não apenas nutrientes, mas também ácidos orgânicos e fitohormônios (MEDEIROS et al., 2021).

Na composição química dos biofertilizantes se encontram ácidos fúlvicos e húmicos que irão melhorar a translocação de nutrientes para a copa da planta (MACHADO et al., 2020) e em concomitância com os fertilizantes químicos podem melhorar a absorção dos nutrientes pelas plantas. Essa combinação tem demonstrado resultados satisfatórios na cultura da mangueira, quanto ao aumento da atividade microbiana do solo, no estado nutricional do solo e folhas, nas panículas, na qualidade, produtividade e produção dos frutos, além da redução de custos com fertilizantes (exemplos, SAL et al., 2017; KUNDU et al., 2018; NEHETE et al., 2019; CHAWLA et al., 2020; GURJAR et al., 2023; FAHMY et al., 2023).

Como ressaltado anteriormente, a aplicação de biofertilizantes na agricultura proporciona vários benefícios, desde o aumento da resistência natural das plantas contra pragas e doenças, até a melhoria nas características químicas e físicas do solo (YANG et al., 2022). Segundo Klaic et al. (2021), os biofertilizantes têm a capacidade de fornecer não apenas nutrientes, mas também metabólitos ao solo, como ácidos orgânicos (ácido cítrico, oxálico, cetoácidos e ácidos hidroxicarbólicos), antraquinonas, flavonoides, alcaloides (ISMAIL et al., 2015; KUMAR et al., 2017; WU et al., 2021; YADAV et al., 2021), favorecendo a disponibilidade de nutrientes por meio da ação de microrganismos. Resultados obtidos por pesquisadores, sugerem que os processos de solubilização do ZnO, MnO e CuO e a dissolução dos óxidos metálicos podem ser atribuída à acidificação do ambiente devido à produção de ácidos orgânicos resultantes das atividades microbianas (CHAERUN et al., 2017; KLAIC et al., 2021).

O potencial biológico dos biofertilizantes reside na presença de bactérias e fungos que aceleram a decomposição da matéria orgânica, gerando substâncias prontamente assimiláveis pelas plantas. Além disso, esses microrganismos atuam em processos como solubilização de fósforo (P) (como as bactérias do gênero *Acidithiobacillus* e *Bacillus* spp. e os fungos *Penicillium* spp.) tornando-o mais disponível no solo (SINDHU et al., 2014; SHARMA et al., 2017), assim como nos conteúdos de matéria orgânica do solo (MOS), nitrogênio total, e potássio disponível (com *Bacillus licheniformis* e *B. amyloliquefaciens*, WANG et al., 2021) entre outros.

2.4 Ação da adubação e biofertilização no solo

Pouco foi debatido sobre os efeitos químicos na fertilidade do solo e no fornecimento de nutrientes com a adição constantes de fertilizantes em áreas agrícolas. O excesso de sais solúveis nos fertilizantes químicos pode aumentar a salinidade do solo ocasionando agravos nas características químicas e físicas (ORTIZ et al., 2021). Em resposta a este aumento, a argila espalha-se, compactando a camada superficial do solo e formando uma camada impermeável abaixo da superfície do solo, o que reduz a capacidade de drenagem, e o aumento da susceptibilidade do solo à erosão, resultando em danos na estrutura do solo e plantas (AWEDAT et al., 2021; PAHALVI et al., 2021).

Em contraponto, os biofertilizantes podem desempenhar um papel importante na melhoria da química e física do solo, através do aumentando de sua fertilidade com a adição de nutrientes e acréscimos no teor de matéria orgânica, que resulta em uma união de partículas sólidas, formando agregados, e conseqüentemente, resultando em uma melhor formação de estrutura, aumento da capacidade de retenção de água e aeração, sendo esses fatores de suma importância para o crescimento das raízes das plantas (SIHI et al., 2017, DU et al., 2023). Na literatura já existem estudos que demonstram a relação entre ácidos húmicos e ácidos fúlvicos no solo em tratamentos que receberam biofertilizantes, e o efeito benéfico na etapa de humificação, isso, por sua vez, contribui para a mitigação dos problemas de erosão do solo, resultando em um aumento tanto na quantidade como na qualidade da matéria orgânica presente no solo (SLEPETIENE et al., 2020, DU et al., 2022).

O aumento do aporte de matéria orgânica no solo por meio do uso de biofertilizantes, também promove uma maior disponibilidade de carbono orgânico, este, desempenha um papel essencial como suporte energético para a atividade microbiana (NOSHEEN et al., 2021; MUSHTAQ et al., 2021). Os microrganismos que compõem esta microfauna, como bactérias, fungos e actinobactérias, dependem do carbono orgânico tanto para fonte de energia como carbono para seu crescimento e atividade metabólica (SOUZA et al., 2022).

A atividade microbiana influencia a formação e estabilidade dos agregados do solo, pois, os microrganismos produzem substâncias como exopolissacarídeos e a glomalina (RABBI et al., 2020; WANG et al., 2021), que agem como agente cimentante para unir partículas do solo em agregados maiores, isso melhora a estrutura física do solo, aumentando a porosidade e a capacidade de retenção de água.

A manga é uma cultura exigente em nutrição, inúmeros trabalhos na literatura apontam que para uma boa produtividade, com qualidade de frutos, é necessário um aporte de nutrientes alinhado a necessidade da cultura. Para estabelecer as necessidades nutricionais da mangueira, é fundamental compreender as curvas de crescimento e a extração de nutrientes pelos frutos ao longo das diferentes etapas de desenvolvimento durante o ciclo de produção. Segundo Cavalcante et al. (2018), por conta das variações de necessidade da mangueira por fase fenológica, é necessário avaliações em determinados períodos pontuais, Rezende et al. (2023), aponta que para uma boa produtividade é necessário atender a determinadas faixas de suficiência, e que modificações nos níveis nutricionais terão impacto apenas fora da faixa de máxima eficiência para cada nutriente.

Ainda não há na literatura faixas ótimas de nutrição para a manga 'Palmer', porém, a cultivar Keitt se assemelha em alguns aspectos de necessidade nutricional, de acordo com estudo realizado por Rezende et al. (2022) os teores de macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) foliares recomendados para obtenção de altas produtividades ($> 45 \text{ ton ha}^{-1}$) de manga 'Keitt' são: N: 18,08, P: 2,05, K: 17,65, Ca: 27,01, Mg: 2,30, S: 1,87, B:124,95, Cu:14,51, Fe: 128,56, Mn: 572,80 e Zn: 136,62.

REFERÊNCIAS

- AKRAM, M. S.; CHEEMA, M. A.; WAQAS, M.; BILAL, M.; SAEED, M. Role of bio-fertilizers in sustainable agriculture. **Mediterranean Journal of Basic and Applied Sciences**, p. 2020030262, 2020.
- ALOVISI, A.; MAUAD, M.; ALOVISI, A.; TOKURA, L.; SILVA, R.; GOMES, C.; RICIERI, R.; SIQUEIRA, J.; OLIVEIRA, G.; LIMA, B.; ARAÚJO, W. Chemical attributes of soil and response of wheat to serpentinite in direct seeding system. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 6, p. 460, 2019.
- ALSALHY, A. M.; SALEM, E. H.; ABADA, M. M.; MOSTAFA, A. M. Efficiency of organic and bio-fertilization on reducing the rates of mineral fertilizers in Flame Seedless vineyards. **SVU-International Journal of Agricultural Sciences**, v. 3, n. 3, p. 60-70, 2021.
- ANJOS, Renisson Thiago Silva. **Análise dos custos de implantação e produção de mangueira (mangifera indica L.) da variedade ‘palmer’ para pequenos produtores do perímetro irrigado senador Nilo Coelho em Petrolina, PE**. 2020. 25f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agronomica) – IF SERTÃO-PE Campus Petrolina Zona Rural, 2020. Disponível em: <https://releia.ifsertaope.edu.br/jspui/bitstream/123456789/800/1/TCC%20Anjos20Petrolina-PE.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2024.
- CARVALHO, C.; KIST, B. B.; BELING, R. R. Anuário Brasileiro de horti&fruti 2023. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2019. 96 p.
- ARAÚJO, E. N. D.; OLIVEIRA, A. P. D.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; BRITO, N. M. D.; NEVES, C. M. D. L.; SILVA, É. É. D. Produção do pimentão adubado com esterco bovino e biofertilizante. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p. 466-470, 2007
- AWEDAT, A. M.; ZHU, Y.; BENNETT, J. M.; RAINE, S. R. The impact of clay dispersion and migration on soil hydraulic conductivity and pore networks. **Geoderma**, v. 404, p. 115297, 2021.
- BARROS VIANA, L. S.; DOS SANTOS CAITANO, T. B.; PONTES, A. N. A remineralização de solos como iniciativa ao desenvolvimento sustentável. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 14, p. e45101421516-e45101421516, 2021.
- BARROS, José. **Fertilidade do solo e nutrição das plantas**. 2020. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/28120/1/P.%20Pedag%c3%b3gica%20-%20Fertiliza%c3%a7%c3%a3o%20das%20culturas.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2024.

BEM, L.; THEODORO, S. Ocorrências de rochas com potencial para o uso como remineralizadores de solo nas mesorregiões nordeste e sudeste do Pará. **Boletim do Museu de Geociências da Amazônia**, v. 10, p. 1-22, 2023.

BHATLA, S. C.; A. LAL, M.; KATHPALIA, R.; BHATLA, S. C. Plant mineral nutrition. **Plant physiology, development and metabolism**, p. 37-81, 2018.

CHAERUN S. K; SULISTYO R. S; MINWAL W. P; MUBAROK M. Z. Biolixiviação indireta de minérios de limonita e saprolita de níquel de baixo teor usando ácidos orgânicos metabólicos fúngicos gerados por *Aspergillus niger*. **Hidrometalurgia**, v.174, p. 29–37, 2017.

CHAWLA, R.; SADAWARTI, R. K. Effect of bio-fertilizers and organic manures on growth, yield and fruit quality of fruit crops. **Plant Arch**, v. 20, p. 3767-3768, 2020.

CLARKSON, D. T.; HANSON, J. B. The mineral nutrition of higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 31, n. 1, p. 239-298, 1980.

CONSOLI, S.; CAGGIA, C.; RUSSO, N.; RANDAZZO, C.; CONTINELLA, A.; MODICA, G.; CACCIOLA, S.; FAINO, L.; REVERBERI, M.; BAGLIERI, A.; PUGLISI, I.; MILANI, M.; MINNOLO, G.; BARBAGALLO, S. Sustainable Use of Citrus Waste as Organic Amendment in Orange Orchards. **Sustainability**, v. 15, n. 3, p. 2482, 2023.

CORDEIRO, R. D. P.; PEREIRA, H. S.; GUABIRABA, B. R. S.; NETO, A. F.; ARAÚJO, E. P. ARAÚJO. Estudo do comportamento de preços da manga comercializada na região do submédio São Francisco no período de 2017 a 2021. **Ciências Agrárias**, v. 27, n.126, p. 22, 2023.

COSTA, A.; PINHO, M. Effect of membrane pore size and solution chemistry on the ultrafiltration of humic substances solutions. **Journal of Membrane Science**, v. 255, p. 49-56, 2005.

CURTIS, J.; LUCHESE, A.; MISSIO, R. Application of soil remineralizer to poultry litter as an efficient and sustainable alternative for fertilizing maize crop. **Journal of Plant Nutrition**, v. 46, p. 423-438, 2022.

DE AQUINO, J. M.; TANIGUCHI, C. A.; MAGINI, C.; BERNI, G. V. The potential of alkaline rocks from the Fortaleza volcanic province (Brazil) as natural fertilizers. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 103, p. 102800, 2020.

DE MEDEIROS, D. S.; SANCHOTENE, D. M.; RAMOS, C. G.; OLIVEIRA, L. F. S.; SAMPAIO, C. H.; KAUTZMANN, R. M. Soybean crops cultivated with dacite rock by-product: A proof of a cleaner technology to soil remineralization. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 6, p. 106742, 2021.

DE MELLO PRADO, Renato. **Mineral nutrition of tropical plants**. 1. ed. Springer, 2021.

DE SALES SILVA, J.; DE OLIVEIRA FERREIRA, M.; DE LIMA, J. R. F. Análise da eficiência técnica dos produtores de manga do vale do São Francisco. **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 15, n. 1, p. 27, 2017.

DEBNATH, S.; RAWAT, D.; MUKHERJEE, A.; ADHIKARY, S.; KUNDU, R. Applications and Constraints of Plant Beneficial Microorganisms in Agriculture. **Biostimulants in Plant Science**, p. 1-26, 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **DECRETO Nº 4.954**, 14 DE JANEIRO DE 2004. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%204.954%2C%20DE%2014,a%20agricultura%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAsncias. Acesso em :13 out. 2022.

DENG, M.; MA, H., SADEGHPOUR, A.; YANG, G.; HU, Y.; YANG, D. Responses of crop production and soil health to chemical nitrogen fertilization in a maize-wheat rotation system. **Frontiers in Environmental Science**, v. 11, p. 1108288, 2023.

DU, T. Y.; HE, H. Y.; ZHANG, Q.; LU, L.; MAO, W. J.; ZHAI, M. Z. Positive effects of organic fertilizers and biofertilizers on soil microbial community composition and walnut yield. **Applied Soil Ecology**, v.175, p.104457, 2022.

DU, T.; HU, Q.; HE, H.; MAO, W.; YANG, Z.; CHEN, H.; ZHAI, M. Long-term organic fertilizer and biofertilizer application strengthens the associations between soil quality index, network complexity, and walnut yield. **European Journal of Soil Biology**, v. 116, p. 103492, 2023.

EL-RAHMAN, A.; AMIRA, S. A. Response of Mango Trees to Mineral, Bio-Organic Fertilizers and Growth Stimulants. **Journal of Plant Production**, v. 12, n. 9, p. 981-986, 2021.

EMBRAPA SEMIÁRIDO – Centro Nacional de Pesquisa do Trópico Semiárido. **Observatório da manga**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/observatorio-da-manga>. Acesso em: 14 de nov. 2023

FAHMY, F. I.; SHADDAD, A.; FARID, S. Minimizing Mineral Nitrogen Fertilizers Losses to Mango Trees Using Urea-formaldehyde Slow Release Fertilizer and Nitrobein Biofertilizer Under New Valley Conditions. **Alexandria Science Exchange Journal**, v. 44, n. 4, p. 747-763, 2023.

FAO. FAOSTAT: **Crops**. Disponível em: <https://www.fao.org/home/en> . Acesso em: 23 set. 2023

FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S.; CALONEGO, J. C.;ALVES JUNIOR, J. Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milheto, braquiária, milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1147–1155, 2008.

FREIRE, J.; SANTOS, S. Qualidade de mudas de manga 'Maranhão' irrigadas com água salina e uso de biofertilizante bovino. **Revista Principia**, n. 44, p. 152-162, 2019.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. **Soil Research**, v. 32, n. 5, p. 1043-1068, 1994.

GURJAR, R. A.; SHAH, K. A.; NAYAKA, P.; SALUNKHE, S. R.; CHAUHAN, N. M. Performance of Bio Fertilizers on Yield of Mango and Sapota in Navsari District of Gujarat. **Journal of Krishi Vigyan**, v. 11, n. 2, p. 269-273, 2023.

HAKEEM, K.; DAR, G.; MEHMOOD, M.; BHAT, R. **Microbiota and Biofertilizers: A Sustainable Continuum for Plant and Soil Health**. Springer, 2021.

HANSEL, F. B.; RODRIGUES, M.; ZABINI, A. V.; ZAVASCHI, E.; LAZZARINI, P.; MURATE, R.; BONINI, F. G. Nutrição mineral como aliada das plantas na tolerância a estresses ambientais. **Informações Agronômicas NPCT**, v. 1, p. 10-24, 2021.

HAWKESFORD, M.; HORST, W.; KICHEY, T.; LAMBERS, H.; SCHJOERRING, J.; MØLLER, I.; WHITE, P. (ed.) **Marschner's mineral nutrition of higher plants, 3rd ed Academic Press Amsterdam, Netherlands**, 2012.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Produção Agrícola Municipal, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado>. Acesso em: Acesso em: 12 Fev. 2023.

INDEX Mundi. Disponível em: www.indexmundi.com/pt/. Acesso em: 13 dez. 2022.

ISMAIL, A. M.; SALEM, W. M. A.; HASSAN, H. A.; RASHA-REFAY, M. Phytochemical analysis and mineral elements composition of datura stramonium following biofertilizers application. **Assiut University journal of Botany**, v. 44, n. 2, p. 69-81, 2015.

JIANG, S.; LI, H.; PENG, H.; MEI, X.; CHEN, T.; XU, Y.; DONG, C.; SHEN, Q. Effects of partial substitution of chemical fertilizer with organic fertilizer on arbuscular mycorrhizal fungal community of *Mangifera indica*. **Ying yong sheng tai xue bao = The journal of Applied Ecology**, v. 34, n. 2, p. 481-490, 2023.

JÚNIOR, A. A. C.; DE FREITAS, J. J. R.; QUEIROZ, Í. S. R.; DE AQUINO LEMOS FILHO, L. C.; TORRES, M. M. Espacialização da salinidade e sodicidade em cambissolo cultivado com manga irrigada. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14, n. 3, p. 14, 2021.

KAUTZMANN, R.; MEDEIROS, D.; DALMORA, A.; COSTA, M.; CORTINA, J.; SAMPAIO, C. Caracterização geoquímica de basalto amigdalóide alterado para uso agrônômico. **Research Gate**, v. 7, p. 1-10, 2020.

KIRKBY, Ernest A. Introduction, Definition and Classification of Nutrients. In: RENGEL, Zed.; CAKMAK, Ismail.; WHITE, Philip J. **Marschner's Mineral Nutrition of Plants**. 4. ed. p. 3-5, 2012.

KLAIC, R.; GUIMARÃES, G. G.; GIROTO, A. S.; BERNARDI, A. C.; ZANGIROLAMI, T. C.; RIBEIRO, C.; FARINAS, C. S. Synergy of *Aspergillus niger* and components in biofertilizer composites increases the availability of nutrients to plants. **Current Microbiology**, v. 78, p. 1529-1542, 2021.

KOUR, D.; RANA, K.; YADAV, A.; YADAV, N.; KUMAR, M.; KUMAR, V.; VYAS, P.; DHALIWAL, H.; SAXENA, A. Microbial biofertilizers: Bioresources and eco-friendly technologies for agricultural and environmental sustainability. **Biocatalysis and agricultural biotechnology**, v. 23, p. 101487, 2020.

KUMAR, R.; KUMAWAT, N.; SAHU, Y. K. Role of biofertilizers in agriculture. **Popular khedi**, v. 5, n. 4, p. 63-66, 2017.

KUMAR, S.; KUMAR, S.; MOHAPATRA, T. Interação entre macro e micronutrientes nas plantas. **Fronteiras na Ciência Vegetal**, v. 665583, 2021.

KUNDU, S.; MISHRA, J. Effect of biofertilizers and inorganic fertilizers on mango cv. Himsagar. **Journal of Crop and Weed**, v. 14, n. 3, p. 100-105, 2018.

LINDSAY, M. B.; WAKEMAN, K. D.; ROWE, O. F.; GRAIL, B. M.; PTACEK, C. J., BLOWES, D. W.; JOHNSON, D. B. Microbiology and geochemistry of mine tailings amended with organic carbon for passive treatment of pore water. **Geomicrobiology Journal**, v. 28, n. 3, p. 229-241, 2011.

LU, C.; TIAN, H. Global nitrogen and phosphorus fertilizer use for agriculture production in the past half century: shifted hot spots and nutrient imbalance. **Earth System Science Data**, v. 9, p. 181-192, 2016.

MA, J. F.; TSAY, Yi-F. Transport systems of mineral elements in plants: transporters, regulation and utilization. **Plant and Cell Physiology**, v. 62, n. 4, p. 539-540, 2021.

MACHADO, W.; FRANCHINI, J. C.; DE FÁTIMA GUIMARÃES, M.; TAVARES FILHO, J. Spectroscopic characterization of humic and fulvic acids in soil aggregates. Brazil. **Heliyon**, v. 6, n. 6, 2020.

MAÇIK, M., GRZYTA, A., FRĄC, M. Biofertilizers in agriculture: An overview on concepts, strategies and effects on soil microorganisms, **Advances in Agronomy**, v. 162, p. 31-87, 2020.

MAHANTY, T.; BHATTACHARJEE, S.; GOSWAMI, M.; BHATTACHARYYA, P.; DAS, B.; GHOSH, A.; TRIBEDI, P. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 1, p. 3315–3335, 2017.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Academic press, 2011.

MEDDICH, A.; OUFDOU, K.; BOUTASKNIT, A.; RAKLAMI, A.; TAHIRI, A.; BEN-LAOUANE, R.; BASLAM, M. Use of organic and biological fertilizers as strategies to improve crop biomass, yields and physicochemical parameters of soil. **Nutrient dynamics for sustainable crop production**, v. 1, p. 247-288, 2020.

MORENO-SALAZAR, R.; SÁNCHEZ-GARCÍA, I.; CHAN-CUPUL, W.; RUIZ-SÁNCHEZ, E.; HERNÁNDEZ-ORTEGA, H. A.; PINEDA-LUCATERO, J.; FIGUEROA-CHÁVEZ, D. Plant growth, foliar nutritional content and fruit yield of *Capsicum chinense* biofertilized with *Purpureocillium lilacinum* under greenhouse conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 108950, 2020.

MUSHTAQ, Z.; FAIZAN, S.; HUSSAIN, A. Role of microorganisms as biofertilizers. *Microbiota and Biofertilizers: A Sustainable Continuum for Plant and Soil Health*, v. 1, p. 83-98, 2021.

NATALE, W.; ROZANE, D.; CORRÊA, M. D. M.; QUEIROZ, R.; de SOUZA, H. A., de LIMA NETO, A. J. Manejo da fertilidade do solo e estado nutricional de fruteiras no bioma mata atlântica do Nordeste Brasileiro, DF: Embrapa, v. 4, Cap. 2, p. 493-536, 2021.

NEHETE, D. S.; JADAV, R. G.; SINGH, I. Influência de Biofertilizantes em Combinação com Fertilizantes Químicos no Crescimento, Floração e Produtividade da Manga (*Mangifera Indica* L.) cv. Amrapali. **Iniciativas Globais para o Desenvolvimento Sustentável: Questões e Estratégias**, v. 1, p. 75, 2019.

NOSHEEN, S.; AJMAL, I.; SONG, Y. Microbes as Biofertilizers, a Potential Approach for Sustainable Crop Production. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 1868, 2021.

NUNES, M. C. N.; EMOND, J. P.; BRECHT, J. K.; DEA, S.; PROULX, E. Quality curves for mango fruit (cv. tommy atkins and palmer) stored at chilling and nonchilling temperatures. **Journal of Food Quality**, v. 30, n. 1, p. 104–120, 2007.

OKHUMATA, S.; UZEZI, E.; IDOWU, R. Effects of integrated application of inorganic and organic fertilizer on properties of soil planted with rice. **World Journal of Advanced Research and Reviews**, v. 11, n. 2, p. 117-123, 2021.

ORTIZ, A. C.; JIN, L. Chemical and hydrological controls on salt accumulation in irrigated soils of southwestern US. **Geoderma**, v. 391, p. 114976, 2021.

PAES, J. L. D. A.; RUIZ, H. A.; FERNANDES, R.; FREIRE, M. B. D. S.; BARROS, M. D. F.; ROCHA, G. C. Dispersão de argilas em solos afetados por sais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1135-1142, 2013.

PAHALVI, H.N.; RAFIYA, L.; RASHID, S.; NISAR, B.; KAMILI, A.N. Chemical Fertilizers and Their Impact on Soil Health. In: DAR, G.H.; BHAT, R.A.; MEHMOOD, M.A.; HAKEEM, K.R. (eds) **Microbiota and Biofertilizers**, Vol 2. Springer, Cham, 2021. p. 1-20.

PRADO, Renato de M. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: EDITORA UNESP, p. 498, 2008.

RABBI, S.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.; YOUNG, I. Microbial processing of organic matter drives stability and pore geometry of soil aggregates. **Geoderma**, v. 360, p. 114033, 2020.

REDDY, G. C.; GOYAL, R. K.; PURANIK, S.; WAGHMAR, V.; VIKRAM, K. V.; SRUTHY, K. S. Biofertilizers toward sustainable agricultural development. **Plant microbe symbiosis**, v. 1, p. 115-128, 2020.

SAU, S.; MANDAL, P.; SARKAR, T.; DAS, K.; DATTA, P. Influence of bio-fertilizer and liquid organic manures on growth, fruit quality and leaf mineral content of mango cv. Himsagar. **Journal of Crop and Weed**, v. 13, n. 1, p. 132-136, 2017.

SHARMA, S.; KUMAR, V.; TRIPATHI, R. Isolation of phosphate solubilizing microorganism (PSMs) from soil. **Journal of Microbiology and Biotechnology Research**, v. 1, p. 90-95, 2017.

SIHI, D.; DARI, B.; SHARMA, D. K.; PATHAK, H.; NAIN, L.; SHARMA, O. P. Evaluation of soil health in organic vs. conventional farming of basmati rice in North India. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 180, n. 3, p. 389-406, 2017.

SILVA JUNIOR, F. B. D.; SILVA, M. J. D.; CARVALHO, H. F. D. S.; SANTOS, C. V. B. D.; DA SILVA, T. G.; DE SOUZA, L. S.; DE MOURA, M. S. Water demand and water use efficiency in 'palmer' mango cultivation in the low-middle São Francisco Valley. **Engenharia Agrícola**, v. 43, p. e20220189, 2023.

SILVA JUNIOR, S.; STAMFORD, N. P.; OLIVEIRA, W. S.; SILVA, E. V. N.; DE ROSALIA E SILVA SANTOS, C. E. DE FREITAS, A. D. S.; DA SILVA, V. S. G. Microbial biofertilizer increases nutrient uptake on grape (*Vitis labrusca* L) grown in an alkaline soil reclaimed by sulfur and 'Acidithiobacillus'. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 10, p. 1695-1701, 2018.

SIMÕES, W. L.; SILVA, J. S. D.; MOUCO, M. A. D. C.; DE OLIVEIRA, C. P.; SILVA, D. J.; OLIVEIRA, F. F. D. Marine calcium application on 'Palmer' mango production. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 618-623, 2022.

SINDHU, S.; PHOUR, M.; CHOUDHARY, S.; CHAUDHARY, D. Phosphorus Cycling: Prospects of Using Rhizosphere Microorganisms for Improving Phosphorus Nutrition of Plants. **Geomicrobiology and Biogeochemistry**, v. 39, p. 199-237, 2014.

