



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

MIRRAELLY DE SOUSA INOCENCIO

**BIOINDICADORES DA QUALIDADE DA RIZOSFERA DA PALMA SOB ADUBAÇÃO  
POTÁSSICA E NITROGENADA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

POMBAL – PB

2023

MIRRAELLY DE SOUSA INOCENCIO

**BIOINDICADORES DA QUALIDADE DA RIZOSFERA DA PALMA SOB ADUBAÇÃO  
POTÁSSICA E NITROGENADA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado ao Centro de Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Silva Lima

POMBAL – PB

2023

I58b Inocêncio, Mirraelly de Sousa.

Bioindicadores da qualidade da rizosfera da palma sob adubação potássica e nitrogenada no semiárido paraibano / Mirraelly de Sousa Inocêncio. – Pombal, 2023.

49 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2023.

“Orientação: Profa. Dra. Adriana Silva Lima”.

Referências.

1. Cultivo da palma. 2. Manejo nutricional. 3. Microbioma do solo. 4. Solo - Bioindicadores de qualidade - Ambiente rizosférico. 5. *Opuntia sp.*  
I. Lima, Adriana Silva. II. Título.

CDU 633.2 (043)

MIRRAELLY DE SOUSA INOCENCIO

**BIOINDICADORES DA QUALIDADE DA RIZOSFERA DA PALMA SOB ADUBAÇÃO  
POTÁSSICA E NITROGENADA NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado ao Centro de Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 24/11/2023

BANCA EXAMINADORA



---

Orientadora - Prof.<sup>a</sup> D. Sc. Adriana Silva Lima  
(CCTA/UAGRA/UFCG)  
(Orientadora)



---

Membro – Prof.<sup>a</sup> D. Sc. Lauriane Almeida dos Anjos Soares  
(CCTA/UAGRA/UFCG)  
(Examinador)



---

Membro – Msc Lara Almeida Roque  
(PPGHT/UAGRA/UFCG)  
(Examinador)

POMBAL-PB

2023

## DEDICATÓRIA

“Tudo o que fizerem, façam de todo o coração, como para o Senhor, e não para os homens, sabendo que receberão do Senhor a recompensa da herança. É a Cristo, o Senhor, que vocês estão servindo.”

(Col. 3:23-24)

*A nosso Senhor Jesus que me deu força, saúde e coragem para prosseguir, a Ele seja toda honra e glória, agora e para sempre. À minha família, em especial aos meus pais, meu esposo e meus irmãos. E a todos que fizeram parte dessa jornada.*

**Dedico.**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu amado Deus por seu amor leal, sua fidelidade, por derramar sobre mim sua graça e misericórdia todos os dias. Por guiar os meus caminhos e me proteger, e por sempre fazer a vontade dEle em minha vida.

À minha amada família, meu esposo Jonas por todo o incentivo e apoio, minha mãe Marinalva por tanto lutar por mim, meu pai Adailton por me incentivar a fazer a graduação em agronomia, meus irmãos Mirelly e Anthony, minha vó Artemisa, e melhor amiga Nadiana, por todos os dias em que acreditaram, tiveram paciência, me apoiaram, me amaram, me aconselharam e trilham esse caminho comigo.

Em especial à minha irmã e melhor amiga Mirelly, por tanto, pois sem ela não teria sido possível a realização desse trabalho.

À minha orientadora Adriana Silva Lima por ter feito tanto por mim, por ter sido exemplo de pessoa e de profissional. Por ter tido confiança, paciência, ser sempre sincera, e pelos ensinamentos profissionais e de vida.

Aos amigos especiais que trilham essa jornada comigo, Thais Aparecida, Leticia Luz, Espedita Ranilly, Leandro Nunes, Lindinês, Vitor Manoel, e aos demais colegas da turma de 2019.1.

Aos membros da banca examinadora as quais admiro e respeito, e que gentilmente aceitaram participar e contribuir, Prof.<sup>a</sup> Dra. Lauriane Almeida dos Anjos Soares e Msc Iara Almeida Roque. E aos demais professores da Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias que contribuíram grandemente para a minha formação.

Aos técnicos dos Laboratórios, Franciezer, Tiago e Matheus pela assistência e contribuição para a execução dessa pesquisa.