SLEPETIENE, A.; VOLUNGEVICIUS, J.; JURGUTIS, L.; LIAUDANSKIENE, I.; AMALEVICIUTE-VOLUNGE, K.; SLEPETYS, J., CESEVICIENE, J. The potential of digestate as a biofertilizer in eroded soils of Lithuania. **Waste Management**, v. 102, p. 441-451, 2020.

SOUZA, M. A. de.; SIMÕES, W. L.; MESQUITA, A. C.; MOUCO, M. A. C.; CAVALCANTE, B. L. S.; GUIMARÃES, M. J. M. Manejo da quimigação para indução floral da mangueira 'palmer' no submédio do vale do São Francisco. **IRRIGA**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 442–453, 2018.

SWOBODA, P.; DÖRING, T.F.; HAMER, M. Remineralizing soils? The agricultural usage of silicate rock powders: A review. **Science of The Total Environment**, v. 807, p. 150976, 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Plant physiology and development** (6ª ed.). Oxford: Oxford University Press. 756 p, 2017.

TALANG, H.; DUTTA, P.; MUKHIM, C.; PATIL, S. Effect of Integrated Nutrient Management on Mango (*Mangifera indica* L.) cv. Himsagar. **Journal of Horticultural Science**, v. 12, p. 23-32, 2018.

TAVARES FILHO, G. S.; DE OLIVEIRA, F. F.; MASCARENHAS, N. M. H.; DE SOUSA ARAÚJO, C. A.; MATIAS, S. S. R.; GREGÓRIO, M. G.; DE OLIVEIRA, A. G. Qualidade do solo em áreas nativas e cultivadas na Chapada do Araripe no semiárido do nordeste brasileiro. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e8809108975-e8809108975, 2020.

VALLE-ROMERO, P.; GARCÍA-LÓPEZ, J.; REDONDO-GÓMEZ, S.; FLORES-DUARTE, N.; RODRÍGUEZ-LLORENTE, I.; IDASZKIN, Y.; PAJUELO, E.; MATEOS-NARANJO, E. Biofertilization with PGP Bacteria Improve Strawberry Plant Performance under Sub-Optimum Phosphorus Fertilization. **Agronomy**, v. 13, n. 2, p. 335, 2023.

VIANA, J.; COELHO, A.; THOMAZINI, A.; CARVALHO, M. Evaluation of the agricultural potential of the serpentinite rock as a soil remineralizer. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93 n. 3, p. e20201614, 2021.

WANG, J.; LIU, L.; GAO, X.; HAO, J.; WANG, M. Elucidating the effect of biofertilizers on bacterial diversity in maize rhizosphere soil. **PLoS ONE**, v. 16, n. 4, p. e0249834, 2021.

WANG, T.; YANG, Z.; ZHANG, C.; ZHAI, X.; ZHANG, X.; HUANG, X.; LI, Z.; ZHANG, X.; ZOU, X.; SHI, J. Chitosan-cinnamon essential oil/sodium alginate-TiO₂ bilayer films with enhanced bioactive retention property: Application for mango preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 222, p. 2843–2854, 2022.

WRIGHT, S.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 198, p. 97-107, 2004.

WU, H.; ZHANG, Z.; WANG, J.; QIN, X.; CHEN, J.; WU, L.; LIN, W. Bio-fertilizer amendment alleviates the replanting disease under consecutive monoculture regimes by reshaping leaf and root microbiome. **Microbial ecology**, v. 84, p. 1-13, 2021.

WU, S.; CAO, Z.; LI, Z.; CHEUNG, K.; WONG, M. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. **Geoderma**, v. 125, p. 155-166, 2005.

XAVIER, C.; NATALE, W. Influência do boro no teor, acúmulo e eficiência nutricional em porta-enxertos de caramboleira. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 6-13, 2017.

YADAV, R.; ROR, P.; RATHORE, P.; KUMAR, S.; RAMAKRISHNA, W. Bacillus subtilis CP4, isolated from native soil in combination with arbuscular mycorrhizal fungi promotes biofortification, yield and metabolite production in wheat under field conditions. **Journal of Applied Microbiology**, v. 131, n. 1, p. 339-359, 2021.

YANG, L. Y.; LIN, C. S.; HUANG, X. R.; NEILSON, R.; YANG, X. R. Effects of biofertilizer on soil microbial diversity and antibiotic resistance genes. **Science of the Total Environment**, v. 820, p. 153170, 2022.

ZAMBOLIM, Laércio.; VENTURA, José. A. **Resistência a doenças induzida pela nutrição mineral de plantas**. 1. ed. Vitória, 2016

CAPÍTULO 2: VIABILIDADE DA BIOFERTIRIGAÇÃO NA NUTRIÇÃO E PRODUTIVIDADE DE MANGUEIRA 'PALMER' NO VALE DO SÃO FRANCISCO

RESUMO

A mangueira é economicamente importante, mas a alta dos fertilizantes químicos afeta a viabilidade dos pomares. É crucial adotar práticas que atendam às necessidades nutricionais de forma econômica. Fertilizantes naturais, juntamente com biofertilizantes, podem promover a sustentabilidade na produção e atender as necessidades nutricionais da mangueira. Este estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade de fertilizantes naturais, incluindo biofertilizantes, associados ou não a fertilizantes químicos, no estado nutricional e produtividade da mangueira 'Palmer' cultivada no Vale do São Francisco. O experimento foi conduzido de janeiro de 2022 a fevereiro de 2024 em um pomar experimental da mangueira 'Palmer', com espaçamento de 5 × 2 m, localizado no Perímetro Irrigado Nilo Coelho, em Petrolina-PE. Utilizou-se um delineamento experimental em blocos casualizados, com cinco repetições e cinco plantas por parcela. Os tratamentos incluíram estratégias de adubação: T1 (testemunha): sem aplicação de fertilizantes; T2: Manejo convencional com apenas fertilizantes químicos; T3: Manejo nutricional com fertilizantes naturais + biofertilizante via fertirrigação; T4: Manejo nutricional com 50% dos nutrientes via fertilizantes químicos e 50% via fertilizantes naturais associados a biofertilizante via fertirrigação. A avaliação dos efeitos dos tratamentos ao longo do ensaio envolveu a análise do estado nutricional da planta antes da aplicação dos tratamentos, durante o pré-florescimento, e a produtividade da manga. Os dados foram submetidos à análise de variância para avaliar os efeitos significativos pelo teste F, e os tratamentos foram comparados pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Apesar do período de avaliação relativamente curto, observou-se um impacto positivo dos diferentes tratamentos no estado nutricional da mangueira, especialmente em relação aos nutrientes P, Cu, Mn, B, Zn e Mo, aumentando os teores no pré-florescimento. Entre os tratamentos avaliados, a aplicação de 50% de fertilizantes químicos com 50% de fertilizantes naturais e biofertilizante apresentou os resultados mais promissores em termos de produtividade (68,73 t ha⁻¹), acima dos tratamentos 100% químico (51,81 t ha⁻¹), 100% natural + biofertilizante (51,73 t ha⁻¹) e testemunha (19,55 t ha⁻¹). Estes resultados destacam a recomendação desse método de manejo, sugerindo sua eficácia em promover um estado nutricional mais equilibrado e favorável para o crescimento e desenvolvimento da mangueira, além da redução de custos de produção com fertilizantes sintéticos.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L. Nutrição vegetal. Estratégias de fertilização. Fertilizantes naturais. Biofertilizante. Componentes de produção.

ABSTRACT

The mango holds global economic importance, but the rise in chemical fertilizers affects orchard viability. It's critical to adopt nutrient supply practices economically. Natural fertilizers, along with biofertilizers, can sustainably promote mango production and meet its nutritional needs. This study aims to assess the viability of natural fertilizers, including biofertilizers, either alone or combined with chemical fertilizers, on the nutritional status and productivity of 'Palmer' mango trees cultivated in the São Francisco Valley. The experiment was conducted from January 2022 to February 2024 in an experimental 'Palmer' mango orchard, spaced at 5 × 2 m, located in the Nilo Coelho Irrigation District, Petrolina-PE. A randomized complete block design was employed, with five replications and five plants per plot. Treatments included fertilization strategies: T1 (control): no fertilizer application; T2: Conventional management with only chemical fertilizers; T3: Nutritional management with natural fertilizers + biofertilizer via fertigation; T4: Nutritional management with 50% of nutrients via chemical fertilizers and 50% via natural fertilizers combined with biofertilizer via fertigation. Treatment effects were evaluated throughout the trial, including plant nutritional status assessment before treatment application, during pre-flowering, and mango productivity. Data underwent analysis of variance to assess significant effects by the F-test, and treatments were compared using Tukey's test at a 5% probability level. Despite the relatively short evaluation period, a positive impact of different treatments on mango nutritional status was observed, especially regarding nutrients P, Cu, Mn, B, Zn, and Mo, increasing levels during pre-flowering. Among the evaluated treatments, the application of 50% chemical fertilizers with 50% natural fertilizers and biofertilizer showed the most promising results in terms of productivity (68.73 t ha⁻¹), surpassing 100% chemical (51.81 t ha⁻¹), 100% natural + biofertilizer (51.73 t ha⁻¹), and control (19.55 t ha⁻¹) treatments. These findings emphasize the recommendation of this management method, suggesting its effectiveness in promoting a more balanced and favorable nutritional status for mango growth and development, along with reducing production costs associated with synthetic fertilizers.

Key-words: *Mangifera indica* L. Plant nutrition. Fertilization strategies. Natural fertilizers. Biofertilizer. Production components.

1. INTRODUÇÃO

A expressiva produção de frutas no Brasil o coloca como o terceiro maior produtor mundial, tendo alcançado cerca de 41,3 milhões de toneladas em 2021. A manga (*Mangifera indica* L.) representa uma parte significativa desse total, mantendo consistentemente a posição de liderança nas exportações brasileiras de frutas nos últimos anos (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTIFRUTI, 2022).

A região Nordeste apresenta os mais altos índices de produtividade no Brasil, atingindo 21,1 t ha⁻¹, superando a média nacional de 19,8 t ha⁻¹. Além disso, o Vale do São Francisco possui uma produtividade de 27 t ha⁻¹ (OBSERVATÓRIO DA MANGA, 2022). A elevada produtividade de mangas no Vale do São Francisco é justificada pelas condições edafoclimáticas favoráveis ao cultivo desta fruta e, principalmente, pelo manejo adaptado às demandas hídricas, nutricionais e hormonais das plantas na região (CARREIRO et al., 2022).

Quanto ao manejo nutricional, destaca-se que a mangueira é uma cultura exigente em nutrientes (LOBO et al., 2019; TORRES, 2019; MOURA, 2021; REZENDE et al., 2023), especialmente considerando as altas produtividades registradas, o que caracteriza como uma cultura de uso frequente e em elevadas quantidades de fertilizantes. Após a pandemia da COVID-19 a Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados (ABRAFRUTAS, 2022) relatou um aumento significativo nos preços dos fertilizantes, quando os preços de cloreto de potássio (KCl) triplicando, os do fosfato monoamônico (MAP) aumentaram aproximadamente 91%, e os do nitrogênio na forma de ureia apresentaram incremento de 80%.

Uma potencial alternativa para melhorar a eficiência dos fertilizantes químicos e, conseqüentemente, a sustentabilidade do sistema produtivo, é o uso de remineralizadores de solo e de biofertilizantes. Os remineralizadores de solo são materiais minerais, como rochas, submetidos a processos mecânicos de redução (ALMEIDA et al., 2022), que enriquecem a composição mineral do solo, fornecendo uma variedade de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Um exemplo é o fosfato natural, extraído de rochas contendo minerais de fosfato e processado por britagem e moagem para aumentar sua área de superfície específica de contato com o solo.

Outra potencial alternativa é o uso de biofertilizante, que, conforme definido por Vessey (2003) e Santana et al. (2017), é um insumo que contém microrganismos vivos que, quando aplicados à planta ou diretamente no solo, colonizam a rizosfera ou o interior da planta, promovendo o crescimento vegetal ao aumentar o suprimento e/ou disponibilidade de nutrientes. Fertilizantes biológicos contêm substâncias húmicas (FILHO et al., 2020),

formadas pela transformação de biomoléculas durante o processo de decomposição de resíduos vegetais e animais no ambiente, como ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina.

Especificamente para o cultivo de mangueiras, o uso de biofertilizantes via fertirrigação tem apresentado resultados satisfatórios na redução de fertilizantes sintéticos, melhoria da fertilidade do solo, aumento da produção e qualidade físico-química dos frutos. Essa abordagem pode ser integrada ao sistema produtivo de manga, conforme preconizado por Kumari et al. (2021), Dalvi et al. (2021) e Prates et al. (2021). Entretanto, o uso integrado destas diferentes tecnologias ainda não foi avaliado em cultivos de mangueira com alto rendimento com foco em mercados exigentes, o que caracteriza um desafio para a mangicultura.

Dada a importância social e econômica da fruticultura para o desenvolvimento do Vale do São Francisco, um experimento foi desenvolvido com objetivo de avaliar a viabilidade de fertilizantes naturais ou remineralizadores, isoladamente ou em conjunto com fertilizantes químicos e biofertilizante, no estado nutricional e produtividade das mangueiras 'Palmer' na região do Vale do São Francisco.

2.MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de coleta

O experimento foi desenvolvido entre janeiro de 2022 a fevereiro de 2024 em pomar experimental da mangueira 'Palmer', localizado na Universidade Federal do Vale do São Francisco, em Petrolina-PE (9° 09' S, 40° 22' O), a uma altitude de 365,5 m acima do nível do mar, no semiárido pernambucano. O solo do pomar é classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso Típico (SILVA et al., 2017) e o clima é classificado como BswH (ALVARES et al., 2013), com temperatura média anual de 26,0 °C e precipitação média anual de 481,7 mm, na região do Submédio do Vale do São Francisco (Figura 1).

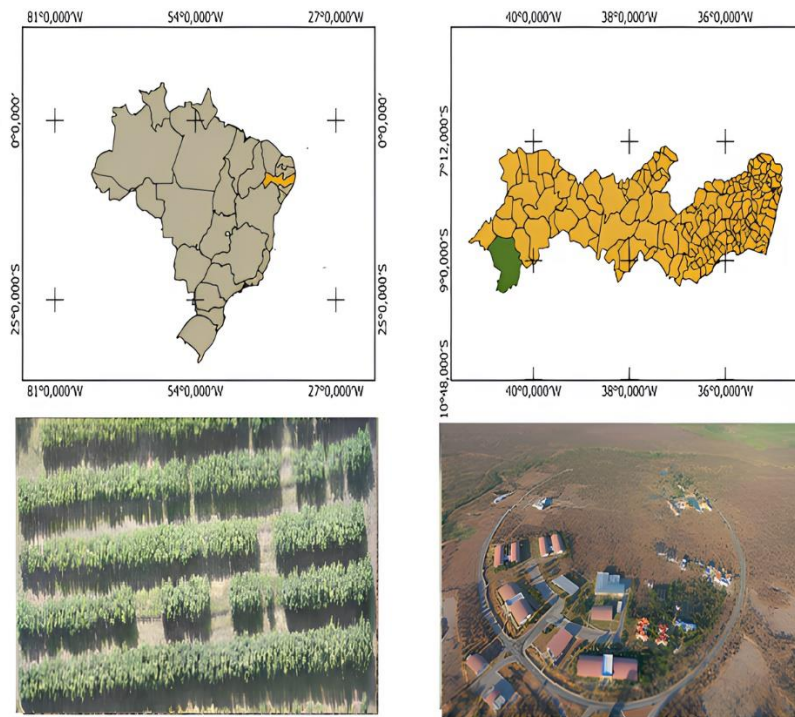


Figura 1. Localização da área experimental do pomar de manga 'Palmer' no Campus de Ciências Agrárias da UNIVASF.

Durante a execução do experimento, os dados climáticos médios referentes à precipitação pluviométrica, temperatura do ar, umidade relativa do ar, e radiação global foram registrados em estação meteorológica automática instalada no Campus de Ciências Agrárias da UNIVASF (Figura 2).

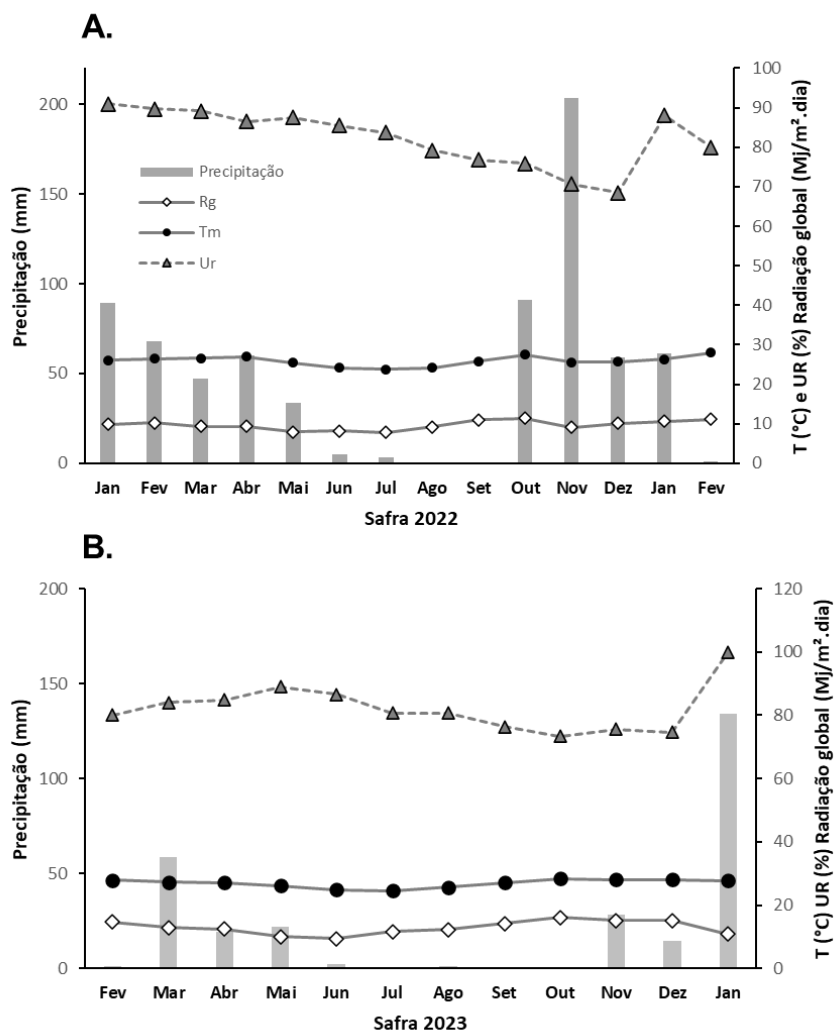


Figura 2. Temperatura média do ar, umidade relativa do ar, precipitação e radiação solar registradas durante a condução do experimento nos anos de 2022 (A) e 2023 (B), Petrolina, PE.

2.2. Manejo da área

No início do experimento as plantas estavam com quatro anos de idade, distantes 5,0 m entre linhas e 2,0 m entre plantas e irrigadas pelo método de irrigação localizado por microaspersão, com um emissor de vazão de 23,3 L h⁻¹ e pressão de trabalho de 2 bar por planta. O manejo de irrigação foi realizado a partir de lâminas de irrigação calculadas com base na evapotranspiração da cultura (ET_c), Equ. 1, sendo ET_o a evapotranspiração de referência, calculada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN, 1998) e K_c o coeficiente da cultura específico para cada fase fenológica da manga. A partir das informações de precipitação e das lâminas de irrigação, foram determinadas as lâminas de irrigação acumuladas. Adotaram-se os valores de K_c recomendados por Teixeira et al. (2008) para as distintas fases fenológicas da cultura.

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (1)$$

Durante a fase de maturação dos ramos 120 DAP (dias após a poda), que antecede a indução floral (160 DAP), a redução de lâmina hídrica ocorreu em até 10% da água disponível. Esse estresse provocado pelo manejo na irrigação consiste em uma técnica aplicada no Vale do São Francisco essencial para a fase de maturação de ramos (CAVALCANTE et al., 2018; SILVA et al., 2020).

As práticas relacionadas à parte aérea, como a realização de podas, controle de plantas invasoras, pragas e doenças, aplicação de reguladores de crescimento vegetal, maturação de ramos e indução floral seguiram as orientações detalhadas por Genú & Pinto (2002), Lopes et al. (2003), Cavalcante et al. (2018), Silva et al. (2020).

No que diz respeito ao manejo nutricional, este foi executado por meio do sistema de fertirrigação, (exceto aplicação da cal hidratada e do fosfato natural reativo que foram aplicados a lanço na prospecção da copa), com base na análise da química do solo quanto à fertilidade (Tabela 1), análise foliar (Tabela 2) e nas necessidades específicas da cultura em cada fase fenológica, conforme proposto por Silva et al. (2002), tanto as análises químicas quanto as físicas de solo foram realizadas conforme preconizam Tedesco et al. (2017).

Tabela 1. Análise química e física do solo da área experimental cultivada com mangueira ‘Palmer’ antes da aplicação dos tratamentos

Prof. (cm)	pH H ₂ O	M.O %	P mg dm ³	K	Ca cmol _c dm ⁻³	Análise Química						Zn	B	CTC cmol _c dm ⁻³
						Mg	Na	S	Cu	Fe	Mn			
0-40	5,99	0,92	27,01	1,3	3,03	1,01	0,02	9,91	0,93	22,96	44,34	3,59	1,21	4,84

Prof. (cm)	DS g cm ⁻³	DP	PT %	TP (m ³ .m ⁻³)		Areia	Silte	Argila
				Macro	Micro			
0-20	1,66	2,45	40,31	0,33	0,07	79,3	65,67	13,58
20-40	1,78	2,5	26,47	0,21	0,04	77,9	66,43	11,42

Profundidade; MO- Matéria Orgânica; CTC – Capacidade de troca catiônica; DS- Densidade do Solo; DP – Densidade de Partículas; PT- Porosidade Total; TP-. Tamanho de Poros

Antes das aplicações dos tratamentos foram coletadas folhas para avaliação do estado nutricional das plantas da área experimental quantos aos teores foliares de macro e micronutrientes (Tabela 2) seguindo as metodologias contidas de Tedesco et al. (1995).

Tabela 2. Teores foliares de macro e micronutrientes de mangueira ‘Palmer’ antes da aplicação dos tratamentos

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Mo	Na	Si
g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹							
11,0	1,4	8,0	12,8	1,6	0,8	34,0	5,8	72,0	17,1	29,1	0,2	54,9	725,0

N: Kjeldahl; P: Espectrometria com amarelo de vanadato; K: Fotometria de chama; Mg, Ca, Fe, Zn e Mn: Espectrofotometria de absorção atômica; B: Espectrofotometria com azometina-H

2.3. Delineamento experimental

Os tratamentos foram distribuídos em blocos ao acaso com cinco repetições e cinco plantas por parcela. As aplicações dos tratamentos foi realizada semanalmente, iniciando após a poda de produção, seguindo as demandas nutricionais e alterações fisiológicas que ocorrem durante o ciclo produtivo da mangueira conforme Genú & Pinto (2002), Silva et al. (2004), Cavalcante et al. (2018), Lobo et al. (2019). A poda de produção para o primeiro ciclo produtivo (safra de 2022) foi realizada em janeiro de 2022 e do segundo ciclo (safra de 2023) em março de 2023.

Os tratamentos foram constituídos de estratégias de manejo para a cultura

T1 (testemunha): sem aplicação de fertilizantes,

T2: Manejo tradicional adotando-se apenas fertilizantes químicos;

T3: Manejo nutricional com fertilizantes naturais + biofertilizante via fertirrigação;

T4: Manejo nutricional com fornecimento de 50% dos nutrientes através de fertilizantes químicos + 50% de fertilizantes naturais associado a biofertilizante via fertirrigação.

As fontes naturais usadas no experimento seguem a Instrução Normativa no 17, artigo 103 (Brasil, 2014), onde são classificadas como remineralizadores.

A Tabela 3 contém as quantidades de cada nutriente e respectivo fertilizante usados no experimento em cada tratamento.

Tabela 3. Quantidades de nutrientes e fertilizantes usados no experimento.

Nutriente	T2		T3		T4	
	kg nutriente ha ⁻¹	Fonte	kg nutriente ha ⁻¹	Fonte	kg nutriente ha ⁻¹	Fonte
N	100	Ureia	-	Biofertilizante	50	Ureia
					-	Biofertilizante
P	183	Superfosfato simples	183,6	Fosfato natural reativo	91,6	Super fosfato simples

					91,6	Fosfato natural reativo
K	300	Sulfato de potássio	300	Pó de rocha	150	Pó de rocha
Ca	213	<i>Lithothamnium calcareum</i>	106	Cal hidratada	106,5	<i>Lithothamnium calcareum</i>
					106,5	Cal hidratada
Mg	53	Sulfato de magnésio	-	-	-	Sulfato de magnésio
Fe	14	Sulfato de ferro	-	-	14	Sulfato de ferro
Zn	38	Sulfato de zinco	-	-	38	Sulfato de zinco
Mn	11,8	Sulfato de manganês	-	-	11,8	Sulfato de manganês
B	20,6	Ácido bórico	-	-	20,6	Ácido bórico

T2: Manejo tradicional adotando-se apenas fertilizantes químicos; T3: Manejo nutricional com fertilizantes naturais + biofertilizante via fertirrigação; T4: Manejo nutricional com fornecimento de 50% dos nutrientes através de fertilizantes químicos + 50% de fertilizantes naturais associado a biofertilizante via fertirrigação.

As fontes de fertilizantes químicos usadas no experimento continham: ureia (45% N), superfosfato simples (18% P₂O₅), sulfato de potássio (48% K₂O), *Lithothamnium calcareum* (32% Ca e 2% Mg), sulfato de zinco (35% Zn e 9% S), ácido bórico (17% B), sulfato de manganês (26% Mn), sulfato de ferro (23% Fe). As fontes de fertilizantes naturais (remineralizadores) usadas foram: fosfato natural reativo (23% P₂O₅), pó de rocha (10,8% K₂O), cal hidratada (37,9% Ca e 1,4% Mg). As características da cal hidratada usada no experimento encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Características químicas e físico-químicas da cal hidratada usada no experimento

pH	CE	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Mo
	dS/m	----- g kg ⁻¹ -----					----- mg kg ⁻¹ -----						
12,55	7,69	0,8	1,61	379,14	14,59	0,96	760,43	63,10	2795,50	143,85	83,98	LQ	LQ

Ph:Potencial hidrogeniônico CE:Condutividade elétrica, LQ:Limite não quantificável

As fertirrigações foram realizadas usando injetor tipo venturi (55 mm) totalizando 39 aplicações durante cada ciclo fenológico com calda equivalente a 100 L ha⁻¹ por aplicação. A distribuição de cada nutriente seguiu o cronograma de demandas por fase fenológica, seguindo as recomendações de Torres (2019)

O biofertilizante usado no experimento foi preparado seguindo a sequência: primeiramente, os microrganismos benéficos (MB) foram ativados com água e melão para fornecer energia. Após 48 h, o EM foi introduzido em um recipiente contendo melão (40 kg), bokashi (20 kg) e foi completo com água até alcançar 1000 L. Utilizou-se o produto comercial Revitta® solos como bokashi (LEW et al., 2021), composto por microrganismos benéficos, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas, na composição do bokashi. A solução resultante foi cuidadosamente homogeneizada e agitada diariamente. Após um período de 15 dias, o biofertilizante estava pronto para uso. Na Tabela 5 apresenta a composição nutricional detalhada e o fracionamento da matéria orgânica do biofertilizante

Tabela 5. Análise química e de substâncias húmicas do biofertilizante utilizado no experimento

N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Mo	FAF*	FAH*	HU*
g/L	-----%					-----mg kg ⁻¹ -----						-----g kg ⁻¹ -----		
0,26	0,003	0,056	0,03	0,02	0,02	1,13	24,82	0,97	2,18	4,72	0,06	4,42	14	82,65

FAF – Fração ácidos fúlvicos; FAH – Fração ácidos húmicos; HU – Huminas. Nutrientes determinados conforme metodologia do Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos (MAPA, 2017)
*Determinados conforme metodologia de Swift (1996)

Na Tabela 6 esta apresentada a caracterização microbiológica das principais bactérias presentes no biofertilizante (GALKIEWICZ & KELLOGG, 2008)

Tabela 6. Caracterização microbiológica com principais bactérias presentes no biofertilizante usado no experimento e suas principais funções conforme a literatura.