Ao setor de assistência social da universidade por me contemplar durante todo a graduação, com o Programa de Auxílio ao Ensino de Graduação (PAEG). E a todos os colaboradores do CCTA e a todos aqueles que de forma direta ou indireta cruzaram essa jornada.

**Agradeço de coração e oro para que Jesus ilumine suas vidas!**

## SÚMARIO

LISTA DE FIGURAS .....	8
RESUMO.....	10
1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVOS .....	14
2.1 Gerais.....	14
2.2 Específicos.....	14
3. REFERENCIAL TEÓRICO .....	15
3.1 Aspectos gerais da cultura da palma ( <i>Opuntia</i> sp).....	15
3.2 Manejo da adubação na Palma.....	16
3.3 Bioindicadores da qualidade do solo.....	17
3.4 Influência da adubação mineral na microbiota .....	19
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	22
4.1 Local do experimento .....	22
4.2 Dados climatológicos .....	22
4.3 Características químicas e físicas da área.....	23
4.4 Preparo da área e distribuição dos tratamentos.....	24
4.5 Plantio, manejo nutricional, irrigação e tratos culturais .....	26
4.6 Coletas de amostras biológicas do solo .....	26
4.7 Determinação dos atributos biológicos .....	27
4.7.1 Respiração basal do solo (RBS) .....	27
4.7.2 Carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS) .....	28
4.7.3 Quociente metabólico (qCO <sub>2</sub> ) .....	31
4.8 Análise estatística .....	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	32
6. CONCLUSÕES .....	41
REFERÊNCIAS .....	42

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Dados climatológicos de temperatura máxima e mínima diária (°C), umidade relativa do ar média e mínima diária (%) da estação de São Gonçalo, PB (A333) no mês de junho de 2023, período de amostragem do solo para as análises dos indicadores biológicos do experimento da palma (INMET, 2023). .....22
- Figura 2:** Dados climatológicos de precipitação acumulada mensal (mm) da estação de São Gonçalo, PB (A333) no período chuvoso do ano de 2023 (INMET, 2023)....23
- Figura 3:** Croqui da área experimental com a respectiva distribuição nos blocos dos tratamentos de adubação.....25
- Figura 4:** Procedimento de Titulação da Respiração microbiana do solo. Erlenmeyer contendo solução NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> (previamente incubada com o solo) + 10 mL da solução BaCl<sub>2</sub> 0,05 mol L<sup>-1</sup> e adição de três gotas de Fenolftaleína 1%. .....28
- Figura 5:** Procedimento de titulação do carbono da biomassa, Erlenmeyer com 2 ml da solução de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,066 mol L<sup>-1</sup> + 10 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 50 ml de H<sub>2</sub>O destilada + três gotas do ferroin como indicador e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,03 mol L<sup>-1</sup>. Em detalhe, ponto de viragem, passando de amarelo para um tom alaranjado. ....30
- Figura 6:** Respiração edáfica (mg C-CO<sub>2</sub>.100 cm<sup>3</sup> solo) dos tratamentos em área experimental de palma, sendo: Resp. R (respiração referência - dos valores obtidos por Santos et al., 2021); T1 (46,8 de N; 180 de K); T2 (46,8 de N; 420 de K); T3 (109,0 de N; 180 de K); T4 (109,0 de N; 420 de K); T5 (78,0 de N; 300 de K); T6(7,8 de N; 180 de K); T7 (148,0 de N; 420 de K); T8 (46,8 de N; 30 de K); T9 (109,0 de N; 570 de K); T10 (7,8 de N; 30 de K); T11 (148,0 de N; 30 de K); T12 (7,8 de N; 570 de K); T13 (controle sem adubação); Letras diferentes indicam significância pelo teste de Scott-Knott a p≤0,01.....33
- Figura 7:** Carbono da biomassa microbiana (µg C g<sup>-1</sup> solo) dos tratamentos em área experimental de palma, sendo: CBIOR (carbono da biomassa microbiana referência - dos valores obtidos por Santos et al., 2021); T1 (46,8 de N; 180 de K); T2 (46,8 de N; 420 de K); T3 (109,0 de N; 180 de K); T4 (109,0 de N; 420 de K); T5 (78,0 de N; 300 de K); T6(7,8 de N; 180 de K); T7 (148,0 de N; 420 de K); T8 (46,8 de N; 30 de K); T9 (109,0 de N; 570 de K); T10 (7,8 de N; 30 de K); T11 (148,0 de N; 30 de K); T12 (7,8 de N; 570 de K); T13 (controle sem adubação); Letras diferentes indicam significância pelo teste de Scott-Knott a p≤0,01. ....36
- Figura 8:** Quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) (µg C-CO<sub>2</sub>. µg Cmic. <sup>-1</sup>) dos tratamentos em área experimental de palma, sendo: qCO<sub>2</sub>R (quociente metabólico referência - dos valores obtidos por Santos et al., 2021); T1 (46,8 de N; 180 de K); T2 (46,8 de N; 420 de K); T3 (109,0 de N; 180 de K); T4 (109,0 de N; 420 de K); T5 (78,0 de N; 300 de K); T6(7,8 de N; 180 de K); T7 (148,0 de N; 420 de K); T8 (46,8 de N; 30 de K); T9 (109,0 de N; 570 de K); T10 (7,8 de N; 30 de K); T11 (148,0 de N; 30 de K); T12 (7,8 de N; 570 de K); T13 (controle sem adubação); Letras diferentes indicam significância pelo teste de Scott-Knott a p≤0,01. ....39