Bactéria	Principais funções	Referências
<i>Clostridium beijerinckii</i>	Biorremediadora do solo, eliminar patógenos de plantas do solo	Ueki et al. (2017); Ueki et al. (2019)
<i>Clostridium butyricum</i>	Bactéria fixadora de nitrogênio não simbiótica	Ross (1958); Chen (2004)
<i>Clostridium sp.</i> <i>Clostridium sporogenes</i>	Degradam matéria seca de folhas, acelerando o processo de decomposição	Koo et al. (2019); Jansson et al. (2018)

<i>Lactobacillus perolens</i>	Auxilia na formação de húmus e na supressão de fungos radiculares patogênicos	Quattrini et al. (2018); Carrión et al. (2019)
<i>Sporolactobacillus nakayamae</i>	Biorremediadora do solo, acelera a degradação da celulose no solo	Javed et al. (2020); Shamshitov et al. (2022)
<i>Pseudomonas formosensis</i>	Solubilização de fosfato	Robledo-Mahón et al. (2020); Blanco-Vargas et al. (2020)

Para o tratamento apenas como fertilizantes naturais foram distribuídas as posteriores quantidades de nutrientes para a safra de 2022 (Janeiro 2022 a Fevereiro de 2023): 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 105 kg ha⁻¹ de K₂O, 200 kg ha⁻¹ de Ca e para safra de 2023 (Março 2023 a Abril de 2024): 92 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 35 kg ha⁻¹ de K₂O, 78 kg ha⁻¹ de Ca. As fontes de fertilizantes escolhidas foram: fosfato natural reativo (23 % P₂O₅), cal hidratada (46% Ca) e pó de rocha como fonte de potássio (10,8% K₂O) além de 15 aplicações do biofertilizante de 100 L ha⁻¹ cada ao longo dos dois ciclos produtivos da mangueira. Para o tratamento T3 e T4 foi adicionado matéria orgânica, tomando como fonte o esterco bovino, aplicando-se 20 litros por planta na formação das plantas e 8 litros por planta imediatamente após a poda de produção.

Para determinação dos efeitos dos tratamentos no ciclo, foram avaliados:

I. O estado nutricional das plantas durante o estágio de pré-florescimento. Nesta avaliação foram coletadas amostras compostas por 12 folhas do último fluxo vegetativo (maduro), nos quatro quadrantes por parcela de cada tratamento, na altura mediana da copa (MALAVOLTA et al., 1997). Foram determinados os teores foliares de N, P, K, Na, Ca, Mg, S, B, Zn, Fe, Cu e Mn na matéria seca (TEDESCO et al., 1995).

II. Os frutos foram colhidos durante o estágio 2 de maturação, coletando 5 frutos por planta de cada parcela, identificado pela coloração da polpa creme-amareladas (Figura 3A). Nesse estágio, foram contabilizados o número de frutos por planta e foram pesados para determinar a produtividade estimada (t ha⁻¹) (Figura 3B). A produtividade por hectare foi calculada multiplicando a produção média por planta pelo número de plantas na área de um hectare.

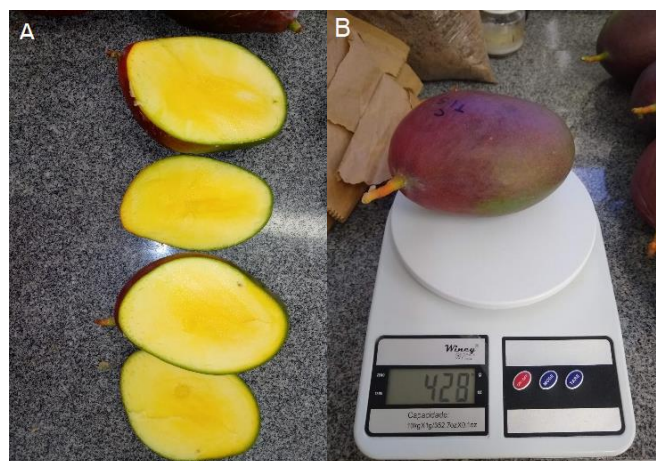


Figura 3. Coloração da polpa creme-amarelada (A), pesagem dos frutos para obtenção da produtividade estimada ($t\ ha^{-1}$) (B).

III. Análise de comparação econômica (ACE), para realizar uma análise de comparação econômica para o experimento se adotou o seguinte método, valor gasto para produzir quilo de fruto (Equ. 2), sendo a razão entre reais gastos por hectare somente com adubação de solo para cada tratamento, e o quilo de frutos produzidos por hectare.

$$Reais\ por\ Kg\ de\ fruto = \frac{Reais\ gastos\ (R\$/ha)}{Frutos\ produzidos\ (Kg/ha)} \quad (2)$$

2.4. Análises estatísticas

Inicialmente realizou-se análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade dos dados. Os dados foram submetidos à análise de variância para avaliação dos efeitos significativos pelo teste F ($p < 0,05$). Os tratamentos foram comparados entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software 'R'. Para confecção das figuras foi utilizado o software SIGMAPLOT versão 12.5.

3. RESULTADOS

3.1 Teores nutricionais

Não houve diferença para a concentração foliar dos macronutrientes N, K, Ca, Mg e S (Tabela 7) na safra de 2022, entretanto, para os teores de fósforo houve influência dos tratamentos ($p < 0,05$).

Tabela 7. Teores de macronutrientes foliares durante o pré-florescimento de mangueira 'Palmer' em função de fertilizantes químicos, remineralizadores e bionutrição, nas safras de 2022 e 2023.

Fontes de variação	N	P	K	Ca	Mg	S
--------------------	---	---	---	----	----	---

----- g kg ⁻¹ -----						
Safrá 2022						
T1	12,50 aA	2,28 aA	7,14 aB	15,10 aA	2,28 aB	1,32 aA
T2	13,12 aA	1,50 bA	7,26 aB	16,90 aB	2,26 aB	1,34 aA
T3	12,64 aA	2,24 aA	7,12 aB	14,52 aB	2,04 aB	1,34 aA
T4	13,80 aA	1,46 bA	5,78 aB	16,76 aB	1,86 aB	1,52 aA
\bar{x}	13,01	1,87	6,82	15,82	2,11	1,38
CV (%)	7,58	19,31	23,2	13,79	19,11	12,95
Safrá 2023						
T1	10,38 aB	1,68 aA	9,38 bA	14,38 dA	3,18 bA	1,18 aA
T2	10,38 aB	1,48 aA	10,88 aA	26,48 cA	3,08 bA	1,58 aA
T3	9,48 bB	1,88 aA	8,68 bA	27,38 bA	3,98 aA	1,38 aA
T4	9,12 bB	1,62 aA	11,52 aA	30,32 aA	2,72 bA	1,32 aA
\bar{x}	9,84	1,66	10,11	24,64	3,24	1,36
CV (%)	3,92	23,16	3,81	1,56	11,9	28,25

Colunas com letras minúsculas comparam entre safras, colunas com letras maiúsculas comparam entre tratamentos. As médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade; \bar{x} : Valores médios, CV%: Coeficiente de variação, LQ: Limite de Quantificação (menor quantidade de um composto da amostra que é alvo de análise (analito) que pode ser determinada com precisão e exatidão aceitáveis pelo laboratório). T1) Testemunha; T2) 100% químico; T3) 100% natural + biofertilizante; T4) 50% químico + 50% natural + biofertilizante.

Para a safra de 2023, a concentração foliar dos macronutrientes não acompanharam o mesmo comportamento da safra anterior (2022), pois N, K, Ca e Mg foram afetados pelos tratamentos aplicados ($p < 0,05$) na fase de pré-florescimento da mangueira, enquanto P e S não apresentaram diferenças significativas.

De acordo com a Tabela 7, o N foi influenciado pelos tratamentos apenas em 2023, destacando-se que os tratamentos sem adubação (T1) e com 100% químico (T2) alcançaram os maiores valores em comparação aos demais tratamentos, os quais foram semelhantes entre si.

Quanto aos teores foliares de P em 2022, o tratamento 100% natural + biofertilizante (T3) e a testemunha (T1) foram semelhantes entre si, assim como o tratamento 100% químico e o tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) também não diferiam entre si e foram inferiores a T1 e T3.

Para o macronutriente K o efeito significativo foi registrado apenas em 2023 (segunda safra de avaliação), com resultados superiores promovidos pelos tratamentos 100% químico (T2) e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4), que foram superiores em comparação com a testemunha e 100% natural + biofertilizante (T3). Destaca-se que em comparação ao ciclo anterior (2022) o teor de potássio foliar subiu em 66,36% para o tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4).

Os teores foliares de Ca dependeram dos tratamentos avaliados apenas na segunda safra de avaliação (2023), quando o tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante foi superior aos demais em 10,19%, 13,52% e 71,32% para os tratamentos 100% químico

(T2), 100% natural + biofertilizante (T3) e sem adubação, e obteve aumento expressivo quando comparado com a safra anterior de cerca de 43,6%.

O Mg também foi influenciado pelos tratamentos apenas em 2023 ($p < 0,05$), mas com superioridade do tratamento 100% natural + biofertilizante e os demais tratamentos, semelhantes entre si. De acordo com a Tabela 4, o teor foliar de Mg superou a média da safra anterior em 64,45%, para o tratamento 100% natural + biofertilizante (T3).

Para os teores foliares dos micronutrientes, apenas o Fe em 2022 não foi influenciado pelos tratamentos (Tabela 8), enquanto todos os demais em ambas safras de avaliação apresentaram efeitos significativos dos tratamentos.

Tabela 8. Teores de micronutrientes foliares de mangueira 'Palmer' em função de fertilizantes químicos, remineralizadores e bionutrição, nas safras de 2022 e 2023.

Tratamentos	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Mo
----- mg kg ⁻¹ -----						
Saфра 2022						
T1	128,06 aA	12,57 cA	402,30 abA	12,32 abB	70,96 aA	0,526 a
T2	146,32 aA	57,07 bcA	662,65 aA	15,1 aB	40,7 bB	0,158 b
T3	142,72 aA	122,12 aA	333,25 bA	12,68 abB	45,28 bA	0,286 b
T4	157,15 aA	100,85 abA	384,86 bA	7,9 bB	46,18 bB	0,134 b
\bar{x}	143,56	73,15	445,76	12	50,78	0,276
CV (%)	11	46,95	49,32	25,72	22,76	30,96
Saфра 2023						
T1	113,48 cB	10,28 bB	428,78 dA	18,88 aA	77,88 cA	>LQ
T2	131,98 aA	10,28 bB	570,18 aA	18,18 aA	95,48 aA	>LQ
T3	118,88 bB	13,28 aB	550,68 bA	16,78 bA	85,08 bB	>LQ
T4	105,12 dA	10,22 bB	515,22 cA	16,02 cA	95,02 aA	>LQ
\bar{x}	117,36	11,01	516,21	17,46	88,36	---
CV (%)	0,33	3,5	0,07	2,21	0,44	---

Colunas com letras minúsculas comparam entre safras, colunas com letras maiúsculas comparam entre tratamentos. As médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade; \bar{x} : Valores médios, CV%: Coeficiente de variação, LQ: Limite de quantificação (menor quantidade de um composto da amostra que é alvo de análise (analito) que pode ser determinada com precisão e exatidão aceitáveis pelo laboratório). T1) Testemunha; T2) 100% químico; T3) 100% natural + biofertilizante; T4) 50% químico + 50% natural + biofertilizante.

Para o micronutriente Fe a adubação com 100% de fertilizantes químicos (T2) se mostrou superior aos demais tratamentos em 2023, em 15,07%, 10,44%, 22,65%, para os respectivos tratamentos, sem adubação (T1), 100% natural + biofertilizante (T3) e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4).

Para os teores foliares de Cu em ambas as safras foram superiores nas plantas adubadas com o tratamento 100% natural + biofertilizante (T3) em relação aos demais tratamentos, especialmente em 2023. Especificamente para o Cu, é pertinente destacar as diferenças marcantes de valores médios entre uma safra e outra em todos os tratamentos, mostrando superioridade de até 917,67%.

O tratamento com adubação 100% química (T2) se destacou quanto aos teores de Mn em ambas as safras, com superioridade destacada principalmente em 2023 (Tabela 8), quando os demais tratamentos não diferiram entre si.

O Zn foi um micronutriente que apresentou bastante variação entre os tratamentos em ambas as safras de avaliação (Tabela 8), com valor médio do tratamento 100% químico (T2) 90% superior ao tratamento com manejo nutricional com fornecimento de 50% dos nutrientes através de fertilizantes químicos + 50% de fertilizantes naturais associado a biofertilizante via fertirrigação (T4) em 2022.

Para o micronutriente B, a testemunha obteve os maiores teores em relação aos demais tratamentos na safra de 2022, com superioridade de 74,34% em comparação ao tratamento 100% químico (Tabela 8), porém, para a safra de 2023 a tendência não se repetiu, quando a o tratamento 100% químico e 50% químico + 50% natural + biofertilizante alcançou os melhores resultados em comparação aos demais tratamentos. Além disso, a média geral dos teores de boro na safra de 2023 foi superior em cerca de 54% à média da safra anterior.

As plantas da testemunha obtiveram maiores teores foliares de molibdênio em comparação aos demais tratamentos (Tabela 8), que não diferiram entre si em 2022, havendo diferença de 232,91% para o tratamento 100% químico, 83,92% para o tratamento 100% natural + biofertilizante e 292,54% para o tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante em comparação com a testemunha (T1). Para safra de 2023 os níveis do micronutriente não atingiram o limite de quantificação.

3.2. Produtividade

A produtividade da mangueira 'Palmer' respondeu ao manejo da adubação dos tratamentos ($p = 0,002$, $F = 8,56$) (Figura 4). As plantas dos tratamentos 50% químico + 50% natural + biofertilizante ($68,73 \text{ t ha}^{-1}$), 100 % natural + biofertilizante ($51,81 \text{ t ha}^{-1}$) e 100% químico ($51,73 \text{ t ha}^{-1}$) produziram de forma semelhante entre si e foram superiores ao tratamento testemunha ($19,55 \text{ t ha}^{-1}$). Além disso, destaca-se que houve superioridade de cerca 50 t ha^{-1} ao comparar o tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) e ao tratamento sem adubação (T1). Os tratamentos, onde a adubação 100% químico (T2), 100% natural + biofertilizante (T3) e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) foram semelhantes estatisticamente, resultando em, valores muito superiores de produtividade que à média nacional ($19,8 \text{ t ha}^{-1}$) e da própria região do Vale do São Francisco (27 t ha^{-1}) (OBSERVATÓRIO DA MANGA, 2022). Os dados de produtividade

para safra de 2023 ainda não foram colhidos devido ao estágio que o fruto se encontra não ser propício a coleta.

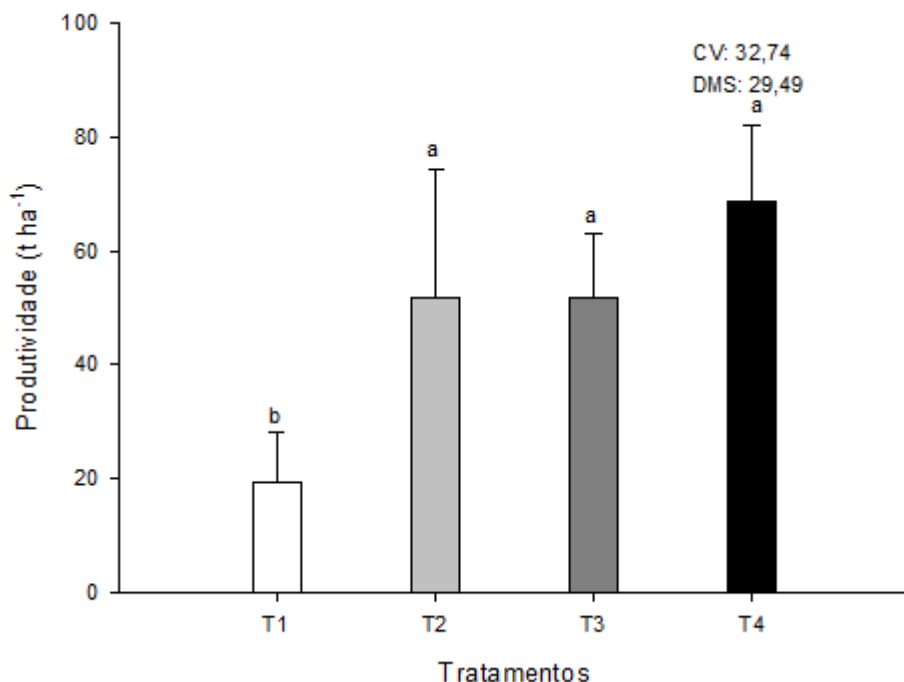


Figura 4. Produtividade em mangueira 'Palmer' em função de fertilizantes químicos, remineralizadores e bionutrição.

Barras com as mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. \bar{x} : Valores médios, CV%: Coeficiente de variação. T1) Testemunha; T2) 100% químico; T3) 100% natural + biofertilizante; T4) 50% químico + 50% natural + biofertilizante.

3.3. Análise de comparação econômica (ACE)

É possível notar de acordo com a Figura 5 que o tratamento 100% químico (T2) obteve o maior valor em real para produzir o quilo de fruto (0,16 R\$), em breve comparativo, houve uma diferença percentual de 78,26% entre o tratamento 100% químico e o tratamento 100% natural + biofertilizante, isso se repete com o tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante que obteve 44,4% a menos que o tratamento apenas com fertilizantes naturais. Isso demonstra que o tratamento 100% natural + biofertilizante alcançou melhor custo-benefício em relação aos demais.

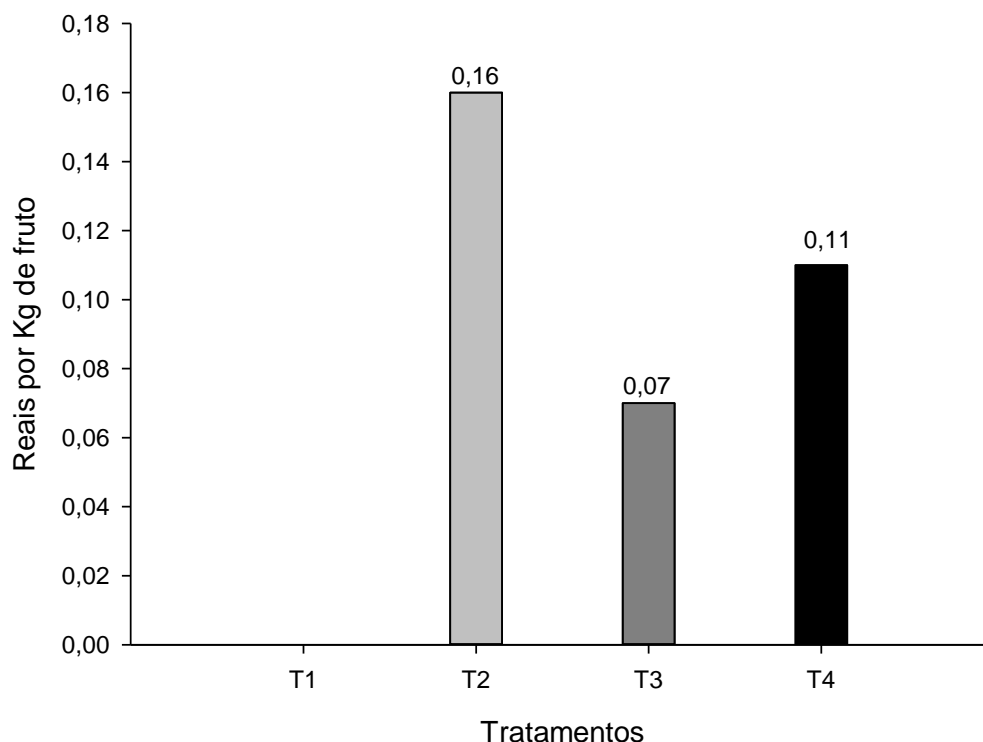


Figura 5. Análise de comparação econômica (ACE) por kilo de fruta produzida em função de fertilizantes químicos, remineralizadores e bionutrição, na safra de 2022.

T1) Testemunha; T2) 100% químico; T3) 100% natural + biofertilizante; T4) 50% químico + 50% natural + biofertilizante.

4.DISSCUSSÃO

O teor de nitrogênio na safra de 2022 não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, porém na safra de 2023, houve diferença significativa entre eles ($p < 0,05$). De acordo com a Tabela 4, o tratamento 100% químico (T2) e o tratamento sem adubação (T1) foram semelhantes entre si e superiores aos demais, isso leva a crer que a ureia disponibilizada para o tratamento apenas com adubação química foi relevante para a disponibilidade e absorção do macronutriente nas folhas da mangueira 'Palmer', entretanto, o tratamento sem adubação também teve seu teor de N igual estatisticamente com o tratamento 100% químico (T2). É interessante levar em consideração que essa diferença de N entre tratamentos, tem influência da aplicação de matéria orgânica no solo por meio do esterco bovino, quando o esterco é aplicado ao solo, o nitrogênio presente em sua composição é liberado gradualmente, fornecendo uma fonte de nutrição para as plantas (SAKA et al., 2017). Além disso é possível que a liberação foi mais rápida nos tratamentos 100% natural + biofertilizante (T3) e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) pela

utilização do biofertilizante, que reconhecidamente acelera os processos de disponibilização dos nutrientes da matéria orgânica (SCHÜLTZ et al., 2018).

Em comparativo com as faixas de suficiência observadas por Rezende et al. (2022) para o nitrogênio na fase de pré-florescimento da mangueira 'Tommy Atkins' os teores encontrados no presente estudo independente da safra e dos tratamentos estão abaixo do preconizado pelos autores (15,1 – 18,9 g kg⁻¹). Entretanto, os resultados corroboram com encontrados por Medeiros et al. (2004) que para quase todos os macronutrientes foliares, principalmente nitrogênio e potássio, os teores diminuíram com a evolução dos estádios fenológicos das plantas por conta da imobilização desses nutrientes para auxiliar no desenvolvimento da mangueira, logo, os autores preconizam faixas de suficiência de 10,4 – 12,9 g kg⁻¹ para o N, o que leva a crer que a cultivar Palmer necessita de menos nitrogênio para suas atividades metabólicas necessárias para o crescimento e desenvolvimento em comparação a 'Tommy Atkins'.

Estudos apontam que antes do florescimento ocorre um maior acúmulo de N nas folhas, nesse contexto, a literatura também destaca que as pesquisas sobre a dinâmica de absorção indicaram que, nos estágios anteriores à floração, os níveis de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) atingem pontos mais elevados, seguidos por uma subsequente diminuição (COSTA & CAETANO, 2014; HUANG et al., 2022), porém é necessário levar em consideração o manejo floral que é empregado no Vale do São Francisco, onde após a aplicação do pacloblutrazol (PBZ) a mangueira fica de 10 a 11 semanas sem receber nenhuma adubação nitrogenada, isso pode ter influenciado na redução dos teores de N foliares na fase de pré-florescimento.

O nitrogênio tem suma importância para o crescimento e desenvolvimento saudável da cultura da manga, sua importância reside em várias funções vitais que desempenha no metabolismo, como constituição de proteínas que são essenciais para a estrutura celular, crescimento e reparo dos tecidos, fotossíntese, crescimento vegetativo, além da qualidade e produção na mangueira estarem atrelados ao manejo do macronutriente (EL-MOTAIUM et al., 2019; SALOMÃO et al., 2018; SILBER et al., 2021).

De acordo com os resultados encontrados no presente estudo, o teor de fósforo foi influenciado apenas pelo tratamento 100% natural + biofertilizante (T3), na fase de pré-florescimento da mangueira para a safra de 2022. Quanto a esse resultado, é possível que a fonte utilizada tenha interferido no resultado, visto que o fosfato natural reativo possui liberação mais lenta no solo, tornando o seu aporte mais constante e gradual para a planta (MBEWE, 1996; SILVA et al., 2021) e em conjunto com o biofertilizante que possui composição química favorável à nutrição (Tabela 3) tenha melhor disponibilizado esse

nutriente, visto que o mesmo possui *Pseudomonas formosensis*, a qual comprovadamente é uma bactéria solubilizadora de fosfato (BLANCO-VARGAS et al., 2020), o que deve ter acelerado o processo de disponibilização do macronutriente (RODRÍGUEZ et al., 1999; RAWAT et al., 2020) .

Antes da floração da mangueira, é comum notar os níveis mais altos de fósforo e outros nutrientes (N, K, Ca, B, Cu e Zn) (Rezende et al., 2020) nas folhas, somente durante o período de plena floração é que esses níveis tendem a atingir os patamares mais baixos, conforme observado por Fernandes & Nascimento (2004) e por Nascimento et al. (2005). Esse comportamento é explicado por conta da mobilidade desses nutrientes e realocação destes das folhas para os frutos durante a frutificação, com exceção do Ca, visto a demanda para processos energéticos, ativação enzimática e regulação osmótica de membranas para produção do fruto (BOTELHO & MULLER, 2020; BAI et al., 2021)

Entretanto, as proporções dos nutrientes passam por mudanças significativas à medida que os tecidos amadurecem, em linhas gerais, os elementos que conseguem se deslocam com facilidade pelo sistema de transporte da planta (N, K, Mg, Zn), a exemplo do próprio fósforo (P) (ZHAI et al., 2022), tendem a diminuir em quantidade conforme as folhas envelhecem, enquanto o oposto acontece com os nutrientes de mobilidade limitada, como o cálcio (Ca) (SILVA, 2008).

Em comparativo com Rezende et al. (2022), que preconiza faixas de suficiência para mangueira na fase de pré-florescimento, o teor de fósforo para os tratamentos sem adubação e 100 % natural + biofertilizante (T3) ficaram adequadamente supridos para a safra de 2022, enquanto os demais tratamentos ficaram muito abaixo do adequado como indica o estudo (1,6 - 2,4 g kg⁻¹).

O fósforo desempenha um papel vital na constituição de diversos compostos essenciais nos tecidos das plantas, sua importância se manifesta na fotossíntese, na respiração e no armazenamento, bem como na transferência de energia através do ATP, além disso, influencia diretamente a divisão e no crescimento celular (DECHEN E NACHTIGALL, 2007). Como visto por Gao et al. (2020) a deficiência de P pode resultar em crescimento retardado, desenvolvimento inadequado das raízes, redução na produção de frutos e diminuição da qualidade dos mesmos.

Os teores médios de K encontrados na safra de 2023 (10,11 g kg⁻¹) ficaram muito próximos aos preconizados por Rezende et al. (2022), 11,5 – 15,3 g kg⁻¹ e bem acima o que cita Quaggio (1996) e Medeiros et al. (2004). Entretanto, ressalta-se que as médias de produtividade para esses trabalhos são inferiores as que encontramos atualmente na região.

É possível que a fonte de potássio utilizada como tratamento de adubação química, o sulfato de potássio, tenha se destacado devido sua solubilidade e velocidade de disponibilização do macronutriente para a mangueira (CARNEIRO et al., 2018), em comparação ao pó de rocha utilizado como fonte de potássio natural; logo, o íon de potássio liberado a partir do sulfato de potássio é prontamente absorvido pelas raízes das plantas enquanto que o processo de liberação de nutrientes a partir do pó de rocha é influenciado por vários fatores, incluindo a composição mineralógica da rocha, o tamanho das partículas, as condições do solo e as atividades microbiológicas (ASSUNÇÃO et al., 2024). Em geral, os nutrientes liberados pelo pó de rocha são disponibilizados de maneira mais lenta e contínua em comparação com fertilizantes solúveis em água (DETTMER et al., 2019).

O potássio desempenha um papel crucial nos processos fotossintéticos, na respiração e na translocação da seiva, sendo indispensável durante a fase de frutificação da mangueira (VITTI & FORLI, 2002; SHEN et al., 2019). Em estudo conduzido por Faria et al. (2016) sobre os níveis de nutrientes nas folhas da mangueira 'Tommy Atkins' no Vale do São Francisco, observou-se variações nos níveis de potássio entre os estágios de floração e frutificação em ambos os ciclos, sendo os valores mais elevados durante o ciclo de floração. As folhas da mangueira 'Tommy Atkins' apresentaram teores de potássio superiores ao considerado suficiente, variando de 5 g kg⁻¹ a 10 g kg⁻¹.

Os teores de cálcio (Ca), para a safra de 2022, estiveram abaixo da faixa considerada ideal segundo Rezende et al. (2022) (24,6 – 36,4 g kg⁻¹), porém se adequaram para a safra de 2023, exceto o tratamento testemunha. Em comparativo com outros trabalhos, as faixas são consideradas adequadas para os teores definidos por Medeiros (2004) que preconiza valores de Ca (9,4 – 41,4 g kg⁻¹) mais baixos, porém vale salientar que as médias de produtividade esperadas no estudo eram muito inferiores as atingidas atualmente.

Para safra de 2023, é possível que a fonte de adubação de cálcio tenha interferido em seu teor na solução do solo, visto que o tratamento superior aos demais foi o 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4), para esse tratamento ambas as fontes de cálcio foram utilizadas, cal hidratada e *Lithothamnium calcareum*, o que pode mostrar um certo grau de sinergismo entre as fontes, visto que, ambos contribuem para o fornecimento de cálcio ao solo, o *Lithothamnium calcareum*, além do cálcio, pode conter outros nutrientes essenciais e a aplicação conjunta com a cal hidratada pode resultar em uma oferta mais abrangente de Ca para as planta (SOPHA et al., 2022; BORGES et al., 2022; SIMÕES et al., 2022).

Além disso, a composição da calda utilizada contém microrganismos que têm a capacidade de interagir com os fertilizantes contendo cálcio, acelerando sua conversão em formas mais prontamente utilizáveis para a manga, pois têm a capacidade de produzir

ácidos orgânicos (ácido acético, cítrico e oxálico) que podem solubilizar compostos de Ca insolúveis (KESWANI et al., 2020; MENEZES-BLACKBURN et al., 2021), deixando o Ca da cal hidrata mais rapidamente disponível no solo.

Vale ressaltar que, no que diz respeito aos demais macronutrientes presentes nas folhas, para a safra de 2022, todas as plantas independentemente dos tratamentos aplicados, estavam supridas apenas com magnésio (Mg) e enxofre (S), dentro das faixas de suficiência preconizada por Rezende et al. (2022), essas faixas sugerem valores ideais para esses nutrientes em torno de 2,0-2,5 e 1,4-2,3 g kg⁻¹, respectivamente. Porém, para a safra de 2023 tanto o magnésio como o enxofre obtiveram diferença entre os tratamentos, onde o tratamento 100% natural + biofertilizante (T3) alcançou o melhor resultado em comparação com o demais, e ficou acima das faixas preconizadas por Rezende et al. (2022) e Medeiros et al. (2004).

É possível que o magnésio tenha sido disponibilizado pela cal hidratada adotada como fonte de cálcio da adubação natural, mas que também possui Mg em sua composição (Tabela 4), visto o acréscimo do macronutriente no solo de uma safra a outra além de que o tratamento não possui adubação direta com fertilizantes a base de magnésio, diferente do tratamento 100% químico (T2) que teve fertilização com sulfato de magnésio.

Também é possível notar que houve uma inibição competitiva entre o Mg e o Ca no complexo de troca catiônica no solo. De acordo com Han et al. (2018), um desequilíbrio onde há um excesso de cálcio em relação ao magnésio na solução do solo pode inibir a absorção de íons de magnésio (Mg²⁺). Da mesma forma, o excesso de magnésio pode interferir na absorção de Ca, assim como ocorre com o potássio (WORKINGER et al., 2018). Logo é possível que esse comportamento explique os teores baixos de Mg do tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4), visto que ele obteve os maiores teores de cálcio da segunda safra. A deficiência de magnésio pode impactar negativamente o crescimento da manga, causando queda precoce de folhas, clorose e redução na produção de frutos (SILVA E FARIA, 2004).

Os teores de Fe na análise foliar da safra de 2022 não mostraram diferença estatística entre os tratamentos, entretanto, estão dentro dos valores propostos por Rezende et al. (2022) para a fase de pré-florescimento da mangueira (113,1 – 449,6 mg kg⁻¹), assim como os teores de ferro da safra de 2023 também se adequam a faixa preconizada, independentemente do tratamento. Os teores de ferro no solo antes da aplicação dos tratamentos são considerados altos para os solos da região, 15,6 a 20 mg dm⁻³ (BIONDI et al., 2011), o que pode ter influenciado nos teores ideais de Fe foliares sem considerar a aplicação dos tratamentos.

De acordo com a Tabela 8, o cobre obteve resposta interessante para a safra de 2022 perante a aplicação dos tratamentos, visto que não houve adubação direta com o micronutriente no solo. Os tratamentos que se sobressaíram dos demais foram justamente o 100% natural + biofertilizante (T3) e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4), onde houve aplicação do biofertilizante no solo. Ainda que a safra de 2023 não seguiu a mesma tendência e reduziu drasticamente os valores de cobre foliares em comparativo a primeira safra, os valores ainda estão dentro do preconizado por Rezende et al. (2022) entre 6,6 - 14,5 g kg⁻¹.

Na composição do biofertilizante (Tabela 3) há ácidos húmicos e fúlvicos que atuam no cobre de maneira a se ligar ao mesmo, visto que o micronutriente se encontra no solo basicamente na forma divalente (Cu²⁺), forma que é absorvido pelas plantas, essa ligação resulta na formação de complexos estáveis conhecidos como quelatos que se tornam mais propensos a serem transportados através do sistema vascular das plantas, permitindo a sua distribuição para diferentes partes da planta (TAIZ et al., 2017; SILVA et al., 2021).

Desta forma, o Cu pode ter inibido de forma não competitiva a absorção de Mo na manga, o que seria uma possível resposta aos baixos teores do micronutriente segundo as faixas para a fase de pré-florescimento da manga, segundo Rezende et al. (2022).

De acordo com os resultados encontrados (Tabela 8), os níveis foliares de manganês estão adequados para a faixa preconizada por Rezende et al. (2022) no período de pré-florescimento (328,3 – 684,1 mg kg⁻¹) para ambas as safras. Os resultados apontam que o sulfato de manganês utilizado no tratamento 100% químico (T2) obteve efeito superior com relação aos outros tratamentos, apontando a eficiência do uso do fertilizante químico perante os demais.

Entretanto, é possível notar que para a safra de 2022 o tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) e 100% natural + biofertilizante (T3) ficaram com praticamente metade dos teores do melhor tratamento, salientando que o tratamento 100% natural + biofertilizante (T3) não possui fonte externa de suplementação com o Mn, além disso, para a safra de 2023 houve comportamento semelhante, com o tratamento 100% natural + biofertilizante (T3) ficando logo abaixo nos maiores teores. Logo, isso leva a crer que a fonte utilizada de cálcio para ambos os tratamentos, cal hidratada (Ca(OH)₂) pode ter interferido na disponibilidade de Mn, reduzindo os teores do micronutriente na folha.

A liberação de cálcio pelo hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) no solo ocorre devido à sua capacidade de se dissociar em íons cálcio (Ca²⁺) e hidroxila (OH⁻) quando em contato com a água no solo, esses íons cálcio são então liberados no solo, tornando-se disponíveis para interagir com as partículas do solo, as raízes das plantas e outros constituintes presentes

(SOWERS et al., 2018). Assim, o cálcio liberado pelo hidróxido de cálcio pode contribuir para a correção da acidez do solo, ajudando a elevar o pH, já que o hidróxido de cálcio é alcalino e pode reduzir a acidez do solo. Segundo Malavolta (1980) a disponibilidade do Mn decai conforme o pH do solo se torna mais alcalino, o que também pode ter contribuído para viabilizar a redução dos teores do micronutriente nas folhas da mangueira.

Destaca-se que a cal hidratada possui CE (condutividade elétrica) e pH elevados, ambos os fatores podem reduzir a disponibilidade de nutrientes no solo, pois a cal hidratada tem a capacidade de elevar o pH do solo, o tornando mais alcalino (FITRANI et al., 2020). Isso pode ser benéfico em solos ácidos, pois muitas plantas preferem um pH próximo à neutralidade para uma absorção eficiente de nutrientes, porém, um pH excessivamente alto pode afetar a disponibilidade de certos nutrientes essenciais para as plantas, como ferro, manganês, zinco e fósforo (GILLESPIE et al., 2020). Outro ponto a ser observado é o aumento da CE do solo devido ao alto índice salino do remineralizador, uma alta CE pode levar à salinização do solo (YAN et al., 2015), o que também pode afetar negativamente a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

Vale salientar que o manganês possui suma importância para as plantas superiores, visto que a função mais bem definida do Mn^{2+} é a sua participação na reação da fotossíntese na qual o O_2 é produzido a partir da água (H_2O) onde desempenha função essencial na fotoxidação da água dentro do lúmen do cloroplasto (HAFEEZ et al., 2022), com isso sua deficiência pode gerar clorose internerval, acompanhada por pequenas áreas necróticas (GAO et al., 2018).

Os teores de zinco foliares, para ambas as safras são semelhantes aos observados por Bahadur et al. (1998), para a mangueira que não tinham nenhuma adubação com Zn, seja solo ou foliar, e mantiveram baixas concentrações foliares de zinco (13,3 a 13,8 $mg\ kg^{-1}$). Além disso, os teores da safra de 2022 também ficaram abaixo do recomendado por Quaggio (1996), que indica faixas para mangueira de 20-40 $mg\ kg^{-1}$, entretanto segundo as faixas ótimas de Medeiros et al. (2004) que preconizam faixa ideal variando de 18-96 $mg\ kg^{-1}$ a safra de 2023 se enquadra.

É possível que as baixas concentrações de zinco na folha possam ser resultado da inibição não competitiva com o P presente no solo. Segundo Mousavi et al. (2011), o fósforo é o elemento mais importante que interfere na absorção do zinco pelas plantas, à medida que quando há altos teores de fósforo no solo, interfere nos processos de transporte ou mobilidade do zinco, dificultando a sua movimentação das raízes para outras partes da planta.

Conseqüentemente, o zinco pode se acumular nas raízes das plantas ou a absorção do zinco pelas raízes pode ser reduzida (HUI et al., 2019). Especificamente para a mangueira Silva et al. (2022) observou que o acúmulo de Zn foi distribuído nas folhas (45,2%), galhos finos (18,2%) e raízes (17,2%) refletindo uma distribuição regular na cultura. Os teores de fósforo no solo para a safra inicial (2022) são considerados altos segundo o trabalho de Cavalcanti (1998) para os solos do estado de Pernambuco, que indica valores de 17 mg dm⁻³ a 29 mg dm⁻³ como altos. Logo, a adubação de fósforo, pode ter interferido na absorção do zinco para a parte aérea da mangueira.

Para o Boro (Tabela 8), nenhum tratamento atingiu as faixas de suficiência definidas por Rezende et al. (2022) em ambas as safras, ficando muito abaixo do preconizado pelos autores (141,8 – 221,3 mg kg⁻¹). O mesmo pode ser visto quando se compara aos valores definidos por Quaggio (1996), 50 – 100 mg kg⁻¹, exceto para a safra de 2023, que variou de 77,88 a 95,48 mg kg⁻¹ os teores de B na folha.

É importante salientar, que para a safra de 2023, os tratamentos 100% químico (T2) e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) resultaram em maiores teores foliares de B, isso é possível pois ambos tinham fertilização com ácido bórico, que suplementou o nutriente para a manga. Os resultados encontrados no presente estudo não corroboram com os de Oldoni et al. (2018), visto que o teor foliar do micronutriente logrou cerca de 280 mg kg⁻¹ com produtividade média de 30 t ha⁻¹, cerca de 50% a menos da produtividade alcançada neste trabalho, entretanto os teores ficaram acima dos encontrados por Ahmad et al. (2018), 27 mg kg⁻¹, ao aplicar B e Zn foliar e no solo em pomar de mangueira 'Chaunsa'.

O boro assume um papel crucial como micronutriente essencial no desenvolvimento da mangueira, sua influência direta se manifesta tanto na fase de polinização quanto no amadurecimento dos frutos, além de ser fundamental na absorção e utilização eficiente do cálcio (XAVIER & NATALE, 2017). Este elemento desempenha um papel vital na fortificação das paredes celulares, conferindo resistência, assim como no crescimento do tubo polínico necessário para o processo de fecundação. Logo, a carência de boro acarreta consequências significativas, como uma redução no florescimento e na eficácia da polinização, resultando em frutos de tamanho diminuído e com parede celular mais frágil (MUENKAEW et al., 2017; MAJI et al., 2017). Porém, a aplicação cuidadosa de B é importante devido ao estreito limiar entre a deficiência e a toxicidade (EL-HOSEINY et al., 2020).

Por outro lado, quando se constata a resposta do molibdênio, é possível observar que a testemunha apresentou os maiores teores do micronutriente nas folhas em comparação

com os demais tratamentos para a safra de 2022 (Tabela 4), o que pode ter ocorrido em função da utilização de fertilizantes que em sua composição tem SO_4^{2-} , visto que segundo Zhu et al. (2020) a presença de sulfato tem efeito inibitório na absorção do molibdato. Logo, por não haver adubação na testemunha (T1), o molibdênio que estava disponível no solo foi mais facilmente absorvido pelo sistema radicular. De maneira inversa, a resposta observada com o cobre, ao passo que quanto menor o teor de cobre mais molibdênio alocado na folha. Há evidências que o cobre (Cu^{+2}) e o molibdênio na forma de molibdato (MoO_4^{2-}), forma que é preferencialmente absorvido, tenham inibição não competitiva, em que o inibidor se combina com sítio não ativo do carregador (BENÍCIO NETO, 2022).

Quando se compara com os valores regionais de produtividade é natural que as médias fiquem mais diluídas, visto que não se leva em consideração a cultivar da manga, e sim o somatório de todas produzidas. Cavalcante et al. (2016) alcançaram resultados inferiores a 30 t ha^{-1} avaliando crescentes doses crescentes de KCl para a cultivar 'Palmer'. Entretanto, Barbosa et al. (2016) observaram produtividade média de $35,62 \text{ t ha}^{-1}$ ao avaliar a associação do boro com a incidência de distúrbios fisiológicos em frutos de manga 'Palmer' e seu efeito na produção de frutos, já Simões et al. (2022) e Silva et al. (2020) encontraram valores de $21,9 \text{ t ha}^{-1}$ e $29,42 \text{ t ha}^{-1}$ respectivamente, bem abaixo do encontrado no presente estudo.

É de suma importância considerar o efeito dos tratamentos nessa variável, visto que, a não ser a testemunha onde não houve adubação, todos obtiveram altas produtividades, o que leva a crer que independente dos tratamentos, uma produtividade alta ($>50 \text{ t ha}^{-1}$) será alcançada. Dessa maneira, destaca-se o uso da adubação com melhor custo-benefício, viabilizando a proposta de inserir fontes alternativas frente a adubação apenas com fertilizantes químicos que apresentaram elevados aumentos nos últimos anos.

Apesar da ausência de diferença estatística as plantas submetidas ao manejo nutricional com fornecimento de 50% dos nutrientes através de fertilizantes químicos + 50% de fertilizantes naturais associado a biofertilizante via fertirrigação (T4) apresentaram produtividade média 28,2% superior ao tratamento 100% químico (T2) e 28,07% superior ao tratamento 100% natural + biofertilizante (T3), o que economicamente consiste um ganho econômico para o produtor, ao se considerar as diferenças de custo com a obtenção dos respectivos insumos.

É possível atestar os resultados ao se observar a análise de comparação econômica (ACE) (Figura 5), o tratamento com melhor custo benefício foi o 100% natural + biofertilizante (T3) seguido do tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4),

levando em consideração o custo para produzir o quilo de fruto, isso corrobora com as altas produtividades obtidas no presente estudo.

Ao se comparar brevemente as produtividades de todos os tratamentos, é possível deduzir que por mais que foram semelhantes estatisticamente, o uso de fertilizantes naturais em conjunto com o biofertilizante se mostrou mais rentável, pois produziu o mesmo com menor custo de adubação. De acordo com Araújo et al. (2003) o custo para se obter 15 t ha⁻¹ de mangueira 'Tommy Atkins' no Vale do São Francisco é de aproximadamente 0,26 R\$ por quilo de fruto apenas levando-se em conta os custos de adubação via solo, já Oliveira et al. 2023 relatou que cerca de 70% do custo para produzir são de insumos, e que desse parcela 30% é para adubação via solo com fertilizantes químicos, o estudo obteve cerca de 0,20 R\$/ quilo de fruto com produtividade média de 30 t ha⁻¹, diferente dos 0,07 e 0,11 R\$/ quilo de fruto obtidos no presente estudo para os tratamentos 100% natural + biofertilizante (T3) e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4), respectivamente. Logo, é possível aferir que a utilização de adubação com fertilizantes naturais juntamente com o biofertilizante é rentável e pode ser uma alternativa viável para se obter melhores produtividades com custo reduzido.

5. CONCLUSÕES

Há efeito da bionutrição no estado nutricional da mangueira para os nutrientes fósforo, potássio, cálcio, ferro, magnésio, manganês, boro e molibdênio;

Há viabilidade de cultivo da mangueira adotando-se apenas fertilizantes naturais, mas com uso do biofertilizante usado no presente estudo;

Os nutrientes nitrogênio, cobre, zinco precisam ser suplementados ao se adotar o uso apenas de fertilizantes naturais;

O tratamento com uso de 50% de fertilizantes químicos + 50% de fertilizantes naturais associado a biofertilizante proporciona os melhores resultados para a produtividade da mangueira 'Palmer' por resultar em menores custos de produção.

REFERÊNCIAS

- ABRAFRUTAS. Disponível em: <https://abrafrutas.org/>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- AHMAD, I.; BIBI, F.; ULLAH, H.; MUNIR, T.M. A produtividade dos frutos da manga e os parâmetros críticos de qualidade respondem às aplicações foliares e no solo de zinco e boro. **Plantas**, v. 7, n. 4, p. 97, 2018.
- ALMEIDA, J. J. J.; SMILJANIC, K. B. A.; MATOS, F. S. A.; PEREIRA, R. M.; DE LIMA NETTO, A. M.; BARBOSA, U. R.; SILVA, V. J. A. Consórcio de remineralizadores de solo utilizado na cultura da soja em solos da região de Cerrado. **Conjecturas**, v. 22, n. 9, p. 415-430, 2022.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANJOS, Renisson Thiago Silva. Análise dos custos de implantação e produção de mangueira (*mangifera indica* L.) da variedade 'palmer' para pequenos produtores do perímetro irrigado senador Nilo Coelho em Petrolina, PE. 2020. 25f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agronomica) – IF SERTÃO-PE Campus Petrolina Zona Rural, 2020. Disponível em: <https://releia.ifsertaope.edu.br/jspui/bitstream/123456789/800/1/TCC%20Anjos20Petrolina-PE.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2024.
- ARAÚJO, E. N. D.; OLIVEIRA, A. P. D.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; BRITO, N. M. D.; NEVES, C. M. D. L.; SILVA, É. É. D. Produção do pimentão adubado com esterco bovino e biofertilizante. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 11, p. 466-470, 2007.
- ARAÚJO, J. L. P., CORREIA, R. C., GUIMARÃES, J., ARAÚJO, E. P. Análise do custo de produção e comercialização da manga produzida e exportada na região do Submédio São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 41., 2003, Juiz de Fora. **Anais** [...]. Juiz de Fora: SOBER, 2003. p. 1-7.
- ASSUNÇÃO, R.; CASSOL, P.; GRANADOS, S.; MAFRA, Á.; BITTENCOURT, R. Microbial-inoculated remineralizers as source of potassium and other nutrients. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 28, p. e275193, 2024.
- AWEDAT, A. M.; ZHU, Y.; BENNETT, J. M.; RAINE, S. R. The impact of clay dispersion and migration on soil hydraulic conductivity and pore networks. **Geoderma**, v. 404, p. 115297, 2021.

BAHADUR, L.; MALHI, C. S.; SINGH, Z. Effect of foliar and soil applications of zinc sulphate on zinc uptake, tree size, yield, and fruit quality of mango. **Journal of Plant Nutrition**, v. 21, n. 3, p. 589–600, 1998.

BAI, Q.; SHEN, Y.; HUANG, Y. Advances in Mineral Nutrition Transport and Signal Transduction in Rosaceae Fruit Quality and Postharvest Storage. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 620018, 2021..

BARBOSA, L. F. S.; CALVACANTE, I. H. L.; LIMA, A. M. N. Desordem fisiológica e produtividade de mangueira cv. Palmer associada à nutrição de boro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 1, p. 001-009, 2016.

BENICIO NETO, M. R.; DA SILVA BERTI, M. P. DINÂMICA DO COBRE NA PLANTA: REVISÃO. **Revista Agrotecnologia**, v. 13, n. 2, 2022.

BOTELHO, R., MÜLLER, M. Nutrient redistribution in fruit crops: Physiological implications. *In: Fruit Crops Diagnosis and Management of Nutrient Constraints. Fruit Crops*, p. 33-46, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128187326/fruit-crops#book-info>. Acesso em: 18 mar. 2010.

BUCHACHENKO, A. L.; KOUZNETSOV, D. A.; BRESLAVSKAYA, N. N.; ORLOVA, M. A. Magnesium isotope effects in enzymatic phosphorylation. **The Journal of Physical Chemistry B**, v. 112, n. 8, p. 2548-2556, 2008.

CARREIRO, D. D. A.; AMARIZ, R. A. E.; SANCHES, L. G.; LOBO, J. T.; PAIVA NETO, V. B. D.; CAVALCANTE, Í. H. L. Gas exchanges and photosynthetic pigments of ‘Tommy Atkins’ mango as a function of fenpropimorph. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 239-247, 2022.

CARVALHO, C.; KIST, B. B.; BELING, R. R. **Anuário Brasileiro de horti&fruti 2020**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, p.96, 2019.

CAVALCANTE, I. H. L.; LIMA, A. M. N.; CARNEIRO, M. A.; RODRIGUEZ, M. S.; SILVA, R. L. Potassium doses on fruit production and nutrition of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Palmer. **Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia**, v. 34, n. 4, p. 385-399, 2016.

CAVALCANTE, Í. H. L.; SANTOS, G. N. F.; SILVA, M. A.; MARTINS, R. S.; LIMA, A. M. N.; MODESTO, P. I. R.; ALCOBIA, A. M.; SILVA, T. R. S.; AMARIZ, R. A.; BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z. A new approach to induce mango shoot maturation in Brazilian semi-arid environment. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 91, p. 281-286, 2018.

CAVALCANTI, F. J. de A. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2º Aproximação**. Recife: IPA, 198 p., 1998.

CHAERUN S. K.; SULISTYO R. S.; MINWAL W. P.; MUBAROK M. Z. Biolixiviação indireta de minérios de limonita e saprolita de níquel de baixo teor usando ácidos orgânicos metabólicos fúngicos gerados por *Aspergillus niger*. **Hidrometalurgia**, v. 174, p. 29–37, 2017.

CLARKSON, D. T.; HANSON, J. B. The mineral nutrition of higher plants. **Annual review of plant physiology**, v. 31, n. 1, p. 239-298, 1980.

COSME SILVA, G. M.; SILVA, W. B.; MEDEIROS, D. B.; SALVADOR, A. R.; CORDEIRO, M. H. M.; DA SILVA, N. M.; SANTANA, D. B.; MIZOBUTSI, G. P. The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. cv. Palmer) fruit during storage. **Food Chemistry**, v. 237, p. 372–378, 2017.

DALVI, M. B.; PATIL, P. D.; PAWAR, H. D.; RAUT, R. A.; BHURE, S. S.; DESAI, V. S. Eficácia de diferentes bio-orgânicos para o manejo de importantes doenças da manga (*Mangifera indica* L.). **Crop Research**, v. 56, n. 6, p. 308-312, 2021.

DE BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; DE NOVAIS, R. F. **Fertilidade de solo**. Viçosa: SBCS, 1017 p., 2007.

DE MEDEIROS, D. S.; SANCHOTENE, D. M.; RAMOS, C. G.; OLIVEIRA, L. F. S.; SAMPAIO, C. H.; KAUTZMANN, R. M. Soybean crops cultivated with dacite rock by-product: A proof of a cleaner technology to soil remineralization. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 6, p. 106742, 2021.