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-20 cm da área experimental da palma. ....	23
<b>Tabela 2:</b> Combinações das doses de N e K ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ) segundo a matriz Plan Puebla III, modificada. ....	25
<b>Tabela 3:</b> Resumo das análises de variância para as variáveis, respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBMS) e quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ). ....	32

INOCENCIO, Mirraelly de Sousa. **Bioindicadores da Qualidade da Rizosfera da Palma sob adubação Potássica e Nitrogenada no Semiárido Paraibano**. 2023. Monografia (Graduação em Agronomia) — Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2023.

## RESUMO

A palma é um volumoso muito utilizado como forragem animal, devido suas características nutricionais e fisiológicas de adaptação e grande produção em regiões semiáridas. No entanto, existem limitações quanto ao seu potencial produtivo, sendo necessário o manejo da adubação que aumenta a produção de biomassa das culturas e estabiliza o carbono orgânico do solo, sendo assim, exerce influência nas atividades biológicas, que por sua vez, é um atributo de qualidade do solo. Portanto, determinar os atributos biológicos do solo é de suma importância para avaliar o funcionamento da microbiota e monitorar a qualidade do solo decorrente do seu uso e manejo. Nesse contexto, avaliou-se as atividades biológicas do solo rizosférico da palma cultivada sob diferentes doses de adubação nitrogenada e potássica no Semiárido paraibano. O experimento foi realizado em condições de campo, na Fazenda Experimental Rolando Enrique Rivas Castellón, São Domingos-PB, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA). Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro blocos e treze tratamentos. Os tratamentos foram dispostos conforme a matriz Plan Puebla III e consistiram na combinação de cinco doses de nitrogênio (7,8; 46,8; 78; 109 e 148 kg ha<sup>-1</sup>) na forma de ureia, cinco doses de potássio (30; 180; 300; 420 e 570 kg ha<sup>-1</sup>) na forma de cloreto de potássio, e um controle (sem adubação). Aos 183 dias após o transplântio, foram avaliados os atributos biológicos que constaram de respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBM) e quociente metabólico (qCO<sup>2</sup>). Houve diferenças significativas entre os tratamentos utilizados na palma, doses de fertilizantes minerais N e K, os quais influenciaram as atividades e as comunidades microbianas. Observou a ocorrência de alterações nos atributos microbiológicos do solo decorrente do uso e manejo. A análise de respirometria indicou alteração na atividade biológica do solo cultivado com palma. A avaliação do carbono da biomassa demonstra que a área da palma possui taxas altas e intermediárias de biomassa microbiana. Já os valores observados no quociente metabólico indicam economia no uso de energia. Os tratamentos, T11 (148,0 de N e 30 de K) e T8 (46,8 de N e 30 de K), destacaram-se por apresentar maior e menor qCO<sub>2</sub> respectivamente.

**Palavras-Chave:** *Opuntia* sp, microbioma, manejo nutricional.

INOCENCIO, Mirraelly de Sousa. **Bioindicators of the Quality of the Palm Rhizosphere Under Potassium and Nitrogen Fertilization in the Semi-Arid Paraíba**. 2023. Monograph (Graduation in Agronomy) – Federal University of Campina Grande, Pombal, 2023.