DE MELLO PRADO, Renato. **Mineral nutrition of tropical plants**. 1. ed. Springer, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. DECRETO Nº 4.954, 14 DE JANEIRO DE 2004. Disponível em: [DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.M. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 230 p., 2011.](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%BA%204.954%2C%20DE%2014,agricultura%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAs. Acesso em :13 out. 2022.</p></div><div data-bbox=)

DOS SANTOS CORDEIRO, C. F.; RODRIGUES, D. R.; ROCHA, C. H.; ARAUJO, F. F.; ECHER, F. R. Glomalin and microbial activity affected by cover crops and nitrogen management in sandy soil with cotton cultivation. **Applied Soil Ecology**, v. 167, p. 104026, 2021.

DOS SANTOS SOUSA, W.; CAMPOS, T. S.; SOUZA, A. G. V.; CINTRA, P. H. N.; FARIA, L. O.; DOS SANTOS, T. E. B. Performance of lettuce submitted to the rock dust

remineralizer and doses of efficient microorganisms. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 8, n. 2, p. e5526-e5526, 2021.

DU, T. Y.; HE, H. Y.; ZHANG, Q.; LU, L.; MAO, W. J.; ZHAI, M. Z. Positive effects of organic fertilizers and biofertilizers on soil microbial community composition and walnut yield. **Applied Soil Ecology**, v. 175, p. 104457, 2022.

DU, T.; HU, Q.; HE, H.; MAO, W.; YANG, Z.; CHEN, H.; ZHAI, M. Long-term organic fertilizer and biofertilizer application strengthens the associations between soil quality index, network complexity, and walnut yield. **European Journal of Soil Biology**, v. 116, p. 103492, 2023.

EL-HAMEID, A.; ELSHAZLY, M. Response of mango trees to organic and biofertilizers in North Sinai. **Egyptian Journal of Desert Research**, v. 69, n. 1, p. 39-66, 2019.

EL-HOSEINY, H.M.; HELALY, M.N.; ELSHEERY, NI E ALAM-ELDEIN.; S.M. Ácido húmico e boro para minimizar a incidência de produção alternada e melhorar a produtividade e a qualidade dos frutos das mangueiras. **HortScience** , v. 55, n. 7, p. 1026-1037, 2020.

FAO. FAOSTAT: **Crops**. Disponível em: <https://www.fao.org/home/en> . Acesso em: 23 set. 2023

FELDMANN, F.; IDCZAK, E. Inoculum production of vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi for use in tropical nurseries. In: NORRIS, J.R., READ, D.J., VARMA, A.K. (eds.) **Techniques for mycorrhizal research**. San Diego: Academic press, 1994. p. 799- 817.

FILGUEIRAS, H. A. C. Colheita e manuseio pós-colheita. In: FILGUEIRAS, H.A.C.; CUNHA, A. (Org). **Frutas do Brasil: Manga Pós-colheita**. Fortaleza: Embrapa Agroindustria Tropical, 2000, p.22-25.

FILHO, J.; THOMASON, W.; EVANYLO, G.; ZHANG, X.; STRICKLAND, M.; CHIM, B., DIATTA, A. The Synergistic Effects of Humic Substances and Biofertilizers on Plant Development and Microbial Activity: A Review. **International Journal of Plant and Soil Science** , v. 32, p. 56-75, 2020.

FITRANI, M.; WUDTISIN, I.; KAEWNERN, M. The impacts of the single-use of different lime materials on the pond bottom soil with acid sulfate content. **Aquaculture**, v. 527, p. 735471, 2020.

FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S.; CALONEGO, J. C.; ALVES JUNIOR, J. Aplicação de fosfato natural e reciclagem de fósforo por milheto, braquiária, milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1147–1155, 2008.

GALKIEWICZ J. P.; KELLOGG, C. A. Cross-kingdom amplification using bacteria-specific primers: complications for studies of coral microbial ecology. **Applied and Environment Microbiology**, v. 74, p. 7828- 7831, 2008.

GAO, H.; MAO, H.; ULLAH, I. Analysis of metabolomic changes in lettuce leaves under low nitrogen and phosphorus deficiencies stresses. **Agriculture**, v. 10, n. 9, p. 406, 2020.

GAO, H.; XIE, W.; YANG, C.; XU, J.; LI, J.; WANG, H.; HUANG, C. F. NRAMP2, a trans-Golgi network-localized manganese transporter, is required for Arabidopsis root growth under manganese deficiency. **New Phytologist**, v. 217, n. 1, p. 170-193, 2018.

GENÚ, P.J. de C.; PINTO, A.C de A. **A cultura da mangueira**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 452, 2002.

GILLESPIE, D., KUBOTA, C., MILLER, S. Effects of Low pH of Hydroponic Nutrient Solution on Plant Growth, Nutrient Uptake, and Root Rot Disease Incidence of Basil (*Ocimum basilicum* L.). **HortScience**, v. 55, n. 8, p. 1251-1258, 2020.

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

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. **Soil Research**, v. 32, n. 5, p. 10431068, 1994.

HAFEEZ, A.; RASHEED, R.; ASHRAF, M. A.; RIZWAN, M.; ALI, S. Effects of exogenous taurine on growth, photosynthesis, oxidative stress, antioxidant enzymes and nutrient accumulation by *Trifolium alexandrinum* plants under manganese stress. **Chemosphere**, v. 308, p. 136523, 2022.

HAN, R. C.; XU, Z. R.; LI, C. Y.; RASHEED, A.; PAN, X. H.; SHI, Q. H.; WU, Z. M. The removal of nitrate reductase phosphorylation enhances tolerance to ammonium nitrogen deficiency in rice. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 21, n. 3, p. 631-643, 2022.

HUI, X.; LUO, L.; WANG, S.; CAO, H.; HUANG, M. SHI, M.; WANG, Z. Critical concentration of available soil phosphorus for grain yield and zinc nutrition of winter wheat in a zinc-deficient calcareous soil. **Plant and Soil**, v. 444, p. 315-330, 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Produção Agrícola Municipal, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado>. Acesso em: 12 Fev. 2023.

INDEX Mundi. Disponível em: <https://www.indexmundi.com/pt/>. Acesso em: 13 dez. 2022.

KLAIC, R.; GUIMARÃES, G. G.; GIROTO, A. S.; BERNARDI, A. C.; ZANGIROLAMI, T. C.; RIBEIRO, C.; FARINAS, C. S. Synergy of *Aspergillus niger* and components in biofertilizer composites increases the availability of nutrients to plants. **Current Microbiology**, v. 78, p. 1520-1542, 2021.

KRÜGER, M.; TESTE, F. P.; LALIBERTÉ, E.; LAMBERS, H.; COGHLAN, M.; ZEMUNIK, G.; BUNCE, M. The rise and fall of arbuscular mycorrhizal fungal diversity during ecosystem retrogression. **Molecular ecology**, v. 24, n. 19, p. 4912-4930, 2015.

KUMARI, R.; KUNDU, M.; DAS, A.; RAKSHIT, R.; SAHAY, S.; SENGUPTA, S.; AHMAD, M. F. O manejo integrado de nutrientes a longo prazo melhora o estoque de carbono e a produção de frutos em um pomar subtropical de manga (*Mangifera indica* L.). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 2, p. 725-737, 2020.

KUMARI, S.; SINGH, A. K.; KUMAR, A.; SINGH, K. P.; BAINS, G. Evaluating the efficacy of chitosan and salicylic acid on photosynthetic pigments and antioxidant enzymes towards resistance of mango malformation. **Scientia Horticulturae**, v. 285, p. 110160, 2021.

LAGREID, M.; BOCKMAN, O.C.; KAARSTAD, O. Agriculture, fertilizer and the environment. **CABI Publishing**, v. 294, 1999.

LINDSAY, M. B.; WAKEMAN, K. D.; ROWE, O. F.; GRAIL, B. M.; PTACEK, C. J.; BLOWES, D. W.; JOHNSON, D. B. Microbiology and geochemistry of mine tailings amended with organic carbon for passive treatment of pore water. **Geomicrobiology Journal**, v. 28, n. 3, p. 229-241, 2011.

LOBO, J. T.; CAVALCANTE, Í. H. L.; LIMA, A. M. N.; VIEIRA, Y. A. C.; MODESTO, P. I. R.; DA CUNHA, J. G. Biostimulants on nutritional status and fruit production of mango 'Kent' in the Brazilian semiarid region. **HortScience**, v. 54, n. 9, p. 1501–1508, 2019.

LOPES, P. R. C.; HAJI, F. N. P.; MOREIRA, A. N.; MATTOS, M. A. A. Normas técnicas e documentos de acompanhamento da Produção Integrada de Manga. Petrolina: **Embrapa Semi-Árido**, v. 72, p. 1-75, 2003.

MACHADO, W.; FRANCHINI, J. C.; DE FÁTIMA GUIMARÃES, M.; TAVARES FILHO, J. Spectroscopic characterization of humic and fulvic acids in soil aggregates, Brazil. **Heliyon**, v. 6, n. 6, 2020.

MAJI, S.; YADAV, A.; MEENA, K. Effect Of Calcium and Boron on Growth, Yield and Quality of Pomegranate (*Punica granatum* L.). **International Journal of Plant Sciences**, v. 12, p. 108-113, 2017.

MALAVOLTA, E.A.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 1. ed. Piracicaba: POTAFOS, 201 p., 1997.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Academic press, 2011.

MBEWE, R. The PhS fertilizer usage in Zambia. **Miscellanea Geographica**, v.7, p.245 – 250, 1996.

MORENO-SALAZAR, R.; SÁNCHEZ-GARCÍA, I.; CHAN-CUPUL, W.; RUIZ-SÁNCHEZ, E.; HERNÁNDEZ-ORTEGA, H. A.; PINEDA-LUCATERO, J.; FIGUEROA-CHÁVEZ, D. Plant growth, foliar nutritional content and fruit yield of *Capsicum chinense* biofertilized with

Purpureocillium lilacinum under greenhouse conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 261, p. 108950, 2020.

MUENKAEW, R.; CHAIPRASART, P.; WONGSAWAD, P. Calcium-Boron Addition Promotes Pollen Germination and Fruit Set of Mango. **International Journal of Fruit Science**, v. 17, p. 147 – 158, 2017.

NATALE, W.; ROZANE, D.; CORRÊA, M. D. M.; QUEIROZ, R.; de SOUZA, H. A.; de LIMA NETO, A. J. Manejo da fertilidade do solo e estado nutricional de fruteiras no bioma mata atlântica do Nordeste Brasileiro. In: SOUZA, H. A. de; LEITE, L. F. C.; MEDEIROS, J. C. (Ed.). **Solos sustentáveis para a agricultura no Nordeste**. Brasília: Embrapa, 2021. Parte 4, Cap. 2, p. 493-536.

NUNES, M. C. N.; EMOND, J. P.; BRECHT, J. K.; DEA, S.; PROULX, E. Quality curves for mango fruit (cv. tommy atkins and palmer) stored at chilling and nonchilling temperatures. **Journal of Food Quality**, v. 30, n. 1, p. 104–120, 2007.

OLDONI, F. C. A.; LIMA, A. M. N.; CAVALCANTE, Í. H. L.; SOUSA, K. D. S. M. D.; CARNEIRO, M. A.; CARVALHO, I. R. B. D. Manejo da adubação com boro na produção e qualidade de frutos de manga cv. Palmer no semiárido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40 , p. e-622, 2018.

Oliveira, D. A. de S.; Albuquerque, G. C. A.; Ribeiro, V. G.; Neto, A. F.; Oliveira, F. J. V. ANÁLISE DE CUSTOS OPERACIONAIS DE MÁQUINAS E IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS NA PRODUÇÃO DE MANGA (MANGIFERA INDICA). **Revista Foco (Interdisciplinary Studies Journal)**, v. 16, n. 7, p. e2498, 2023.

OLIOSI, G.; PARTELLI, F. L.; DA SILVA, C. A.; DUBBERSTEIN, D.; GONTIJO, I.; TOMAZ, M. A. Seasonal variation in leaf nutrient concentration of conilon coffee genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 1, p. 74-85, 2020.

PAES, J. L. D. A.; RUIZ, H. A.; FERNANDES, R.; FREIRE, M. B. D. S.; BARROS, M. D. F.; ROCHA, G. C. Dispersão de argilas em solos afetados por sais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 1135-1142, 2013.

POONIA, K. D.; BHATNAGAR, P.; SHARMA, M. K.; SINGH, J. Eficácia de biofertilizantes no crescimento e desenvolvimento de plantas de mangueira cv. Dashehari. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 5, p. 2158- 2162, 2018.

PRADO, Renato de M. Nutrição de Plantas. São Paulo: EDITORA UNESP, p. 498, 2008.

PRATES, A. R.; ZÜGE, P. G. U.; LEONEL, S.; SOUZA, J. M. A.; ÁVILA, J. D. Indução da floração em mangueira: atualizações, perspectivas e opções para a agricultura orgânica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, p. e68175, 2021.

PRIMO, D.C.; MENEZES, R.C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, 2011.

RAMÍREZ, F.; DAVENPORT, T. L. Mango (*Mangifera indica* L.) Flowering Physiology. **Scientia Horticulturae**, v. 126, n. 65–72, 2010.

SAKA, H.; AZEEZ, J.; ODEDINA, J.; AKINSETE, S. Dynamics of soil nitrogen availability indices in a sandy clay loam soil amended with animal manures. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 6, p. 167-178, 2017.

SANTANA, H.; CEREIJO, C. R.; TELES, V. C.; NASCIMENTO, R. C.; FERNANDES, M. S.; BRUNALE, P.; CAMPANHA, R. C.; SOARES, I. P.; SILVA, F. C.P.; SABAINI, P. S.; SIQUEIRA, F. G.; BRASIL, B. S. A. F. Microalgae cultivation in sugarcane vinasse: Selection, growth and biochemical characterization. **Bioresource Technology**, v. 228, p. 133-140, 2017.

SANTOS O. S.; Molibdênio. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Micronutrientes na Agricultura. (eds). **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba: POTAFQS/CNPq. p.191-217, 1991.

SCHÜTZ, L.; GATTINGER, A.; MEIER, M.; MÜLLER, A.; BOLLER, T.; MÄDER, P.; MATHIMARAN, N. Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization—A Global Meta-analysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 2204, 2018.

SIHI, D.; DARI, B.; SHARMA, D. K.; PATHAK, H. NAIN, L.; SHARMA, O. P. Evaluation of soil health in organic vs. conventional farming of basmati rice in North India. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 180, n. 3, p. 389-406, 2017.

SILVA, F. C.; DA SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

SILVA, M. M. L.; RUFINI, J. C. M.; FAGUNDES, M. C. P.; MAIA, V. M.; PEREIRA, A. C. P.; JÚNIOR, P. A. S.; SOUZA, W. G. Effect of carbohydrate content on shoot maturation and yield of Palmer mango submitted to potassium fertilization and biostimulant. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e888997948-e888997948, 2020.

SILVA, M.; RUFINI, J.; FAGUNDES, M.; MAIA, V.; PEREIRA, A.; JÚNIOR, P.; SOUZA, W. Effect of carbohydrate content on shoot maturation and yield of Palmer mango submitted to potassium fertilization and biostimulant. **Research, Society and Development**, v. 9, 2020.

SILVA, U.; CUADROS-ORELLANA, S.; SILVA, D. FREITAS-JÚNIOR, L.; FERNANDES, A., LEITE, L.; OLIVEIRA, C.; SANTOS, V. Genomic and Phenotypic Insights Into the Potential

of Rock Phosphate Solubilizing Bacteria to Promote Millet Growth in vivo. **Frontiers in Microbiology**, v. 11, p. 574550, 2021.

SILVA, W. O.; STAMFORD, N. P.; SILVA, E. V.; SANTOS, C. E.; FREITAS, A. D. S.; SILVA, M. V. The impact of biofertilizers with diazotrophic bacteria and fungi chitosan on melon characteristics and nutrient uptake as an alternative for conventional fertilizers. **Scientia Horticulturae**, v. 209, p. 236-240, 2016.

SIMÕES, W.; SILVA, J.; MOUCO, M.; OLIVEIRA, C.; SILVA, D.; OLIVEIRA, F. Aplicação de cálcio marinho na produção de manga 'Palmer'. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 618-623, 2022.

SLEPETIENE, A.; VOLUNGEVICIUS, J.; JURGUTIS, L.; LIAUDANSKIENE, I.; AMALEVICIUTE-VOLUNGE, K.; SLEPETYS, J.; CESEVICIENE, J. The potential of digestate as a biofertilizer in eroded soils of Lithuania. **Waste Management**, v. 102, p. 441-451, 2020.

SOUSA, M. G.; ARAUJO, J. K. S.; FRACETTO, G. G. M.; FERREIRA, T. O.; FRACETTO, F. J. C.; DE ARAÚJO FILHO, J. C.; DE SOUZA JUNIOR, V. S. Changes in organic carbon and microbiology community structure due to long-term irrigated agriculture on Luvisols in the Brazilian semi-arid region. **Catena**, v. 212, p. 106058, 2022.

SOUZA, M. A. de.; SIMÕES, W. L.; MESQUITA, A. C.; MOUCO, M. A. C.; CAVALCANTE, B. L. S.; GUIMARÃES, M. J. M. Manejo da quimigação para indução floral da mangueira 'palmer' no submédio do vale do São Francisco. **IRRIGA**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 442-453, 2018.

SUDHA, R.; BALAMOHAN, T.; SOORIANATHASUNDARAM, K. Effect of foliar spray of nitrogenous chemicals on flowering, fruit set and yield in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Alphonso. **Journal of Horticultural Science**, v. 7, n. 2, p. 90-93, 2012.

SWIFT, R.S. Organic matter characterization. In: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P.A.; LOEPPERT, R.H.; SOLTANPOUR, P.N.; TABATABAI, M.A.; JOHNSTON, C.T.; SUMNER, M.E. (Eds.) **Methods of soil analysis: chemical methods**. v. 3. Soil Science Society of America; American Society of Agronomy: Madison, 1996. p. 1011-1020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre: Artmed. p.858, 2017.

TAVARES FILHO, G. S.; DE OLIVEIRA, F. F.; MASCARENHAS, N. M. H.; DE SOUSA ARAÚJO, C. A.; MATIAS, S. S. R.; GREGÓRIO, M. G.; DE OLIVEIRA, A. G. Qualidade do solo em áreas nativas e cultivadas na Chapada do Araripe no semiárido do nordeste brasileiro. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 10, p. e8809108975-e8809108975, 2020.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, planta e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, p.174, 1995.

VESSEY, J. L. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and Soil, Crawley**, v. 255, n. 2, p. 571-586, 2003.

WANG, T.; YANG, Z.; ZHANG, C.; ZHAI, X.; ZHANG, X.; HUANG, X.; LI, Z.; ZHANG, X.; ZOU, X.; SHI, J. Chitosan-cinnamon essential oil/sodium alginate-TiO₂ bilayer films with enhanced bioactive retention property: Application for mango preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 222, p. 2843–2854, 2022.

XAVIER, C. V., NATALE, W. Influência do boro no teor, acúmulo e eficiência nutricional em porta-enxertos de caramboleira. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 6-13, 2027.

YAN, N.; MARSCHNER, P.; CAO, W.; ZUO, C.; QIN, W. Influence of salinity and water content on soil microorganisms. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 3, p. 316-323, 2015.

YANG, L. Y.; LIN, C. S.; HUANG, X. R.; NEILSON, R.; YANG, X. R. Effects of biofertilizer on soil microbial diversity and antibiotic resistance genes. **Science of the Total Environment**, v. 820, p.153170, 2022.

ZHAI, H.; ADEOLA, O.; LIU, J. Phosphorus nutrition of growing pigs. **Animal Nutrition**, v. 9, p. 127-137, 2022

CAPÍTULO 3: VIABILIDADE DA BIOFERTIRRIGAÇÃO NAS CONCENTRAÇÕES DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL, FRACIONAMENTO DE MATÉRIA ORGÂNICA E METABOLISMO MICROBIANO EM SOLO CULTIVADO COM MANGUEIRA 'PALMER' NO VALE DO SÃO FRANCISCO

RESUMO

A atividade agrícola da mangueira destaca-se globalmente pela sua relevância econômica. Práticas eficientes de fornecimento de nutrientes são essenciais para a produção. O aumento dos preços dos fertilizantes químicos afeta os custos e a viabilidade econômica. A qualidade das colheitas está intrinsecamente ligada à qualidade do solo, tornando crucial a adoção de técnicas econômicas para suprir as necessidades nutricionais da mangueira. Os fertilizantes naturais, com os biofertilizantes, promovem o crescimento de forma sustentável. O escopo deste estudo consiste em avaliar a viabilidade de fertilizantes naturais, incluindo biofertilizantes, isoladamente ou em combinação com fertilizantes químicos, no que diz respeito a concentração de carbono orgânico, teores substâncias húmicas e o metabolismo microbiano no solo com mangueira 'Palmer', cultivada no Vale do São Francisco. O experimento foi conduzido de janeiro de 2022 a fevereiro de 2024 em um pomar experimental da mangueira 'Palmer', com espaçamento de 5 × 2 m, localizado no Perímetro Irrigado Nilo Coelho, em Petrolina-PE. Utilizou-se um delineamento experimental em blocos casualizados, com cinco repetições e cinco plantas por parcela. Os tratamentos incluíram estratégias de adubação: T1 (testemunha): sem aplicação de fertilizantes; T2: Manejo convencional com apenas fertilizantes químicos; T3: Manejo nutricional com fertilizantes naturais + biofertilizante via fertirrigação; T4: Manejo nutricional com 50% dos nutrientes via fertilizantes químicos e 50% via fertilizantes naturais associados a biofertilizante via fertirrigação. A avaliação dos efeitos dos tratamentos durante o ensaio envolveu a análise da concentração de carbono orgânico total (COT), substâncias húmicas, respiração basal e biomassa microbiana durante o pré-florescimento, e a avaliação dos quocientes metabólicos e microbiano no solo. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância para avaliação dos efeitos significativos pelo teste F, e a comparação entre os tratamentos foi realizada mediante o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Observou-se impacto positivo dos diferentes tratamentos nas concentrações de carbono orgânico (T4: (2022-13,3 g.kg⁻¹, 2023-14,61 g.kg⁻¹) e ácidos fúlvicos e húmicos no solo. Perante os tratamentos avaliados, a biomassa microbiana é mais efetiva na degradação dos compostos orgânicos quando em aplicação de fertilizante químicos. A aplicação de 50% de fertilizantes químicos em conjunto com 50% de fertilizantes naturais e biofertilizante apresentou os resultados mais altos em termos respiração basal e biomassa microbiana. Esses achados enfatizam a recomendação desse método de manejo, indicando sua eficácia em promover um maior teor de carbono no solo, mais propício para o desenvolvimento da mangueira, além da vantagem de reduzir os custos de produção associados aos fertilizantes químicos.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L. Estratégias de fertilização. Carbono orgânico. Fertilizantes naturais. Biofertilizante. Biomassa microbiana.

ABSTRACT

The agricultural activity of mango stands out globally in terms of economic significance. However, to achieve satisfactory production levels, it is of paramount importance to implement appropriate nutrient supply practices. Recently, there has been an increase in the prices of chemical fertilizers, resulting in excess costs and impacting the economic viability of orchards. The productivity and quality of crops are intrinsically linked to the nutritional status of the plant, which is closely related to soil fertility. In this context, it becomes crucial to employ techniques that meet the nutritional needs of mangoes in an economically viable manner. Natural fertilizers, including biofertilizers, have the ability to influence plants both directly and indirectly. Their use is directly associated with sustainable practices in agricultural production systems. The scope of this study is to evaluate the viability of natural fertilizers, including biofertilizers, either alone or in combination with chemical fertilizers, regarding the concentration of organic carbon, levels of humic substances, and microbial metabolism in the soil with 'Palmer' mangoes cultivated in the Vale do São Francisco. The experiment was conducted from 2022 to 2024 in an experimental mango orchard of the 'Palmer' variety, with a spacing of 5 × 2 m, located in the Nilo Coelho Irrigated Perimeter, in Petrolina-PE. A randomized block experimental design was adopted, comprising five repetitions and five plants per plot. The treatments were diversified in fertilization strategies as follows: T1 (control): no application of fertilizers; T2: Conventional management using only chemical fertilizers; T3: Nutritional management with the application of natural fertilizers + biofertilizer via fertigation; T4: Nutritional management with 50% of nutrients from chemical fertilizers and 50% from natural fertilizers associated with biofertilizer via fertigation. The evaluation of the effects of treatments during the trial involved the analysis of the concentration of TOC, humic substances, basal respiration, and microbial biomass before the application of treatments and during the pre-flowering period. Additionally, the assessment of metabolic and microbial quotients in the soil was conducted. The data obtained were subjected to analysis of variance to assess significant effects by the F-test, and the comparison between treatments was carried out through the Tukey test at a 5% probability level. Based on the results, a significant impact of different treatments on organic carbon and fulvic and humic acid concentrations was observed. Among the treatments evaluated, microbial biomass proved to be more effective in degrading organic compounds when synthetic fertilizers were applied. The application of 50% chemical fertilizers in conjunction with 50% natural fertilizers and biofertilizer showed the most promising results in terms of basal respiration and microbial biomass. These findings underscore the recommendation of this management method, indicating its effectiveness in promoting higher carbon content in the soil, conducive to mango development, along with the advantage of reducing production costs associated with synthetic fertilizers.

Key-words: *Mangifera indica* L. Fertilization strategies. Organic carbon. Natural fertilizers. Biofertilizer. Microbial biomass.

1. INTRODUÇÃO

O uso de fertilizantes naturais associados a biofertilizantes revela-se crucial na promoção da saúde do solo, destacando-se como uma alternativa mais sustentável e benéfica em comparação aos fertilizantes químicos convencionais. A importância fundamental reside na preservação da microbiota do solo, composta por uma diversidade de microrganismos essenciais para o ciclo biológico e a fertilidade do solo (WAGG et al., 2019).

Fertilizantes naturais, como compostos orgânicos e remineralizadores, contribuem para a manutenção de um ambiente propício ao desenvolvimento desses microrganismos, promovendo a biodiversidade e, conseqüentemente, a qualidade do solo (LIN et al., 2019; DAI et al., 2018). Além disso, o custo relativamente alto dos fertilizantes químicos representa um desafio econômico para produtores, tornando os fertilizantes naturais uma opção mais acessível e economicamente viável.

Graças à sua localização geográfica e condições climáticas favoráveis, o Brasil tem a capacidade de cultivar frutas tropicais ao longo de todo o ano, conferindo-lhe o status de um dos principais produtores mundiais de frutas. A notável produção de frutas no Brasil o posiciona como o terceiro maior produtor mundial, alcançando aproximadamente 41,3 milhões de toneladas em 2021, além disso, a manga foi a fruta mais exportada em 2022 alcançando cerca de 231,36 mil toneladas e obtendo também o maior valor de exportação com receita de US\$ 205,65 milhões (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTI&FRUTI, 2023)

Apesar do panorama positivo da mangicultura, trata-se de uma cultura com demandas nutricionais elevadas que necessitam de aplicação de fertilizantes em grandes quantidades, o que pode apresentar conseqüências aos solos e, conseqüentemente, às plantas com o decorrer dos anos, além de diminuir a competitividade da cultura devido os elevados custos que esses insumos possuem no mercado.

No que diz respeito ao manejo de solo, existem poucos trabalhos destacando o comportamento da mangueira perante a adubações que favoreçam as comunidades microbianas do solo (KUNDU et al., 2018; JIANG et al., 2023), que podem ser uma alternativa potencial para melhorar a eficiência dos fertilizantes químicos e, conseqüentemente, a sustentabilidade do sistema produtivo. Uma das estratégias para melhorar essas comunidades são os remineralizadores de solo e os biofertilizantes. Os remineralizadores de solo são materiais minerais, como rochas, submetidos a processos mecânicos de redução de tamanho de partículas (ALMEIDA et al., 2022) que enriquecem a composição mineral do solo, fornecendo uma variedade de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas.

Por outro lado, os biofertilizantes são insumos que incorporam microrganismos vivos, e quando aplicados no solo ou nas plantas colonizam a rizosfera ou o interior das plantas, desencadeando um impacto positivo no crescimento vegetal ao ampliar o suprimento e/ou a disponibilidade de nutrientes (SCHÜTZ et al., 2018; SANTANA et al., 2020). Biofertilizantes são ricos também em substâncias húmicas, conforme elucidado por Filho et al. (2020), que são formadas pela transformação de biomoléculas durante o processo de decomposição de resíduos vegetais e animais no ambiente. Essa abordagem biológica não apenas nutre as plantas, mas também preserva a saúde do solo, estabelecendo uma prática agrícola sustentável e economicamente vantajosa.

Especificamente para o cultivo de manga, o uso de biofertilizantes via fertirrigação tem apresentado resultados satisfatórios na redução de fertilizantes sintéticos, melhoria da fertilidade do solo, aumento da produção e qualidade físico-química dos frutos. Essa abordagem pode ser integrada ao sistema produtivo de manga, conforme preconizado por Kumari et al. (2021), Dalvi et al. (2021) e Prates et al. (2021).

Dada a importância social e econômica da fruticultura para o desenvolvimento do Vale do São Francisco, este estudo visa contribuir para a sustentabilidade da atividade frutícola avaliando fertilizantes naturais, isoladamente ou em conjunto com fertilizantes químicos, e biofertilizantes na concentração de carbono orgânico, teores de substâncias húmicas e metabolismo microbológico do solo cultivado com mangueiras 'Palmer' na região do Vale do São Francisco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.2. Área de coleta

O experimento foi conduzido durante duas safras consecutivas, entre janeiro de 2022 a fevereiro de 2024 em um pomar experimental da mangueira 'Palmer' (*Mangifera indica* L.), localizado na Universidade Federal do Vale do São Francisco, em Petrolina, PE (9° 09' S, 40° 22' O), a uma altitude de 365,5 m acima do nível do mar, no semiárido pernambucano. O solo do pomar é classificado como Argissolo Amarelo Distrocoeso Típico (SILVA et al., 2017) e o clima é classificado como BswH (ALVARES et al., 2013), com temperatura média anual de 26,0 °C e precipitação média anual de 481,7 mm, na região do Submédio do Vale do São Francisco (Figura 1).

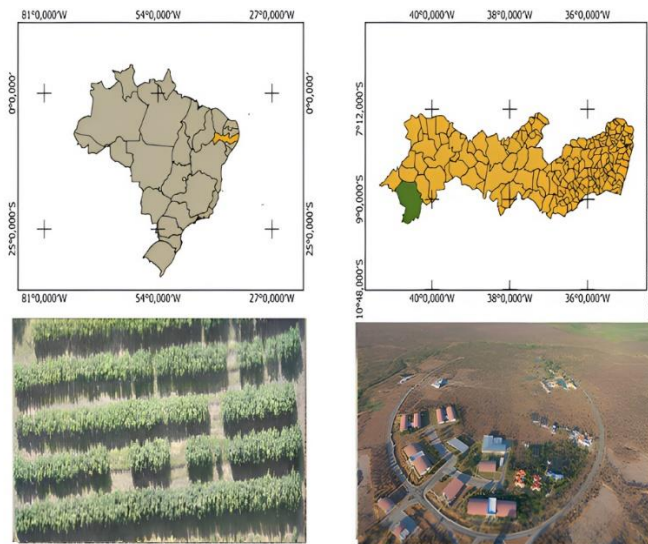


Figura 1. Localização da área experimental do pomar de manga 'Palmer' no Campus de Ciências Agrárias da UNIVASF.

Durante a execução do experimento, os dados climáticos referentes à média das precipitações pluviométricas, temperatura e umidade relativa do ar, e radiação global foram registrados na estação meteorológica automática instalada no Campus de Ciências Agrárias da UNIVASF (Figura 2).

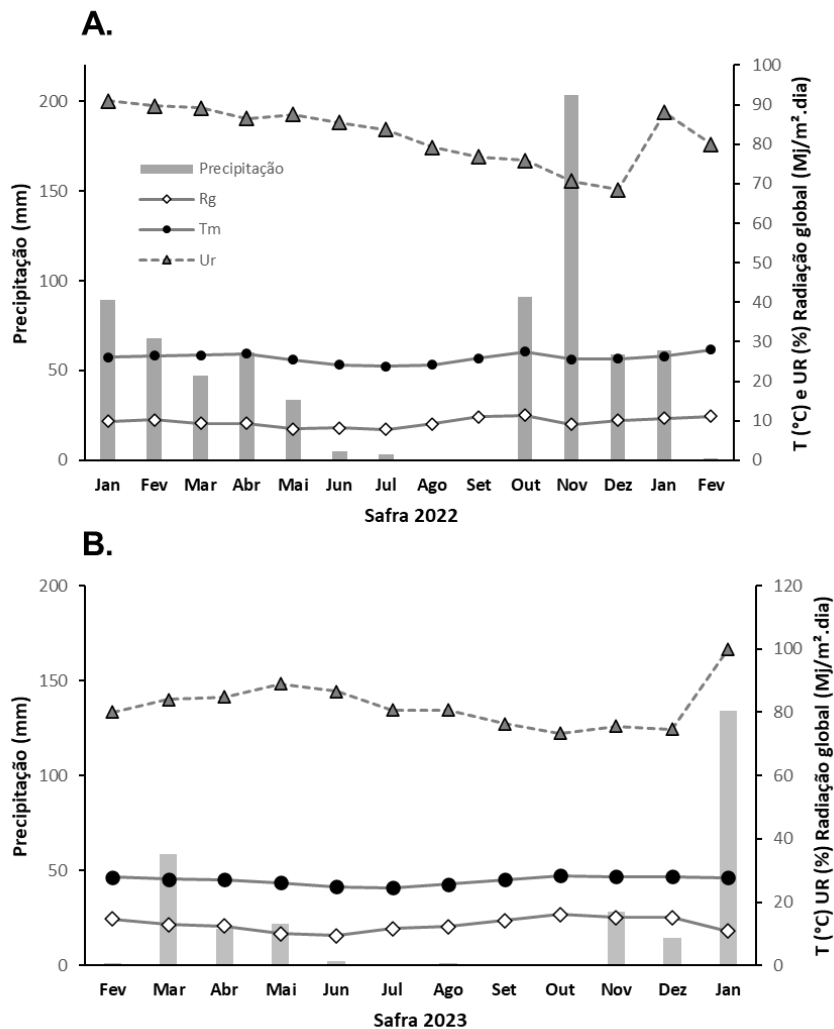


Figura 2. Temperatura média do ar, umidade relativa do ar, precipitação e radiação solar registradas durante a condução do experimento nos anos de 2022 (A) e 2023 (B), Petrolina, PE.

2.3. Manejo da área

No início do experimento as plantas estavam com quatro anos de idade, distantes 5,0 m entre linhas e 2,0 m entre plantas e irrigadas pelo método de irrigação localizado por microaspersão, com um emissor de vazão de 23,3 L h⁻¹ e pressão de trabalho de 2 bar por planta. O manejo de irrigação foi realizado a partir de lâminas de irrigação calculadas com base na evapotranspiração da cultura (ET_c), Equ. 1, sendo ET_o a evapotranspiração de referência, calculada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN, 1998) e K_c o coeficiente da cultura específico para cada fase fenológica da manga. A partir das informações de precipitação e das lâminas de irrigação, foram determinadas as lâminas de irrigação acumuladas. Adotaram-se os valores de K_c recomendados por Teixeira et al. (2008) para as distintas fases fenológicas da cultura.

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (1)$$

Durante a fase de maturação dos ramos 120 DAP (dias após a poda), que antecede a indução floral (160 DAP), a redução de lâmina hídrica ocorreu em até 10% da água disponível. Esse estresse provocado pelo manejo na irrigação consiste em uma técnica aplicada no Vale do São Francisco essencial para a fase de maturação de ramos (CAVALCANTE et al., 2018; SILVA et al., 2020).

As práticas relacionadas à parte aérea, como a realização de podas, controle de plantas invasoras, pragas e doenças, aplicação de reguladores de crescimento vegetal, maturação de ramos e indução floral seguiram as orientações detalhadas por Genú & Pinto (2002), Lopes et al. (2003), Cavalcante et al. (2018), Silva et al. (2020).

No que diz respeito ao manejo nutricional, este foi executado por meio do sistema de fertirrigação, (exceto aplicação da cal hidratada e do fosfato natural reativo que foram aplicados a lanço na prospecção da copa), com base na análise da química do solo quanto à fertilidade (Tabela 1), análise foliar (Tabela 2) e nas necessidades específicas da cultura em cada fase fenológica, conforme proposto por Silva et al. (2002), tanto as análises químicas quanto as físicas de solo foram realizadas conforme preconizam Tedesco et al. (2017).

Tabela 1. Análise química e física do solo da área experimental cultivada com mangueira ‘Palmer’ antes da aplicação dos tratamentos.

Prof. (cm)	pH H ₂ O	M.O %	P mg dm ³	K	Ca cmol _c	Análise Química						Mn mg dm ⁻³	Zn	B	CTC cmol _c dm ⁻³
						Mg dm ⁻³	Na	S	Cu	Fe					
0-40	5,99	0,92	27,01	1,3	3,03	1,01	0,02	9,91	0,93	22,96	44,34	3,59	1,21	4,84	

Prof. (cm)	DS g cm ⁻³	DP	PT %	TP (m ³ .m ⁻³)		Areia	Silte %	Argila
				Macro	Micro			
0-20	1,66	2,45	40,31	0,33	0,07	79,3	65,67	13,58
20-40	1,78	2,5	26,47	0,21	0,04	77,9	66,43	11,42

Profundidade; MO- Matéria Orgânica; CTC – Capacidade de troca catiônica; DS- Densidade do Solo; DP – Densidade de Partículas; PT- Porosidade Total; TP-. Tamanho de Poros

Antes das aplicações dos tratamentos foram coletadas folhas para avaliação do estado nutricional das plantas da área experimental quantos aos teores foliares de macro e micronutrientes (Tabela 2) seguindo as metodologias contidas de Tedesco et al. (1995).

Tabela 2. Teores foliares de macro e micronutrientes de mangueira ‘Palmer’ antes da aplicação dos tratamentos

N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Mo	Na	Si
g kg ⁻¹													
11,0	1,4	8,0	12,8	1,6	0,8	34,0	5,8	72,0	17,1	29,1	0,2	54,9	725,0

N: Kjeldahl; P: Espectrometria com amarelo de vanadato; K: Fotometria de chama; Mg, Ca, Fe, Zn e Mn: Espectrofotometria de absorção atômica; B: Espectrofotometria com azometina-H

2.3. Delineamento experimental

Os tratamentos foram distribuídos em blocos ao acaso com cinco repetições e cinco plantas por parcela. As aplicações dos tratamentos foi realizada semanalmente, iniciando após a poda de produção, seguindo as demandas nutricionais e alterações fisiológicas que ocorrem durante o ciclo produtivo da mangueira conforme Genú & Pinto (2002), Silva et al. (2004), Cavalcante et al. (2018), Lobo et al. (2019). A poda de produção para o primeiro ciclo produtivo (safra de 2022) foi realizada em janeiro de 2022 e do segundo ciclo (safra de 2023) em março de 2023.

Os tratamentos foram constituídos de estratégias de adubação para a cultura

T1 (testemunha): sem aplicação de fertilizantes,

T2: Manejo tradicional adotando-se apenas fertilizantes químicos;

T3: Manejo nutricional com fertilizantes naturais + biofertilizante via fertirrigação;

T4: Manejo nutricional com fornecimento de 50% dos nutrientes através de fertilizantes químicos + 50% de fertilizantes naturais associado a biofertilizante via fertirrigação.

As fontes naturais usadas no experimento seguem a Instrução Normativa no 17, artigo 103 (Brasil, 2014), onde são classificadas como remineralizadores.

A Tabela 3 contém as quantidades de cada nutriente e respectivo fertilizante usados no experimento em cada tratamento.

Tabela 3. Quantidades de nutrientes e fertilizantes usados no experimento.

Nutriente	T2		T3		T4	
	kg nutriente ha ⁻¹	Fonte	kg nutriente ha ⁻¹	Fonte	kg nutriente ha ⁻¹	Fonte
N	100	Ureia	-	Biofertilizante	50	Ureia
					-	Biofertilizante
P	183	Superfosfato simples	183	Fosfato natural reativo	91,6	Super fosfato simples

					91,6	Fosfato natural reativo
K	300	Sulfato de potássio	300	Pó de rocha	150	Pó de rocha
Ca	213	<i>Lithothamnium calcareum</i>	106	Cal hidratada	106,5	<i>Lithothamnium calcareum</i>
					106,5	Cal hidratada
Mg	53	Sulfato de magnésio	-	-	-	Sulfato de magnésio
Fe	14	Sulfato de ferro	-	-	14	Sulfato de ferro
Zn	38	Sulfato de zinco	-	-	38	Sulfato de zinco
Mn	11,8	Sulfato de manganês	-	-	11,8	Sulfato de manganês
B	20,6	Ácido bórico	-	-	20,6	Ácido bórico

T2: Manejo tradicional adotando-se apenas fertilizantes químicos; T3: Manejo nutricional com fertilizantes naturais + biofertilizante via fertirrigação; T4: Manejo nutricional com fornecimento de 50% dos nutrientes através de fertilizantes químicos + 50% de fertilizantes naturais associado a biofertilizante via fertirrigação.

As fontes de fertilizantes químicos usadas no experimento continham: ureia (45% N), superfosfato simples (18% P₂O₅), sulfato de potássio (48% K₂O), *Lithothamnium calcareum* (32% Ca e 2% Mg), sulfato de zinco (35% Zn e 9% S), ácido bórico (17% B), sulfato de manganês (26% Mn), sulfato de ferro (23% Fe). As fontes de fertilizantes naturais (remineralizadores) usadas foram: fosfato natural reativo (23% P₂O₅), pó de rocha (10,8% K₂O), cal hidratada (37,9% Ca e 1,4% Mg). As características da cal hidratada usada no experimento encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4. Características químicas e físico-químicas da cal hidratada usada no experimento

pH	CE	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Mo
	dS/m	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹						
12,55	7,69	0,8	1,61	379,14	14,59	0,96	760,43	63,10	2795,50	143,85	83,98	LQ	LQ

Ph:Potencial hidrogeniônico CE:Condutividade elétrica, LQ:Limite não quantificável

As fertirrigações foram realizadas usando injetor tipo venturi (55 mm) totalizando 39 aplicações durante cada ciclo fenológico com calda de 100 L ha⁻¹ por aplicação. A distribuição de cada nutriente seguiu o cronograma de demandas por fase fenológica, seguindo as recomendações de Torres (2019).

O biofertilizante usado no experimento foi preparado seguindo a sequência: primeiramente, os microrganismos benéficos (MB) foram ativados com água e melão para fornecer energia. Após 48 h, o EM foi introduzido em um recipiente contendo melão (40 kg), bokashi (20 kg) e foi completo com água até alcançar 1000 L. Utilizou-se o produto comercial Revitta[®] solos como bokashi (LEW et al., 2021), composto por microrganismos benéficos, ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas, na composição do bokashi. A solução resultante foi cuidadosamente homogeneizada e agitada diariamente. Após um período de 15 dias, o biofertilizante estava pronto para uso. Na Tabela 5 apresenta a composição nutricional detalhada e o fracionamento da matéria orgânica do biofertilizante usado no experimento.

Tabela 5. Análise química e de substâncias húmicas do biofertilizante utilizado no experimento

N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Mn	B	Mo	FAF*	FAH*	HU*
g/L	%					mg kg ⁻¹							g kg ⁻¹	
0,26	0,003	0,056	0,03	0,02	0,02	1,13	24,82	0,97	2,18	4,72	0,06	4,42	14	82,65

FAF – Fração ácidos fúlvicos; FAH – Fração ácidos húmicos; HU – Huminas. Nutrientes determinados conforme metodologia do Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos (MAPA, 2017)

*Determinados conforme metodologia de Swift (1996)

Tabela 6. Caracterização microbiológica com principais bactérias presentes no biofertilizante usado no experimento e suas principais funções conforme a literatura.

Bactéria	Principais funções	Referências
<i>Clostridium beijerinckii</i>	Biorremediadora do solo, eliminar patógenos de plantas do solo	Ueki et al.(2017); Ueki et al. (2019)
<i>Clostridium butyricum</i>	Bactéria fixadora de nitrogênio não simbiótica	Ross (1958); Chen (2004)
<i>Clostridium sp.</i> <i>Clostridium sporogenes</i>	Degradam matéria seca de folhas, acelerando o processo de decomposição	Koo et al. (2019); Jansson et al. (2018)
<i>Lactobacillus perolens</i>	Auxilia na formação de húmus e na supressão de fungos radiculares patogênicos	Quattrini et al. (2018); Carrión et al. (2019)

<i>Sporolactobacillus nakayamae</i>	Biorremediadora do solo, acelera a degradação da celulose no solo	Javed et al. (2020); Shamshitov et al. (2022)
<i>Pseudomonas formosensis</i>	Solubilização de fosfato	Robledo-Mahón et al. (2020); Blanco-Vargas et al. (2020)

Para o tratamento apenas como fertilizantes naturais foram distribuídas as posteriores quantidades de nutrientes para a safra de 2022 (Janeiro 2022 a Fevereiro de 2023): 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 105 kg ha⁻¹ de K₂O, 200 kg ha⁻¹ de Ca e para safra de 2023 (Março 2023 a Abril de 2024): 92 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 35 kg ha⁻¹ de K₂O, 78 kg ha⁻¹ de Ca. As fontes de fertilizantes escolhidas foram: fosfato natural reativo (23 % P₂O₅), cal hidratada (46% Ca) e pó de rocha como fonte de potássio (10,8% K₂O) além de 15 aplicações do biofertilizante de 100 L/ha cada ao longo dos dois ciclos produtivos da mangueira.

2.4. Análises químicas e microbiológicas

Para determinação dos efeitos dos tratamentos no ciclo, foram avaliados:

I. Os teores das substâncias húmicas, ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e huminas (HU) no solo foram obtidos de acordo com o método descrito por Swift (1996), antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 7) e na fase de pré-florescimento da mangueira, onde o solo foi coletado na prospecção da copa com auxílio de um trado holandês (0-30 cm), nos quatro quadrantes, sendo cada um com amostras simples, as quais foram homogeneizadas para formar uma composta.

II. A caracterização microbiológica do solo foi obtida pela análise dos seguintes atributos: carbono da biomassa microbiana (CBM), avaliado pelo método de irradiação-extração conforme Vance et al., (1987) e Islam & Weil (1998), respiração basal do solo (RB) de acordo com Jenkinson & Powlson (1976) e carbono orgânico total (COT) segundo a metodologia adaptada de Yeomans & Bremner (1988) O solo foi coletado antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 7) e no pré-florescimento. O quociente metabólico (qCO₂) foi determinado pela razão entre a respiração basal do solo e o CBM do solo, e o quociente microbiano (qMIC), pela razão entre o CBM e o COT do solo.

Tabela 7. Caracterização inicial do fracionamento de matéria orgânica do solo e da estimativa do carbono da biomassa microbiana (CBM), da respiração basal (RB) e do carbono orgânico total (COT) da área experimental cultivada com mangueira 'Palmer' no pomar experimental da UNIVASF antes da aplicação dos tratamentos.

Inicial	FAH	FAF	HU	COT	CBM	RB
---------	-----	-----	----	-----	-----	----

-----%-----	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹ dia ⁻¹
0,031 0,088 0,1293	11,4	413,52	53,68

2.5. Análises estatísticas

Inicialmente realizou-se análise de normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade dos dados. Os dados foram submetidos à análise de variância para avaliação dos efeitos significativos pelo teste F ($p < 0,05$). Os tratamentos foram comparados entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software 'R'. Para confecção das figuras foi utilizado o software SIGMAPLOT versão 12.5.

3. RESULTADOS

De acordo com o apresentado na Figura 3 os teores de carbono orgânico total (COT) no solo obtiveram diferenças significativas apenas para safra de 2022 ($p > 0,05$), com superioridade do tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) quando comparado ao tratamento sem adubação e 100% químico (T2), além disso, foi apontado semelhança entre os tratamentos 100% químico e 100% natural + biofertilizante (T3), não foi notado diferença significativa entre as safras.

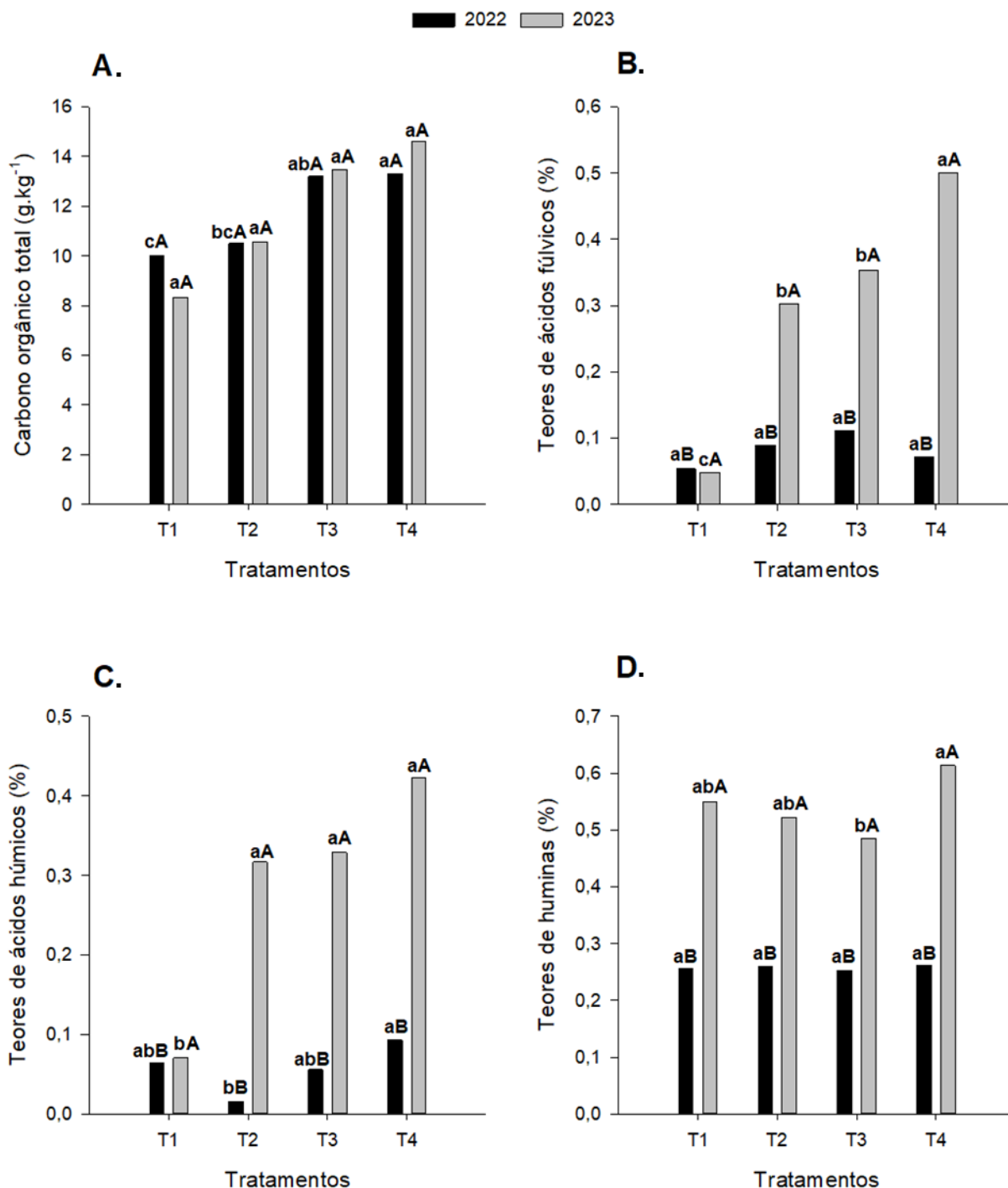


Figura 3. Concentração de carbono orgânico total (A), e teores de ácidos fúlvicos (B), ácidos húmicos (C) e huminas (D) em solos cultivados com mangueira ‘Palmer’ em função de fertilizantes químicos, remineralizadores e bionutrição nas safras de 2022 e 2023.

Barras com letras minúsculas comparam entre tratamentos, barras com letras maiúsculas comparam entre safras. Barras com letras iguais nas barras não diferem estatisticamente entre si para os manejos de adubação pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1) Testemunha; T2) 100% químico; T3) 100% natural + biofertilizante; T4) 50% químico + 50% natural + biofertilizante

Com relação ao COT entre as safras de 2022 e 2023, evidencia-se um acréscimo nos tratamentos 100% natural + biofertilizante (T3) e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) de cerca de 1,05%, 11,66% respectivamente, entretanto a testemunha sem adubação

(T1) não acompanhou a mesma tendência dos demais tratamentos e obteve decréscimo em comparação aos dois ciclos.

Os teores de COT antes da aplicação dos tratamentos (11,4 g kg⁻¹, Tabela 8) apontaram decréscimo para os tratamentos sem adubação e 100% químico (T2) na safra de 2022 e aumento para os tratamentos 100% natural + biofertilizante (T3) e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4), entretanto a safra de 2023 não acompanhou a mesma tendência, pois houve um aumento significativo dos teores de carbono orgânico total no solo apenas para o tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4).