### **Abstract**

Palm is a roughage widely used as animal forage, due to its nutritional and physiological characteristics of adaptation and high production in semi-arid regions. However, there are limitations regarding its productive potential, requiring fertilization management to increase crop biomass production and stabilize soil organic carbon, thus exerting influence on biological activities, which in turn is an attribute of soil quality. Therefore, determining the biological attributes of the soil is extremely important to evaluate the functioning of the microbiota and monitor the quality of the soil resulting from its use and management. In this context, the biological activities of the rhizospheric soil of palm cultivated under different doses of nitrogen and potassium fertilization in the semi-arid region of Paraíba were evaluated. The experiment was carried out under field conditions, at the Rolando Enrique Rivas Castellón Experimental Farm, São Domingos-PB, at the Federal University of Campina Grande (UFCG), at the Center for Agro-food Science and Technology (CCTA). A randomized block experimental design was used, with four blocks and thirteen treatments. The treatments were arranged according to the Plan Puebla III matrix and consisted of a combination of five doses of nitrogen (7.8; 46.8; 78; 109 and 148 kg ha<sup>-1</sup>) in the form of urea, five doses of potassium (30; 180; 300; 420 and 570 kg ha<sup>-1</sup>) in the form of potassium chloride, and a control (without fertilization). 183 days after transplanting, biological attributes were evaluated, consisting of basal soil respiration (RBS), microbial biomass carbon (CBM) and metabolic quotient (qCO<sub>2</sub>). There were significant differences between the treatments used on palm, doses of N and K mineral fertilizers, which influenced microbial activities and communities. Observed the occurrence of changes in the microbiological attributes of the soil resulting from use and management. The respirometry analysis indicated changes in the biological activity of the soil cultivated with palm. The assessment of biomass carbon demonstrates that the palm area has high and intermediate rates of microbial biomass. The values observed in the metabolic quotient indicate savings in energy use. The treatments, T11 (148.0 N and 30 K) and T8 (46.8 N and 30 K), stood out for presenting higher and lower qCO<sub>2</sub> respectively.

**Palavras-Chave:** *Opuntia* sp, microbiome, nutritional management.

## 1. INTRODUÇÃO

A região Nordeste em sua grande maioria é ocupada por suas áreas semiáridas, onde a pecuária extensiva é uma das principais bases da economia, e, devido à escassez de precipitações em longos períodos do ano, se limita o desenvolvimento agropecuário dessa região. Nesse sentido, o cultivo da palma forrageira (*Opuntia* sp) surge como uma alternativa, principalmente para os períodos de escassez hídrica (SILVA et al., 2015).

A palma destaca-se na forragicultura devido ao seu grande potencial produtivo em quantidade de matéria seca, podendo ser utilizada como forragem, com a particularidade, de apresentar maior disponibilidade no período de escassez de forragem (época seca do ano), além de não precisar ser armazenada como silagem ou feno, sendo assim, constitui um excelente suporte forrageiro para a manutenção sustentável dos sistemas de criação nas regiões semiáridas (DONATO, 2011).

No Brasil, a área cultivada com palma alcança cerca de 550.000 hectares e, apesar da crescente utilização da palma, uma das maiores dificuldades está relacionada com o manejo produtivo da cultura, no que diz respeito à adubação, tratamentos culturais, irrigação, manejo de pragas e doenças e outros (FERRAZ JUNIOR, 2018).

Os nutrientes atuam e fazem parte de diversos processos essenciais para as espécies vegetais, sendo o manejo da adubação uma estratégia muito utilizada para manter os níveis de fertilidade em solos aráveis e aumentar o potencial produtivo das culturas (DUBEUX JUNIOR et al, 2010). O nitrogênio (N) é um macronutriente que está presente em várias moléculas essenciais na planta, sendo possível alcançar maiores produtividades da palma com a adubação nitrogenada, principalmente devido ao aumento no número de cladódios e acúmulo de biomassa (CRUZ, 2021). Já o potássio (K) é o segundo elemento mais requerido em quantidade devido exercer grande influência na qualidade de produção e melhorar a resistência da planta, principalmente em condições de estresse (como a seca) (BATISTA et al., 2018; JÚNIOR SILVA et al., 2017).

Além disso, a produção agrícola é dependente da qualidade biológica do solo, pois exerce influência direta nas características físicas e químicas, estando diretamente ligada à produtividade e qualidade das colheitas (PESSOA et al., 2022).

Segundo Totola e; Chaer (2002), a avaliação das características biológicas do solo é um importante aspecto que está ligado com a funcionalidade do ecossistema. As interações entre microrganismos na interface raiz-solo (rizosfera), são cruciais, para compreensão da dinâmica da estabilidade da rizosfera e a sua manutenção. Cada grupo funcional de microrganismo possui características e funções diferentes no solo, no entanto, essas formas de vida não existem isoladas, mas sim, interagem entre si, e essas interações promovem o melhor desenvolvimento das espécies vegetais e a lucratividade do produtor (MATSUMOTO; MARQUES, 2015).

Assim sendo, essa interação no ambiente rizosférico, torna os microrganismos do solo grandes aliados para a produtividade das culturas, e para avaliação e monitoramento da qualidade do solo já que os microrganismos são indicadores sensíveis da sua qualidade, pois respondem rapidamente a mudanças no seu ambiente, além de exercerem influência conjunta em todos os fatores que regulam a degradação da matéria orgânica e a transformação dos nutrientes (MATSUMOTO; MARQUES, 2015; MENDES et al., 2017).

Logo, as alterações ambientais e humanas, tais como, a adubação, tratos culturais, época de cultivo, temperatura, umidade relativa e outras características da região de cultivo, podem ocasionar alterações significativas nas atividades da microbiota (LUO et al., 2015). Diversos estudos envolvendo nutrição mineral, apontam que a adição de fertilizantes ao solo influencia as atividades microbianas como também, as funções desempenhadas por esses (BELAY et al., 2002; KUZUYAKOV et al, 2013; ZHU, 2020; ALI et al, 2021; DINCĂ et al, 2022).

Portanto, devido ao pouco conhecimento quanto à microbiota da rizosfera da palma, considerando-se suas funções no desenvolvimento da planta, como também as interações decorrentes desta sinergia, é de grande importância estudar, avaliar e identificar os bioindicadores desta cultura, visto que estes diferem conforme os fatores de produção (SANTI, 2019; ZHU, 2020). Estudos dessa natureza são importantes, pois podem prover um conjunto de dados mínimos que possam servir como referência para monitoramento, avaliação e seleção de indicadores da qualidade do solo decorrentes do seu uso e manejo (MIRANDA, 2018).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Gerais**

Avaliar os bioindicadores da qualidade do solo do ambiente rizosférico da palma cultivada sob nutrição nitrogenada e potássica no Semiárido paraibano na Fazenda Experimental Rolando Enrique Rivas Castellón, São Domingos-PB, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA).

### **2.2 Específicos**

- Avaliar a atividade microbiana através da respiração basal do solo (RBS) do solo cultivado com palma sob diferentes combinações de adubação nitrogenada e potássica;
- Avaliar o carbono da biomassa microbiana do solo cultivado com palma sob diferentes combinações de adubação nitrogenada e potássica;
- Avaliar o quociente metabólico do solo cultivado com palma sob diferentes combinações de adubação nitrogenada e potássica;
- Estimar alterações na qualidade do solo.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Aspectos gerais da cultura da palma (*Opuntia* sp)

A palma constitui como uma espécie de grande importância para o semiárido, principalmente, como recurso forrageiro devido ser de fácil propagação, além disso, se destaca como um volumoso suculento muito importante para os rebanhos, especialmente nos períodos de secas prolongadas, possuindo a maior produção de matéria fresca que as demais forrageiras, não necessita ser armazenada como silagem ou feno, e ainda mantêm seu valor nutritivo durante todo o período de estiagem. (FERRAZ JUNIOR, 2018; SILVA et al., 2019; PESSOA et al., 2022).