Para a safra de 2022 não houve diferença entre os tratamentos considerando os valores de ácidos fúlvicos – AF (C da fração fúlvica) no solo, entretanto para a safra de 2023 o tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) alcançou o maior valor entre os demais tratamentos, obtendo 65,26% e 41,63% quando comparado aos tratamentos 100% químico (T2) e 100% natural + biofertilizante (T3), respectivamente (Figura 3B).

Ao se comparar os teores de AF fica evidente o acúmulo da fração no solo em função da aplicação dos tratamentos 100% químico (T2), 100% natural + biofertilizante (T3), 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4), pois inicialmente os teores de AF eram de 0,088 % no solo (Tabela 7), porém, na safra de 2022 houve incremento de 2,27 % e 27,27% para os tratamentos 100% químico (T2) e 100% natural + biofertilizante (T3), e decréscimo de -19,31% e -38,64% para os tratamentos 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) e sem adubação (Tabela 3). Entretanto, para a safra de 2023 houve incremento positivo para praticamente todos os tratamentos de forma expressiva, exceto para o tratamento testemunha (T1).

Os ácidos húmicos (AH) do solo foram afetados pelos tratamentos (Figura 3C), com inferioridade do tratamento 100% químico (T2). Por outro lado, em 2023 os tratamentos 100% químico (T2), 100% natural + biofertilizante (T3) e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) foram superiores a testemunha sem adubação (T1). Houve acréscimos expressivos dos teores de ácidos húmicos da safra de 2022 para a safra de 2023 para todos os tratamentos, exceto para a testemunha (T1).

Com base no comparativo entre os dados iniciais do solo antes da aplicação dos tratamentos (Tabela 7), considerando os AH há tendência de aumento para os tratamentos que utilizam o biofertilizante juntamente com os fertilizantes naturais. Tendo em vista que o teor de AH no solo antes da aplicação dos tratamentos era de 0,031%, na fase de pré-florescimento durante a safra de 2023 alcançou cerca de 0,328% e 0,423% para os

respectivos tratamentos 100% natural + biofertilizante (T3) e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4), representando 170% a mais de AH no solo (Figura 3C).

Para o primeiro ciclo (2022) os teores de huminas no solo foram semelhantes (Figura 3D), diferentemente do ocorrido no segundo ciclo (2023) entre si ($p > 0,05$). Em 2023 houve superioridade para o tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) em relação ao tratamento 100% natural + biofertilizante (T3). Comparando-se as safras, observa-se um aumento expressivo em relação aos teores de humina no solo, pois no tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) houve incremento de 80,31% de HU enquanto no tratamento 100% químico (T2) houve incremento de 67% em comparação às safras. Os demais tratamentos também obtiveram incremento, alcançando cerca de 74,1% e 63% para o sem adubação (T1) e 100% natural + biofertilizante (T3).

A respiração basal do solo foi afetada pelos tratamentos em ambas as safras avaliadas porém os ciclos foram iguais estatisticamente (Figura 4A), com superioridade entre os tratamentos 100% natural + biofertilizante (T3) e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) em comparação a testemunha ($p > 0,05$) para a safra de 2022 (Figura 4A). Já para a safra de 2023, o tratamento 100% natural + biofertilizante (T3) obteve o maior valor em comparação aos tratamentos sem adubação e 100% químico (T2).

■ 2022 ■ 2023

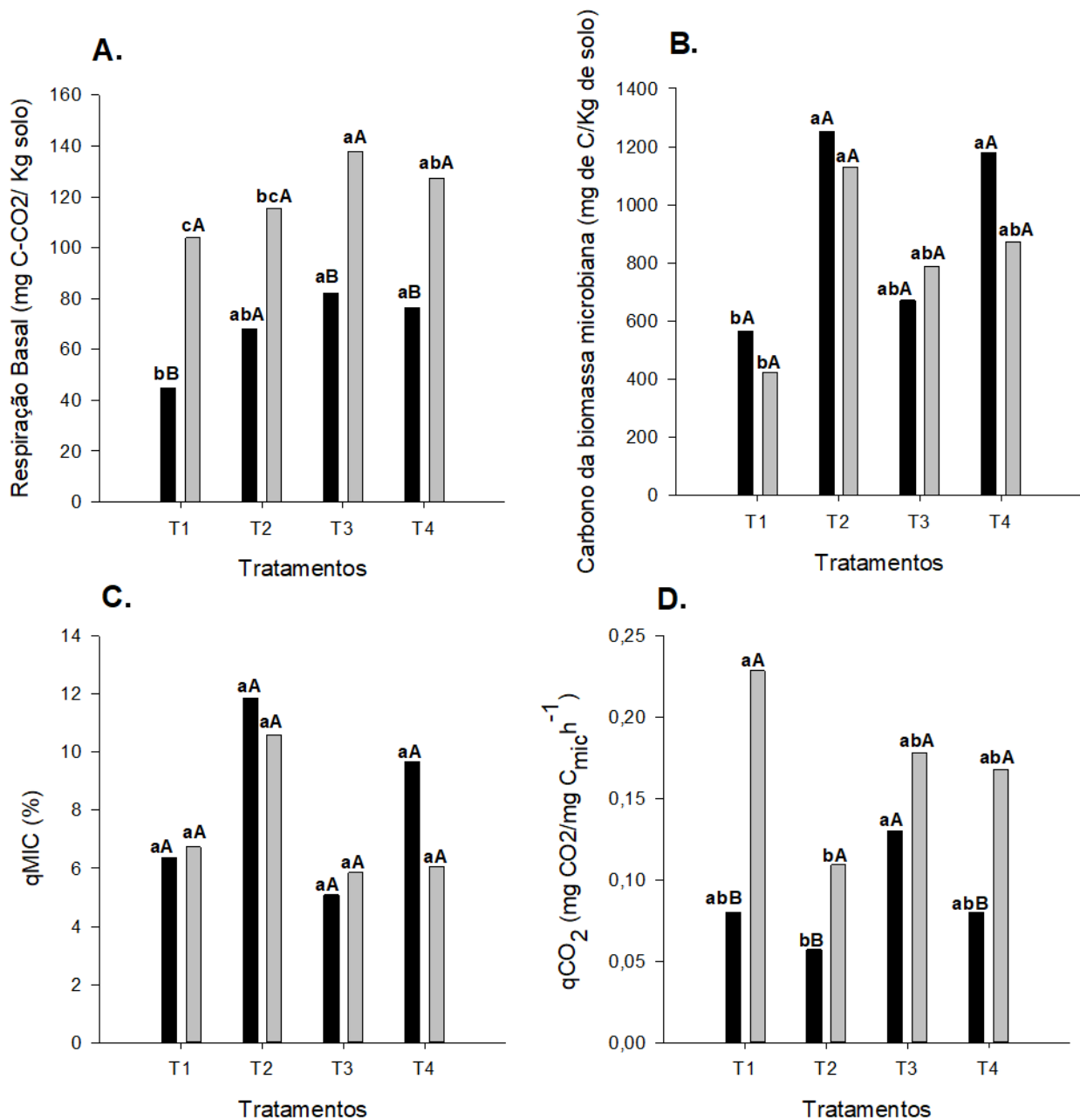


Figura 4. Respiração basal (A), carbono da biomassa microbiana (B), quociente microbiano (C), quociente metabólico (D), em solo cultivado com mangueira ‘Palmer’ em função de fertilizantes químicos, remineralizadores e bionutrição nas safras de 2022 e 2023.

Barras com letras minúsculas comparam entre tratamentos, barras com letras maiúsculas comparam entre safras. Barras com letras iguais nas barras não diferem estatisticamente entre si para os manejos de adubação pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. T1) Testemunha; T2) 100% químico; T3) 100% natural + biofertilizante; T4) 50% químico + 50% natural + biofertilizante

De acordo com a Figura 4A, é possível observar que houve um aumento expressivo da respiração basal de um ciclo para o outro, onde a não ser para a testemunha sem adubação, os tratamentos obtiveram algum acréscimo, destacando-se o tratamento 100% natural + biofertilizante (T3), o qual alcançou cerca de 50% a mais em comparativo à safra

anterior. Adicionalmente, em comparação ao início do ciclo (Tabela 7), antes da aplicação dos tratamentos também houve aumento na respiração basal. Destaca-se o tratamento 100% natural + biofertilizante (T3) que alcançou cerca de 88,42% a mais que o da caracterização inicial do presente trabalho.

Segundo apresentado na Figura 4B, os teores de carbono da biomassa microbiana (CBM) nas safras de 2022 e 2023 obtiveram diferença estatística ($p > 0,05$) entre os tratamentos e os ciclos foram iguais entre si. O tratamento 100% químico e 50% químico + 50% natural + biofertilizante se mostrou superior a testemunha, alcançando cerca de 75% e 70%, respectivamente, a mais do que tratamento sem adubação para a primeira safra. Para a safra de 2023, o comportamento foi semelhante a safra anterior, em que o tratamento 100% químico foi superior a testemunha, pois atingiu cerca de 90% a mais que o tratamento sem adubo. Os tratamentos 100% natural + biofertilizante e 50% químico + 50% natural + biofertilizante foram semelhantes entre si.

Ao se realizar um comparativo entre a caracterização inicial do solo e a safra de 2022, o conteúdo de CBM alcançou acréscimo expressivo para os tratamentos 100% natural + biofertilizante (T2) e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) de cerca de 100% e 96%, respectivamente.

De acordo com o apresentado na Figura 3C não houve diferença entre os tratamentos para o quociente microbiano (qMIC) nas duas safras avaliadas, entretanto, o quociente metabólico (qCO₂) diferiu ($p > 0,05$) entre os tratamentos nas duas safras (Figura 4D), com destaque para o tratamento 100% natural + biofertilizante (T3) que foi superior ao tratamento 100% químico (T2) em aproximadamente 78%, e os tratamentos sem adubação, e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) foram semelhantes entre si para a safra de 2022.

Na safra de 2023 houve um acréscimo significativo de qCO₂ no tratamento sem adubação (T1) em comparação com a safra de 2022, alcançando o maior valor e diferenças de 75% em comparação ao tratamento com adubação 100% química (T2), enquanto os tratamentos 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) foram semelhantes estatisticamente.

4. DISCUSSÃO

O uso de biofertilizantes tem o potencial de incrementar o carbono orgânico total especialmente nas camadas superficiais do solo (LOURENZI et al., 2011). Contudo, a taxa desse aumento está principalmente relacionada à composição, frequência e quantidade do material aplicado (XU et al., 2019; XU et al., 2020), e por isso resultados incongruentes

podem ser encontrados na literatura como os encontrados por Alencar et al. (2015), que não obtiveram diferença nos teores de COT ao aplicar biofertilizante a base de esterco bovino, alcançando valores entre 6 a 11 g kg⁻¹ de carbono orgânico no solo. Segundo os autores isso ocorreu devido à baixa concentração de C na composição do biofertilizante utilizado, desta forma, é possível realizar um comparativo com o biofertilizante aplicado, visto que o empregado no presente experimento possui um bom aporte do mesmo (Tabela 5), e pode ter influenciado para estocar CO no solo.

Os valores de COT variam na literatura, Lima et al. (2021), ao avaliar os teores de carbono orgânico total (COT) e das frações granulométricas da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho cultivado com hortaliças, sob diferentes sistemas de manejo e de cultivo de plantas de cobertura, alcançou valores entre 17 e 18 g kg⁻¹ de COT no solo na camada de 0-30 cm. Entretanto, Lopes et al. (2016) obteve uma variação de 11 a 40 g kg⁻¹ de COT ao avaliar os teores de carbono orgânico total em lavouras de café, em sistemas agroflorestais e a pleno sol, onde os maiores resultados tinham aplicação de biofertilizante “Supermagro”.

Além da própria composição do biofertilizante possuir carbono, existe a ação microbiológica envolvida nos resultados do COT. Segundo Pinto et al. (2019), a celulose representa cerca de 60% de todos os componentes nos resíduos agrícolas, assim, no decorrer do processo de decomposição e formação da matéria orgânica, a celulose surge como um dos principais compostos impulsionadores de diversos processos hidrolíticos mediados pela ação de enzimas específicas produzidas por distintas espécies de bactérias celulolíticas (FINDLAY et al., 2021). Logo, é possível que com o biofertilizante ao entrar em contato com a serapilheira formada pelas folhas e restos de poda da manga, ocorreu a decomposição bacteriana, que provavelmente também contribuiu para aumentar o teor de COT no solo. Além disso, a utilização do esterco bovino como fonte de matéria orgânica após a poda de produção, contribuiu para aumentar o aporte de COT no solo, e é possível notar que os maiores teores estão alocados onde está utilização do biofertilizante, por conta da sua própria ação de acelerar o processo de degradação da matéria orgânica.

O aporte significativo de ácidos fúlvicos no solo para o tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) para a segunda safra (2023) indica que o biofertilizante utilizado manteve as frações de AF no solo de maneira crescente ao longo do tempo, favorecendo o desenvolvimento microbiano, uma vez bactérias, fungos e arqueas passam a utilizar com maior facilidade partes do C proveniente da fração fúlvica, devido a sua maior mobilidade no solo e de seu conteúdo menos recalcitrante e, conseqüentemente, mais decomponível por essa biota (LIRA JUNIOR et al., 2020). Esse comportamento fica mais evidente quando

se observa a testemunha (T1 - sem adubação), que praticamente não proporcionou acréscimo de ácidos fúlvicos ao longo dos dois ciclos no solo. Vale salientar que os ácidos fúlvicos representam um conjunto de compostos orgânicos integrantes da fração lábil da matéria orgânica do solo (UKALSKA-JARUGA et al., 2019).

A formação de ácidos fúlvicos e húmicos ocorre como resultado do processo de decomposição de materiais orgânicos e a ação de microrganismos mediada por bactérias e fungos (QIAO et al., 2019), desta forma, é possível que a matéria orgânica presente no solo esteja deslocando mais carbono lábil à atividade microbiana por conta da ação do biofertilizante (WU et al., 2021), favorecendo os microrganismos a aumentarem a metabolização desse carbono mais rapidamente (XIE et al., 2021).

Destaca-se que foi utilizado no tratamento 100% natural + biofertilizante (T3) uma fonte mineral de ácidos fúlvicos (K-Fulvate dry[®]), corroborando o observado para o tratamento 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4). Particularmente, há um maior armazenamento de AF no solo por meio do biofertilizante empregado, como também com papel da biomassa microbiana no aumento da velocidade de decomposição da matéria orgânica capaz de deslocar maior parte desse ácido (AF) no solo (QIAO et al., 2019).

É possível afirmar ainda que os fertilizantes naturais também apresentaram papel crucial na contribuição da fração da matéria orgânica, pois, ao melhorar a composição mineral do solo, os remineralizadores contribuem para um ambiente mais fértil em termos de nutrientes fornecidos, além de ser mais sustentável, permitindo uma maior saúde da matéria orgânica do solo, maior ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, maior desenvolvimento da biota na ecossfera (SOUZA et al., 2021; NAIK et al., 2019).

A presença dos ácidos fúlvicos no solo tem benefícios amplamente citados na literatura, pois aprimoram a estrutura do solo, a fertilidade e as características de crescimento das plantas, além contribui para aumentar a tolerância à seca, facilitar o desenvolvimento das raízes e a absorção de nutrientes, resultando no aumento da produção e na melhoria da qualidade dos vegetais (SOOTAHAR et al., 2020; XUEBING et al., 2019; ZHANG et al., 2021). Particularmente, os ácidos fúlvicos contribuem diretamente com o desenvolvimento da mangueira, pois, de acordo com os resultados reportados por Ibell et al. (2017), o ácido fúlvico combinado com sulfato de potássio, melhora a qualidade dos frutos da manga cv. 'Kensington Pride' e mantém as concentrações foliares de potássio. Segundo Silva et al. (2021) e Silva et al. (2022) os ácidos fúlvicos aumentam a eficácia do paclobutrazol na produção de manga 'Keitt', levando a uma maior produtividade e floração uniforme em condições tropicais semiáridas, e melhoram a eficiência das trocas gasosas, favorecendo a floração e a frutificação nas mangueiras 'Keitt'.

Os resultados obtidos para a fração ácidos húmicos demonstraram comportamento semelhante ao encontrado para os ácidos fúlvicos, entretanto, no primeiro ciclo, o tratamento que possui adubação 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) foi superior ao 100% químico (T2), demonstrando que a utilização do biofertilizante com os remineralizadores de solo possuem capacidade de aumentar os teores de AH no solo.

Resultados controversos com o presente trabalho foram encontrados por Cunha et al. (2007) que obtiveram maiores valores de ácidos húmicos em solos antropogênicos sob cultivo agrícola ($14,6 \text{ g kg}^{-1}$), e estes justificaram o resultado como sendo consequência de um processo intensivo de humificação e rápida mineralização, que envolve a decomposição acelerada de abundantes quantidades de material orgânico enriquecido com nitrogênio (N), fósforo (P) e cálcio (Ca), que foram incorporadas ao solo.

De acordo com Prommer et al. (2019) as condições climáticas, caracterizadas por altas temperaturas e precipitação, juntamente com uma adequada drenagem e a natureza eutrófica dos solos de cultivo, são propícias para favorecer o acúmulo de matéria orgânica mais estável à decomposição, e, esse cenário corrobora as atuais condições edafoclimáticas do presente estudo que obtiveram altas temperaturas e precipitações concentradas nos meses de janeiro e novembro (Figura 2), que podem ter contribuído para favorecer o acúmulo de AH no solo.

O aumento expressivo dos teores de ácidos húmicos no solo de uma safra a outra (Figura 3C) pode ser atribuído à interação positiva entre os microrganismos presentes nos biofertilizantes (Tabela 6) e a matéria orgânica no solo (Tabela 1), caracterizando aumento na decomposição da matéria orgânica, fenômeno no qual os microrganismos transformam resíduos orgânicos em substâncias mais estáveis e complexas (GUNINA & KUZVAKOV 2022), incluindo os ácidos húmicos, deixando essa importante fonte de C estocada no solo (MARON et al., 2018). Nesse sentido, é importante destacar a presença no biofertilizante (Tabela 6) das bactérias *Clostridium sp.*, *Clostridium sporogenes*, *Lactobacillus perolens*, *Sporolactobacillus nakayamae* que conforme Koo et al. (2019) e Jansson et al. (2018) atuam na decomposição da matéria orgânica. Paralelamente, deve-se ressaltar que sempre no início de cada ciclo produtivo as plantas são submetidas à poda de produção, gerando bastante material vegetativo, os quais foram colocados na região abaixo da copa das plantas, o que pode ter também sido decomposto e auxiliado nos resultados do trabalho.

Os teores de huminas seguiram o mesmo comportamento das outras frações da matéria orgânica (AH e AF), aumentando ao longo da aplicação dos tratamentos (Figura 3D). O uso de remineralizadores em conjunto com o biofertilizante colaboram para elevar e sustentar as contribuições de carbono no solo, evidenciando uma maior estabilização desse

elemento devido ao aumento na fração humina (AMOAKWAH et al., 2020). A humina, embora tenha uma baixa reatividade, desempenha um papel crucial na agregação das partículas e, em grande parte dos solos tropicais, constitui uma parcela significativa do carbono humificado do solo (PICCOLO et al., 2019).

Os valores de huminas obtidos no presente estudo, estão abaixo dos encontrados por Barreto et al. (2008), 20,5%, em solos com cultivos de cacau de 4 anos de idade, com cobertura da Mata Atlântica sujeita ao processo de raleamento em um sistema agroflorestal com bate-folha (que envolve o acúmulo de folhagem e materiais provenientes da poda, formando uma espessa camada orgânica). Entretanto, em comparação com os resultados encontrados por Mottin et al. (2022), que avaliou a influência da cultura do milho de segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo, os do presente estudo se mostraram superiores. Esses resultados indicam que o acúmulo de huminas no solo está relacionado a diversos fatores, dentre eles o tempo de cultivo e as condições que a MO presente no solo se encontra (GAUTAM et al., 2021), corroborando com os resultados de Melo et al. (2016) que, avaliando as frações húmicas no solo manejado pelos sistemas plantio direto e convencional, para o cultivo de repolho, alcançaram os melhores resultados para o plantio direto, entretanto ainda ficando abaixo dos encontrados no presente trabalho.

Maiores valores de humina podem resultar em uma maior manifestação das características da fração coloidal da matéria orgânica, incluindo a retenção de umidade, a melhoria na agregação do solo e a maior capacidade de retenção de cátions (YAN et al., 2022), características de grande importância ao considerar o cultivo de sistemas sustentáveis de produção.

Os tratamentos que demonstraram superioridade na taxa de respiração basal no solo foram os que continham remineralizadores de solo e biofertilizante em sua composição (Figura 3A), o que caracteriza maior atividade da microbiota em solos cultivados no semiárido tropical (SOUZA et al., 2021; NOSHEEN et al., 2021), pois este é um parâmetro que capaz de indicar a atividade microbiana no solo em emitir C-CO₂, durante o processo metabólico de respiração dos microrganismos do solo (BOLAT, 2019). Este processo ocorre como parte do ciclo biogeoquímico do carbono no solo, em função da decomposição da matéria orgânica no solo (CROWTER, 2019) a qual foi maior no tratamento 100% natural + biofertilizante (T3).

O teor de respiração basal é frequentemente utilizada como um indicador da saúde do solo e da sua capacidade de decompor a matéria orgânica (GULIYEV et al., 2020), porém, podem ocorrer variações pois esta sofre influência por fatores como temperatura,

umidade, disponibilidade de nutrientes e tipo de vegetação presente no solo (PENNINGTON et al., 2020; GROMOVA et al., 2020).

Ao comparar os resultados obtidos no presente estudo com aqueles contidos na literatura, é possível identificar a disparidade, a exemplo dos resultados obtidos por Pereira et al. (2020), ao avaliar as alterações microbiológicas em um solo submetido a diferentes doses do biofertilizante tipo 'Vairo', alcançando valores máximos de respiração basal de 27,59 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo, muito inferior aos 82 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo e 137 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo, respectivo as safras de 2022 e 2023, encontradas no presente trabalho com o tratamento 100% natural + biofertilizante (T3). Nesse cenário os resultados demonstram uma maior incorporação de matéria orgânica, especialmente aquela com elevadas quantidades de carbono prontamente disponível, como acontece nas frações de AF (JENSEN et al., 2019).

De acordo com Moura et al. (2015) elevadas taxas de respiração basal podem sugerir, a curto prazo, uma liberação mais significativa de nutrientes para as plantas e, a longo prazo, a perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera. Contudo, é preferível que a intensidade desse processo esteja alinhada com as necessidades fisiológicas das plantas, visando à redução das perdas de C no solo (EBRAHIMI et al., 2019; CAPEK et al., 2019).

Os efeitos positivos dos tratamentos 100% químico (T2) e daqueles contendo remineralizadores e o biofertilizante (T3 e T4) também foram registrados sobre o carbono da biomassa microbiana (Figura 3B), o que pode estar atrelados a disponibilidade de substrato presente no mesmo. De acordo com Soares & Rousk (2019), a quantidade e qualidade dos substratos orgânicos disponíveis para os microrganismos afetam diretamente a biomassa microbiana, ou seja, uma maior disponibilidade de matéria orgânica pode levar a um aumento na biomassa microbiana.

Destaca-se que a biomassa microbiana refere-se à quantidade de material biológico composto por microrganismos, como bactérias, fungos, protozoários e algumas algas presentes em um determinado ambiente, esses microrganismos desempenham um papel vital na decomposição de matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes no solo (XU et al., 2021; YADAV et al., 2021; KÄSTNER et al., 2021). Assim, o carbono da biomassa microbiana (CBM) é a fração de carbono que constitui a parte viva dos microrganismos presentes nesse ecossistema, e este carbono é derivado da assimilação de compostos orgânicos pelos microrganismos durante seus processos metabólicos, pois, ao consumirem matéria orgânica, eles imobilizam o carbono dessa matéria em seus próprios tecidos celulares (WANG et al., 2021; MASON-JONES et al., 2022),

Conforme a biomassa microbiana se desenvolve e se torna eficiente na degradação de compostos orgânicos do solo, há um aumento nas perdas de carbono na forma de CO₂ devido à respiração mais intensificada (ALBRIGHT et al., 2019), e uma parcela considerável desse carbono é assimilada pela própria biomassa microbiana, entretanto, de acordo com Subedi et al. (2021) a biomassa microbiana com uma taxa de respiração elevada pode ser tida como uma característica importante, especialmente quando se tem em vista que a decomposição de matéria orgânica contribui para a disponibilização de nutrientes às plantas. Portanto, uma biomassa microbiana aliada a uma taxa de respiração elevada indica um nível mais elevado de produtividade no ecossistema (NING et al., 2021).

Ao se avaliar simultaneamente as variáveis respiração basal e carbono da biomassa microbiana encontrados no presente trabalho, é possível observar que os microrganismos presentes no solo ao converterem a matéria orgânica, e o nutrientes adicionados ao solo pelos tratamentos com adubação química e 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4), liberam mais CO₂ durante o processo (Figura 3B).

Levando em consideração o aporte de nutrientes no solo, sua presença e a disponibilidade, como nitrogênio, fósforo e potássio, afetam diretamente o crescimento microbiano (MEHNAZ et al., 2019; MEENA & BUSI, 2019). Logo, é possível que a razão pelo qual o tratamento com 50% químico + 50% natural + biofertilizante (T4) tenha se igualado com o 100% químico (T2) é que de certa forma ambos têm eficiência em disponibilizar nutrientes para a comunidade microbiana.

No que se refere ao quociente microbiano (qMIC), este indica a quantidade de carbono orgânico do solo que se encontra imobilizado na biomassa microbiana (KRAVCHENKO et al., 2021), dessa forma, valores mais altos de quociente microbiano podem sugerir um acúmulo de carbono no solo, ao passo que valores mais baixos indicariam uma potencial perda de carbono ao longo do tempo, em função da atividade microbiana ser mais ou menos eficiente em degradar os compostos menos recalcitrantes da matéria orgânica do solo (AMORIM et al., 2020; HE & XU, 2021).

De acordo com os resultados apresentados (Figura 3D) nenhum dos tratamentos interferiu no quociente microbiano em 2022, entretanto, de acordo com Souza Gallo et al. (2019), valores de quociente microbiano inferiores a 1% indicam que existe algum fator limitante à atividade microbiológica no solo. Os resultados apresentados no presente estudo situaram-se entre 11,85% (T2) e 5,08% (T3) em 2022 e entre 10,59% (T2) e 5,85% (T3) em 2023, ou seja, tudo indica que ocorreu uma maior assimilação do carbono orgânico do solo pela biomassa microbiana, e assim, os microrganismos imobilizaram quantidades mais

elevadas de carbono disponível no solo e futuramente em suas células (MALIK et al., 2019). Assim, após a morte, ocorre maior liberação desses compostos no solo.