É uma espécie da família Cactaceae, é nativa do México e compreende as plantas de diversas espécies dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, em que estão presentes às espécies de palma mais utilizadas como forragem. A palma se caracteriza como sendo um cacto suculento e hábito de crescimento arbustivo ou arborescente, com altura variando de 1,5 a 5 m, o caule possui de 60 a 150 cm de largura, os ramos são clorofilados e achatados e variam desde densamente espinhosos até desprovidos de espinhos (GOIS et al., 2013). Os cladódios (raquetes) são suculentos, com variados tamanhos, quando se desenvolvem se tornam responsáveis pela fotossíntese, com botões capazes de produzir novos cladódios, sendo classificados de acordo com a ordem de aparecimento na planta (PESSOA et al., 2022). As raízes são superficiais e distribuídas de forma horizontal, frequentemente encontradas a uma profundidade média de 10 a 15 cm, o que possibilita a captação rápida da precipitação pluvial (SILVA et al., 2015).

Os mesmos autores complementam que se trata de uma espécie de metabolismo ácido das crassuláceas (MAC - CAM), sendo plantas que possuem adaptações a condições da região semiárida, devido ao aumento da eficiência do uso da água, visto que os estômatos são fechados durante o dia para evitar a perda de CO<sub>2</sub> e vapor de água, e abrem durante a noite para capturar o CO<sub>2</sub> necessário para seu metabolismo, quando as temperaturas ambientais e as perdas de água para a atmosfera são menores. Silva et al. (2015) complementa que a capacidade de adaptação desta cultura aos ecossistemas áridos e semiáridos também se expressa

pelo grande potencial em armazenar água e nutrientes no período das chuvas para serem usados na época seca.

Marques et al. (2017), evidencia em seus trabalhos que a palma possui alta capacidade de produção de fitomassa em condições de clima semiárido, pois seus mecanismos fisiológicos possibilitam que a planta resista ao estresse hídrico causada pelos longos períodos de estiagem. Sendo rica em água, cerca de 90%, carboidratos não fibrosos, cinzas, e os nutrientes digestíveis totais ficam em torno de 63% da matéria seca. Porém, é pobre em proteína e possui baixo teor de fibra, por isso, deve ser utilizada juntamente com outras fontes de fibras para evitar desordens metabólicas nos animais (SILVA; ALBUQUERQUE, 2019; SALVADOR et al., 2021).

A palma é uma cultura semi-perene e de colheita bienal, sendo assim, pode ser realizada a colheita a cada dois anos. Se conduzida sob manejo de sequeiro, pode sofrer diversas modificações no crescimento e desenvolvimento em resposta às alterações sazonais e interanuais das condições ambientais (SILVA et al., 2019; PESSOA et al., 2022).

### 3.2 Manejo da adubação na Palma

A adubação mineral é uma prática recomendada para melhorar e sustentar a fertilidade dos solos aráveis, também é considerada para aumentar a capacidade do solo de fornecer nutrientes e manter os níveis de carbono orgânico do solo, o que ajuda a sustentar rendimentos mais elevados das culturas (ALI et al, 2021).

Dessa forma, a palma pode alcançar alto potencial produtivo se manejada corretamente com relação a adubação, que deve ser realizada a cada corte, pois, com a remoção das raquetes ocorre elevada extração de nutrientes (PESSOA et al., 2022). Porém, o cultivo da palma no Nordeste é caracterizado pela baixa adoção de tecnologias que levam à obtenção de uma produtividade inferior ao potencial da cultura. O uso da fertilização química no semiárido é reduzido devido aos elevados custos e riscos de perdas em função da irregularidade e imprevisibilidade de precipitações (SOARES et al., 2021).

A palma extrai do solo principalmente os nutrientes N (nitrogênio), P (fósforo), K (potássio), e Mg (magnésio), além disso é bastante exigente em Ca (cálcio), chegando a extrair cerca de 23,5 kg do solo para cada tonelada de matéria seca

produzida (CRUZ, 2021). No semiárido brasileiro, existem poucas informações baseadas em dados científicos acerca do crescimento e desenvolvimento da palma em resposta ao uso de fertilizantes minerais (LIMA et al., 2018). No entanto, PESSOA et al., 2022 demonstra que a utilização da fertilização como fator de produção é de grande importância, pois pode aumentar a produtividade de matéria seca na palma.

O nitrogênio (N) é um dos principais macronutrientes absorvido pelas plantas cultivadas, pois está presente em várias moléculas na planta que são essenciais para a vida, e é notório que uma maior produtividade da palma pode ser alcançada quando a planta é submetida a adubação nitrogenada, principalmente devido ao aumento no número de cladódios, além disso ela também é responsável pelo aumento do acúmulo de biomassa. A concentração do nitrogênio nas folhas irá influenciar diretamente na eficiência fotossintética das plantas, e conseqüentemente na quantidade de fotoassimilados produzidos (CRUZ, 2021).

O potássio (K) é o segundo elemento requerido em quantidade pelas plantas e o cátion mais abundante no tecido vegetal (BATISTA et al., 2018). A palma apresenta resultados positivos à adubação com potássio (K), já que exerce grande influência na qualidade de produção, pois, é um macronutriente indispensável ao desenvolvimento vegetal (JÚNIOR SILVA et al., 2017). De acordo com Dubex Júnior et al. (2010), a utilização da adubação potássica promoveu um acréscimo de 17,77% na produção de matéria verde e este relaciona-se com o maior controle na abertura estomática, o que ocasiona maior estado de turgidez às células nos artículos. Ainda, constatou que o nível de potássio extraível do solo teve correlação com a produtividade. Sendo assim, a produção de matéria verde e teor da matéria seca foram influenciados pela adubação potássica.

### 3.3 Bioindicadores da qualidade do solo

Processos essenciais para o desenvolvimento da vida humana são desempenhados por diversas classes de microrganismos. Em uma grama de solo podemos encontrar cerca de cem mil fungos, um milhão de actinomicetos e um bilhão de bactérias, sendo que esses valores demonstram a diversidade metabólica das comunidades microbianas do solo e os diversos processos em que atuam (MENDES et al., 2017).

Como citado por Matsumoto e; Marques (2015), os microrganismos funcionais interagem com a planta na rizosfera, e ela se caracteriza como a região do solo de 1 a 3 mm que se situa em torno das raízes possibilitando o crescimento da microfauna que é influenciada por compostos químicos (exsudatos radiculares) liberados pela raiz da planta. Essa microbiota desempenha papel crucial nos ecossistemas naturais e agrícolas, uma vez que, participam ativamente das modificações da matéria orgânica e dos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes (CARDOSO, NOGUEIRA, 2007). Os autores Romagnoli e, Andreote (2016), expõem que a exsudação de moléculas de baixo peso molecular oriunda do sistema radicular, resulta na atração e seleção da biomassa microbiana pela alteração do ambiente do solo circundante.

A microbiota influencia a composição e a quantidade de vários componentes dos exsudatos radiculares devido os efeitos que ocasionam nas células da raiz, bem como no estado nutricional das plantas. A comunidade microbiana na rizosfera varia em estrutura e composição de espécies em função do tipo de solo, espécie de plantas, ciclo vegetativo, dentre outros fatores ambientais (CARDOSO, NOGUEIRA, 2007). Diversas interações ocorrem no ambiente rizosférico, e o crescimento e produção vegetal é resultado dessas interações, contribuindo ou desfavorecendo a plena expressão do potencial genético da planta (ROMAGNOLI, ANDREOTE, 2016; DANTAS et al., 2009).

Os sistemas de cultura influenciam diretamente o solo, com isso, também podem alterar a atividade e a diversidade microbiana. Os microrganismos exercem numerosos processos e funções no solo, tais como, a ciclagem de nutrientes, decomposição de materiais, síntese de substâncias húmicas, agregação e degradação de compostos xenobióticos e outros (LISBOA et al., 2012). Dessa forma, são organismos essenciais para se obter o monitoramento das condições do solo, pois, mudanças significativas na biomassa microbiana podem ser detectadas muito antes que alterações na matéria orgânica possam ser percebidas, possibilitando a adoção de medidas de correção antes que ocorra a perda severa da qualidade do solo (MIRANDA, 2018; TOTOLA; CHAER, 2002).

Em vista disso, o estado do ecossistema solo pode ser indicado através dessas comunidades microbianas, denominadas microrganismos bioindicadores, já que são capazes de alterar propriedades ou realizar processos biológicos.

Podendo ser utilizados como biomonitoradores da sua qualidade, que consiste na medida da resposta de organismos vivos a mudanças no seu ambiente (MIRANDA, 2018). Isso ocorre devido à alta sensibilidade desses organismos em responder rapidamente a mudanças no ambiente do solo, permitindo avaliações logo após a ocorrência de perturbações (TOTOLA; CHAER, 2002; LISBOA et al., 2012).