Conforme os resultados do quociente metabólico o tratamento 100% + biofertilizante (T2) obteve os maiores valores para a safra de 2022, no entanto na safra seguinte (2023) a testemunha sem adubação (T1) que alcançou os melhores valores. Altos teores de qCO_2 podem indicar perturbações oxidativas na biomassa microbiana, isso está relacionado a um aumento na produção de CO_2 em relação ao carbono microbiano ativo que pode ser resultado de processos metabólicos associados ao estresse oxidativo (IMLAY, 2018), esses danos causados pelo estresse oxidativo podem afetar negativamente a viabilidade e a atividade da biomassa microbiana, comprometendo sua função no ciclo de nutrientes e na manutenção da qualidade do solo (GECHEV & PETROV, 2020). Por outro lado, os valores de qCO_2 contidos na Figura 3D ficaram abaixo dos valores comumente encontrados na literatura para cultivos perenes ($0,3 - 40 \text{ mg } CO_2/\text{mg } C_{mic} \text{ h}^{-1}$) a não ser para o tratamento sem adubação na segunda safra ($0,4 \text{ mg } CO_2/\text{mg } C_{mic} \text{ h}^{-1}$) (GUIMARÃES et al., 2017).

De acordo com Vasilchenko et al. (2023), um qCO_2 baixo sugere que uma pequena quantidade desse gás está sendo produzida em relação à biomassa microbiana, o que indica uma eficiência metabólica maior, por outro lado, um qCO_2 elevado indica uma maior produção de CO_2 em relação à biomassa, sugerindo uma menor eficiência metabólica dos microrganismos presentes no solo. O quociente metabólico pode ser útil para entender a eficiência com que os microrganismos estão processando a matéria orgânica, visto que, existe uma relação entre a atividade respiratória dos microrganismos no solo e a quantidade de microrganismos presentes (WANG et al., 2020).

Diante desse cenário, os resultados da safra de 2023 indicam que a comunidade microbiana para o tratamento sem adubação foi afetada, produzindo menos biomassa e liberando mais CO_2 , apontando que a adubação com fertilizantes químicos é importante para essa variável, visto que nas duas safras obteve os menores valores de qCO_2 , e melhorando sua eficiência. Logo, a eficácia da degradação de compostos orgânicos é potencializada pela biomassa microbiana quando se utiliza o fertilizante sintético.

6. CONCLUSÕES

A aplicação combinada de biofertilizante e remineralizadores favorece as concentrações de substâncias húmicas e carbono orgânico total presentes no solo.

A combinação de biofertilizante, remineralizadores de solo e fertilizantes químicos aprimoram as emissões de C- CO_2 pela respiração basal do solo, resultando no aumento do teor de carbono incorporado à biomassa microbiana.

O uso exclusivo de fertilizantes químicos na adubação de mangueira Palmer reduz a eficiência metabólica dos microrganismos no solo, indicando que a biomassa microbiana teve uma maior assimilação do carbono orgânico do solo quando foi utilizado fertilizante natural com biofertilizante.

REFERÊNCIAS

- ALBRIGHT, M.; RUNDE, A.; LOPEZ, D.; GANS, J.; SEVANTO, S.; WOOLF, D.; DUNBAR, J. Effects of initial microbial biomass abundance on respiration during pine litter decomposition. **PLoS ONE**, v. 15, n. 2, p. e0224641, 2020.
- ALENCAR, T. L. D.; CHAVES, A. F.; SANTOS, C. L. A. D.; ASSIS JÚNIOR, R. N. D.; MOTA, J. C. A. Atributos físicos de um Cambissolo cultivado e tratado com biofertilizante na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 737-749, 2015.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMOAKWAH, E.; ARTHUR, E.; FRIMPONG, K.; PARIKH, S.; ISLAM, R. Soil organic carbon storage and quality are impacted by corn cob biochar application on a tropical sandy loam. **Journal of Soils and Sediments**, v. 20, p. 1960-1969, 2020.
- AMORIM, S.; BOECHAT, C.; DUARTE, L.; OLIVEIRA, D.; MEDEIROS, J.; ARAUCO, A. Microbial responses to doses of cover plant straw in cerrado piauiense oxisol. **Bioscience Journal**, v. 36, 2020.
- BARBOSA, L. F. S.; CAVALCANTE, Í. H. L.; LIMA, A. M. N. Desordem fisiológica e produtividade de mangueira cv. Palmer associada à nutrição de boro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, p. 1-9, 2016.
- BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. D. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. D. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1471-1478, 2008.
- BOLAT, E. Biomassa microbiana, respiração basal e índices microbianos do solo em diversas terras agrícolas em uma região do noroeste da Turquia (Bartın). **Monitoramento e Avaliação Ambiental**, v. 191 n. 11, p. 695, 2019.
- CANELLAS, L. P.; OLIVARES F. L.; AGUIAR N. O.; JONES D. L.; NEBBIOSO A.; MAZZEI P.; PICCOLO A. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. **Scientia Horticulturae**, v. 196, p 15-27, 2015.
- CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. D. A.; RUMJANEK, V. M.; MORAES, A. A.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 36, p. 1529-1538, 2001.

ČAPEK, P.; STARKE, R.; HOFMOCKEL, K.; BOND-LAMBERTY, B.; HESS, N. Apparent temperature sensitivity of soil respiration can result from temperature driven changes in microbial biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 135, p. 286-293, 2019.

CARREIRO, D. D. A.; AMARIZ, R. A. E.; SANCHES, L. G.; LOBO, J. T.; PAIVA NETO, V. B. D.; CAVALCANTE, Í. H. L. Gas exchanges and photosynthetic pigments of 'Tommy Atkins' mango as a function of fenpropimorph. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 239-247, 2022.

CARVALHO, C.; KIST, B. B.; BELING, R. R. Anuário Brasileiro de horti&fruti 2020. Santa Cruz do Sul: **Gazeta Santa Cruz**, 2019. 96 p.

CAVALCANTE, I. H. L.; LIMA, A. M. N.; CARNEIRO, M. A.; RODRIGUEZ, M. S.; SILVA, R. L. Potassium doses on fruit production and nutrition of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Palmer. **Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia**, v. 34, n. 4, p. 385-399, 2016.

CAVALCANTE, Í. H. L.; SANTOS, G. N. F.; SILVA, M. A.; MARTINS, R. S.; LIMA, A. M. N.; MODESTO, P. I. R.; ALCOBIA, A. M.; SILVA, T. R. S.; AMARIZ, R. A.; BECKMANNCAVALCANTE, M. Z. A new approach to induce mango shoot maturation in Brazilian semi-arid environment. **Journal of Applied Botany and Food Quality**, v. 91, p. 281-286, 2018.

CHAKRABORTY, S.; SAHA, N. Avaliação do carbono da biomassa microbiana e do nitrogênio da biomassa microbiana de solo incubado orgânico e tratado convencionalmente em Bengala Ocidental, Índia. **Jornal Internacional de Microbiologia Atual e Ciências Aplicadas**, v. 9, p. 1197-1200, 2020.

CROWTHER, T.; HOOGEN, J.; WAN, J.; MAYES, M.; KEISER, A.; MO, L.; AVERILL, C.; MAYNARD, D. The global soil community and its influence on biogeochemistry. **Science**, v. 365, n. 6455, p. eaav0550, 2019.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; BENITES, V. D. M.; CANELLAS, L. P.; NOVOTNY, E. H.; MOUTTA, R. D. O.; SANTOS, G. D. A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazonica**, v. 37, p. 91-98, 2007.

DALVI, M. B.; PATIL, P. D. PAWAR, H. D.; RAUT, R. A.; BHURE, S. S.; DESAI, V. S. Eficácia de diferentes bio-orgânicos para o manejo de importantes doenças da manga (*Mangifera indica* L.). **Crop Research**, v. 56, n. 6, pág. 308-312, 2021.

DE BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L.; DE NOVAIS, R. F. Fertilidade de solo. 2007.

DE SOUZA GALLO, A.; DOS SANTOS ARAUJO, T.; DOS SANTOS ARAUJO, F.; DOS SANTOS, L. C.; DE FRANÇA GUIMARÃES, N.; DA SILVA, R. F. Biomassa e atividade

microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42 n. 2, p. 347-357, 2019.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.B.; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.M. 2011. Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, Brazil. 230 p.

EBRAHIMI, M.; SARIKHANI, M.; SINEGANI, A.; AHMADI, A.; KEESSTRA, S. Estimating the soil respiration under different land uses using artificial neural network and linear regression models. **Catena**. 2019.

EL-HAMEID, A.; ELSHAZLY, M. Response of mango trees to organic and biofertilizers in North Sinai. **Egyptian Journal of Desert Research**, v. 69, n. 1, p. 39-66, 2019.

FELDMANN, F.; IDCZAK, E. 1994. Inoculum production of vesicular- arbuscular mycorrhizal fungi for use in tropical nurseries. In: Norris, J.R., Read, D.J., Varma, A.K. (eds.) Techniques for mycorrhizal research. **Academic Press**, San Diego, pp. 799- 817.

FINDLAY, S. Organic Matter Decomposition. **Fundamentals of Ecosystem Science**. 2021.

GAUTAM, R.; NAVARATNA, D.; MUTHUKUMARAN, S.; SINGH, A.; I.; MORE, N. Humic Substances: Its Toxicology, Chemistry and Biology Associated with Soil, Plants and Environment. **Humic Substance [Working Title]**, 2021.

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

GROMOVA, M.; MATVIENKO, A.; MAKAROV, M.; CHENG, C.; MENYAILO, O. Temperature Sensitivity (Q10) of Soil Basal Respiration as a Function of Available Carbon Substrate, Temperature, and Moisture. **Eurasian Soil Science**, v. 53, p. 377–382, 2020.

GUIMARÃES, N. D. F.; GALLO, A. D. S.; FONTANETTI, A.; MENEGHIN, S. P.; DE SOUZA, M. D.; MORINIGO, K. P.; DA SILVA, R. F. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40 n. 1, p. 34-44, 2017.

GULIYEV, V.; PFEIFFER, M.; UDOVENKO, M.; FASCHING, C.; REITZ, T.; BLAGODATSKAYA, E. Land use effect on microbial growth and respiration under future climate. **EGU General Assembly Conference Abstracts**, p. 8363, 2020.

GUZMÁN, G.; ROSALES, D.; GARCÍA, S.; BECERRIL, J.; SÁNCHEZ, J. CO₂ microbiano edáfico en un bosque de *Abies religiosa* (Kunth) Schldl. & Cham. **en la Ciudad de México**. v. 11, 2020.

HE, L.; XU, X. Mapping soil microbial residence time at the global scale. **Global Change Biology**, v. 27, p. 6484 – 6497, 2021.

BALLY, I. S. E.; WRIGHT, C. L.; MADDOX, C.; IBELL, P. Do soil applications of fulvic acid applied with potassium sulphate influence mango fruit quality?. In: XI International Mango Symposium, 1183., 2015, Darwin. **Anais** [...]. Darwin: Acta, 2015. p. 195-198.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018. Produção Agrícola Municipal, 2021. Disponível em: Acesso em: 12 Fev. 2022.

INSAM, H. A biomassa microbiana do solo e a respiração basal são governadas pelo regime climático?. **Biologia e Bioquímica do Solo**, v. 22, n. 4, p. 525-532, 1990.

JENSEN, J.; SCHJØNNING, P.; WATTS, C.; CHRISTENSEN, B.; PELTRE, C., MUNKHOLM, L. Relating soil C and organic matter fractions to soil structural stability. **Geoderma**. 2019.

KÄSTNER, M.; MILTNER, A.; THIELE-BRUHN, S.; LIANG, C. Microbial Necromass in Soils—Linking Microbes to Soil Processes and Carbon Turnover, v. 9, 2021.

KRAVCHENKO, Y.; XINGYI, Z.; CHUN-YU, S.; VIYACHESLAVIVNA, Y.; & VASILIVNA, V. Seasonal Dynamics of Organic Carbon and Nitrogen in Biomasses of Microorganisms Affected by Different Tillage Systems, 2021.

KRÜGER, M.; TESTE, F. P.; LALIBERTÉ, E.; LAMBERS, H. COGHLAN, M.; ZEMUNIK, G.; BUNCE, M. The rise and fall of arbuscular mycorrhizal fungal diversity during ecosystem retrogression. **Molecular ecology**, v. 24, n. 19, p. 4912-4930, 2015.

KUMAR SOOTAHAR, M.; ZENG, X.; SU, S.; WANG, Y.; BAI, L.; ZHANG, Y.; LI, T. ZHANG, X. The effect of fulvic acids derived from different materials on changing properties of albic black soil in the Northeast Plain of China. **Molecules**. v. 24, n. 8, p. 1535, 2019.

KUMARI, R.; KUNDU, M.; DAS, A.; RAKSHIT, R.; SAHAY, S.; SENGUPTA, S.; AHMAD, M. F. O manejo integrado de nutrientes a longo prazo melhora o estoque de carbono e a produção de frutos em um pomar subtropical de manga (*Mangifera indica* L.). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 2, pág. 725-737, 2020.

LI, J.; SHANGGUAN, Z. E DENG, L. Dinâmica da atividade metabólica microbiana do solo durante a sucessão de pastagens após abandono de terras agrícolas. **Geoderma**, v. 363, p. 114-167, 2020.

LIMA, C. E. P.; FONTENELLE, M. R.; MADEIRA, N. R.; SILVA, J. D.; GUEDES, Í. M. R.; SILVA, L. R. B.; SOARES, D. C. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 378-387, 2016.

LOBO, J. T.; CAVALCANTE, Í. H. L.; LIMA, A. M. N.; VIEIRA, Y. A. C.; MODESTO, P. I. R.; DA CUNHA, J. G. Biostimulants on Nutritional Status and Fruit Production of Mango 'Kent' in the Brazilian Semiarid Region. **HortScience**, v. 54, n. 9, p. 1501-1508, 2019.

LOPES, P. R. C.; HAJI, F. N. P.; MOREIRA, A. N.; MATTOS, M. A. A. Normas técnicas e documentos de acompanhamento da Produção Integrada de Manga. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2003. 72p.

LOPES, V. S.; CARDOSO, I. M.; DE CARVALHO GOMES, L.; DE MELO MOURA, W.; FERNANDES, R. B. A.; DE SÁ MENDONÇA, E. Carbono orgânico total em solos de lavouras de café em sistemas agroflorestais e a pleno sol. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10 n. 3, 2016.

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

MALIK, A.; MARTINY, J.; BRODIE, E.; MARTINY, A.; TRESEDER, K.; ALLISON, S. Definição de estratégias microbianas baseadas em características com consequências para a ciclagem do carbono no solo sob as alterações climáticas. **O Jornal ISME**, v. 14, p. 1–9, 2019.

MASON-JONES, K.; BREIDENBACH, A.; DYCKMANS, J.; BANFIELD, C.; DIPPOLD, M. Intracellular carbon storage by microorganisms is an overlooked pathway of biomass growth. **BioRxiv**, 2022.

MEENA, H.; BUSI, S. Use of microbial biofertilizers technology in agro-environmental sustainability. **New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering**, Elsevier, p.199-211, 2019.

MELO, G. B.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; GUARESCHI, R. F.; SOARES, P. F. C. Estoques e frações da matéria orgânica do solo sob os sistemas plantio direto e convencional de repolho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1511-1519, 2016.

MOTTIN, M. C.; SEIDEL, E. P.; RIBEIRO, L. L. O.; FEY, E.; ROSSET, J. S. Frações químicas do carbono orgânico do solo em função do cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo. **CIS - Conjecturas Inter Studies**, v. 22 n. 16, p. 326–339, 2022.

MOURA, J. A.; GONZAGA, M. I. S.; DOS ANJOS, J. L.; RODRIGUES, A. C. P.; DA SILVA LEÃO, T. D.; SANTOS, L. C. O. Respiração basal e relação de estratificação em solo cultivado com citros e tratado com resíduos orgânicos no estado de Sergipe. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36 n. 2, p. 731-746, 2015.

NAIK, K.; MISHRA, S.; SRICHANDAN, H.; SINGH, P.; SARANGI, P. Plant growth promoting microbes: Potential link to sustainable agriculture and environment. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 21, p. 101326, 2019.

NING, Q.; HÄTTENSCHWILER, S.; LÜ, X.; KARDOL, P.; ZHANG, Y.; WEI, C.; XU, C.; HUANG, J.; LI, A.; YANG, J.; WANG, J.; PENG, Y.; PEÑUELAS, J.; SARDANS, J.; HE, J.;

XU, Z.; GAO, Y.; HAN, X. Carbon limitation overrides acidification in mediating soil microbial activity to nitrogen enrichment in a temperate grassland. **Global Change Biology**, v. 27, p. 5976 – 5988, 2021.

NOSHEEN, S.; AJMAL, I.; SONG, Y. Microbes as Biofertilizers, a Potential Approach for Sustainable Crop Production. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 1868, 2021.

OLIOSI, G., PARTELLI, F. L., DA SILVA, C. A., DUBBERSTEIN, D., GONTIJO, I., TOMAZ, M. A. Seasonal variation in leaf nutrient concentration of conilon coffee genotypes. *Journal of Plant Nutrition*, v. 44, n. 1, p. 74-85, 2020.

PENNINGTON, S.; MCDOWELL, N.; MEGONIGAL, J.; STEGEN, J.; BOND-LAMBERTY, B. Localized basal area affects soil respiration temperature sensitivity in a coastal deciduous forest. **Biogeosciences**, v. 17, p. 771-780, 2020.

PEREIRA, M. M.; COELHO, E. F.; GONDIM FILHO, H.; DE OLIVEIRA, F. É. R. INFLUÊNCIA DE DOSES DE BIOFERTILIZANTE NOS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO NO CULTIVO DA BANANEIRA 'BRS PLATINA'. **International Journal Semiarid**, v. 3, p. 3, 2020.

PICCOLO, A.; SPACCINI, R.; SAVY, D.; DROSOS, M.; COZZOLINO, V. O Humeome do Solo: Estrutura Química, Funções e Perspectivas Tecnológicas. **Agroquímica Sustentável**. 2019.

PINTO, L. P.; PERUZZOLO, M. C.; HISTER, J. R. W. H.; FRIGO, E. P.; BARREIROS, M. A. B.; GRANGE, L. ALTERAÇÕES POPULACIONAL E MORFOLÓGICAS DA COMUNIDADE CELULOLÍTICA DE UM SOLO SOB APLICAÇÃO DE BIOFERTILIZANTE. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8 n. 2, 2019.

POONIA, K. D.; BHATNAGAR, P.; SHARMA, M. K.; SINGH, J. Eficácia de biofertilizantes no crescimento e desenvolvimento de plantas de mangueira cv. Dashehari. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 5, pág. 2158- 2162, 2018.

PRATES, A. R.; ZÜGE, P. G. U.; LEONEL, S.; SOUZA, J. M. A.; ÁVILA, J. D. Indução da floração em mangueira: atualizações, perspectivas e opções para a agricultura orgânica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, 2021.

PRIMO, D.C.; MENEZES, R.C.; SILVA, T.O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, v. 7, n. 5, 2011.

QIAO, J.; LI, X.; LI, F.; LIU, T. YOUNG, L.; HUANG, W.; SUN, K.; TONG, H.; HU, M. Humic Substances Facilitate Arsenic Reduction and Release in Flooded Paddy Soil. **Environmental science & technology**, v. 53, n. 9, p. 5034-5042, 2019.

RAMÍREZ, F., DAVENPORT, T. L. (2010). Mango (*Mangifera indica* L.) Flowering Physiology. **Scientia Horticulturae**, v.126, p.65–72.

SANTANA, A. S.; DA SILVA CHAVES, J.; SANTANA, A. S.; RODRÍGUEZ, C. A.; DE MORAES, E. R. Biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo no sul do estado de Roraima. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon**, v. 6, n. 1, p. 43-50, 2017.

SANTANA, H.; CEREIJO, C. R.; TELES, V. C.; NASCIMENTO, R. C.; FERNANDES, M. S.; BRUNALE, P.; CAMPANHA, R. C.; SOARES, I. P.; SILVA, F. C.P.; SABAINI, P. S.; SIQUEIRA, F. G.; BRASIL, B. S. A. F. Microalgae cultivation in sugarcane vinasse: Selection, growth and biochemical characterization. **Bioresource Technology**, v. 228, p. 133-140, 2017.

SILVA, D. J. Nutrição e adubação da mangueira em sistema de produção integrada. In: SILVA, F. C. S. et al., (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, L.; CAVALCANTE, Í.; CUNHA, J.; LOBO, J.; CARREIRO, D.; NETO, V. Organic acids allied with paclobutrazol modify mango tree 'Keitt' flowering. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 44, p. e-003, 2022.

SILVA, L.; SOUSA, K.; PEREIRA, E.; ROLIM, L.; CUNHA, J.; SANTOS, M.; SILVA, M.; CAVALCANTE, Í. Avanços no sistema de produção de manga 'Keitt': Interação do PBZ com ácidos fúlvicos e aminoácidos livres. **Ciência Hortícola**, v. 277, p. 109-787, 2021.

SOARES, M.; ROUSK, J. Microbial growth and carbon use efficiency in soil: Links to fungal-bacterial dominance, SOC-quality and stoichiometry. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 131, p. 195-205, 2019.

SOOTAHAR, M.; ZENG, X.; WANG, Y.; SU, S.; SOOTHAR, P.; BAI, L.; KUMAR, M.; ZHANG, Y.; MUSTAFA, A.; YE, N. The Short-Term Effects of Mineral- and Plant-Derived Fulvic Acids on Some Selected Soil Properties: Improvement in the Growth, Yield, and Mineral Nutritional Status of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Soils of Contrasting Textures. **Plants**, v. 9, n. 2, p. 205, 2020.

SOUSA, W.; CAMPOS, T.; SOUZA, A.; CINTRA, P.; FARIA, L.; SANTOS, T. Performance of lettuce submitted to the rock dust remineralizer and doses of efficient microorganisms. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 8, p. 5526, 2021

SUBEDI, P.; JOKELA, E.; VOGEL, J.; BRACHO, R.; INGLETT, K. Os efeitos das limitações de nutrientes na respiração microbiana e na decomposição da matéria orgânica em um Espodosolo da Flórida, influenciados por práticas históricas de manejo florestal. **Ecologia e Manejo Florestal** , v. 479, p. 118592, 2021.

SUDHA, R.; BALAMOCHAN, T.; SOORIANATHASUNDARAM, K. Effect of foliar spray of nitrogenous chemicals on flowering, fruit set and yield in mango (*Mangifera indica* L.) cv. Alphonso. **Journal of Horticultural Science**, v. 7, n. 2, p. 190-193, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6ª ed. Porto Alegre: **Artmed**, 858p, 2017.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.

VESSEY, J. L. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and Soil**, v. 255, n. 2, p. 571-586, 2003.

UKALSKA-JARUGA, A.; KLIMKOWICZ-PAWLAS, A.; SMRECZAK, B. Characterization of organic matter fractions in the top layer of soils under different land uses in Central-Eastern Europe. **Soil Use and Management**, v. 35, p. 595 – 606, 2019.

VASILCHENKO, A.; GALAKTIONOVA, L.; TRETYAKOV, N.; DYACHKOV, S.; VASILCHENKO, A. Impact of agricultural land use on distribution of microbial biomass and activity within soil aggregates. **Soil Use and Management**, v. 39, p. 618 – 633, 2023.

WANG, S.; CARTER, C.; FITZGIBBON, Q.; SMITH, G. Respiratory quotient and the stoichiometric approach to investigating metabolic energy substrate use in aquatic ectotherms. **Reviews in Aquaculture**, v. 13, n. 3, p. 1255-1284, 2021.

WANG, Y.; SHAHBAZ, M.; ZHRAN, M.; CHEN, A.; ZHU, Z.; GALAL, Y.; GE, T.; LI, Y. Microbial Resource Limitation in Aggregates in Karst and Non-Karst Soils. **Agronomy**, v. 11, n. 8, p. 1591, 2021.

WU, L.; WANG, Y.; ZHANG, S.; WEI, W.; KUZYAKOV, Y.; DING, X. Fertilization effects on microbial community composition and aggregate formation in saline-alkaline soil. **Plant and Soil**, v. 463, p. 523 – 535, 2021.

XIE, N.; SM, S.; AN, T.; XU, Y.; LI, S.; SUN, L.; WANG, J. Effect of Residue Type on Extractable Organic and Microbial Biomass Carbon Fractions Under Long-Term Soil Fertilization. **Research Square**, v. 1, p. 1-19, 2021.

XU, M.; WANG, J.; ZHU, Y.; HAN, X.; REN, C.; YANG, G. Plant Biomass and Soil Nutrients Mainly Explain the Variation of Soil Microbial Communities During Secondary Succession on the Loess Plateau. **Microbial Ecology**, v. 83, p. 114-126, 2021.

XU, P.; LIU, Y.; ZHU, J.; SHI, L.; FU, Q.; CHEN, J.; E HUANG, Q. Influência dos mecanismos de fertilizações de longa duração na mineralização da matéria orgânica em Argissolo. **Pesquisa de Solo e Cultivo**, v. 201, p. 104-594, 2020.

XUEBING, W.; JINCHENG, W.; SHIQIANG, S.; PINHUA, R.; RUNKAI, W.; SHIHUI, L. Preparation and Properties of Soil Conditioner Microspheres Based on Self-assembled Potassium Alginate and Chitosan. **International journal of biological macromolecules**. v. 147, p. 877-889, 2020.

YADAV, A.; KOUR, D.; KAUR, T.; DEVI, R.; YADAV, A.; DIKILITAS, M.; ABDEL-AZEEM, A.; AHLUWALIA, A.; SAXENA, A. Biodiversity, and biotechnological contribution of beneficial soil microbiomes for nutrient cycling, plant growth improvement and nutrient uptake. **Biocatalysis and agricultural biotechnology**, v. 33, p. 102009, 2021.

YAN, C.; LI, Y.; SHARMA, P.; CHEN, Q.; LI, B.; SHANG, J. Influence of dissolved organic matter, kaolinite, and iron oxides on aggregation and transport of biochar colloids in aqueous and soil environments. **Chemosphere**, v. 306, p. 135-555, 2022.

YAN, T.; YANG, L.; CAMPBELL, C. D. Microbial biomass and metabolic quotient of soils under different land use in the Three Gorges Reservoir area. **Geoderma**, v. 115, n. 1-2, p. 129-138, 2003.

ZHANG, P.; ZHANG, H.; WU, G.; CHEN, X.; GRUDA, N.; LI, X.; DONG, J.; DUAN, Z. Dose-Dependent Application of Straw-Derived Fulvic Acid on Yield and Quality of Tomato Plants Grown in a Greenhouse. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 736613, 2021.

ZHOU, J.; WEN, Y.; SHI, L.; MARSHALL, M.; KUZYAKOV, Y.; BLAGODATSKAYA, E.; ZANG, H. Strong priming of soil organic matter induced by frequent input of labile carbon. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 152, p. 108069, 2021.