Essas respostas são obtidas através de análises laboratoriais de amostras de solo. A avaliação da respiração basal do solo (RBS) é a técnica mais comumente usada para quantificar a atividade microbiana, que se correlaciona positivamente com o conteúdo de matéria orgânica e biomassa microbiana. Essa avaliação é feita através da emissão de CO<sub>2</sub> pela microbiota, a qual fornece dados referentes à sua atividade metabólica (MIRANDA, 2018; MATSUMOTO; MARQUES, 2015; FERRAZ JUNIOR, 2018).

Outro importante indicador ecológico é o carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS), devido ser responsável pela decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e animais do solo. Usualmente, para determinação da biomassa do solo, se faz a quantificação do carbono (CBMS) presente em seus tecidos, funcionando como um indicador da quantidade de microrganismos presentes no solo. LISBOA et al. (2012), cita em seu trabalho que os teores de carbono (C) e nitrogênio (N) na biomassa microbiana é mais sensível para identificar mudanças ocasionadas por operações de preparo do que avaliações dos teores de C e N total do solo (TOTOLA; CHAER, 2002; MATSUMOTO; MARQUES, 2015; FERRAZ JUNIOR, 2018).

#### 3.4 Influência da adubação mineral na microbiota

Como componentes essenciais do ecossistema do solo, a diversidade e atividade dos microrganismos está associada a fatores ambientais e às atividades humanas, bem como, a aplicação de fertilizantes. Vários estudos demonstram que a gestão dos nutrientes a longo prazo afeta significativamente a abundância, diversidade e atividade microbiana, sendo necessário realizar o monitoramento contínuo desses solos para desenvolver indicadores adequados para a produção sustentável (BELAY et al., 2002; ZHU, 2020).

Estudar os efeitos dos fertilizantes na comunidade microbiana natural é crucial, para se compreender como eles atuam na biomassa microbiana, que é um indicador da fertilidade e qualidade do solo. Dincă et al. (2022), explana que a aplicação de fertilizantes minerais, como NPK, e em particular tratamentos com fertilizantes N, leva a um aumento significativo na biomassa microbiana em comparação com parcelas de controle não fertilizadas. No entanto, pouco se sabe acerca do efeito de fertilizantes minerais sobre a microbiota (COSER et al, 2007), principalmente em regiões semiáridas. Todavia, alguns trabalhos desenvolvidos em diversas partes do mundo, demonstram que a adição de fertilizantes minerais ao solo influencia as atividades microbianas como também, as funções que estes desempenham (KUZUYAKOV et al, 2013; ALI et al, 2021).

Dessa maneira, em seus trabalhos com adição de fertilizante a longo prazo, Zhu (2020), conferiu que o carbono orgânico do solo, o nitrogênio total, o pH e os nutrientes disponíveis foram todos alterados. O autor Belay et al. (2002), também relata que a fertilização a longo prazo, utilizando NPK (nitrogênio, fosforo e potássio), influenciou a biomassa microbiana do solo bem como o número de bactérias, actinomicetos e fungos. Estes também apresentaram mudanças qualitativas em resposta à fertilização a longo prazo.

Apesar disso, vários autores (COSER et al, 2007; ZHU, 2020; ALI et al, 2021) também afirmam que o uso de fertilizantes minerais a longo prazo (especialmente o N), pode acelerar a acidificação do solo e reduzir a saturação por bases, a capacidade de troca catiônica, a agregação do solo, a capacidade de retenção de água, e ainda, aumenta a densidade e compactação do solo, assim diminuindo a produtividade do solo. Verma et al. (2023), cita que também ocorre alteração significativa no microbioma do solo, afetando tanto a sua abundância como a sua diversidade. Ainda que, a aplicação inicial de fertilizantes aumente a sua abundância devido à adição de nutrientes, diminui frequentemente a diversidade de espécies.

O nitrogênio aplicado na forma mineral, é absorvido pelas plantas em torno de 40 a 60%, e de 20 a 50% é incorporado ao solo como nitrogênio orgânico, sendo assim, se encontra complexado na forma orgânica e depende da biomassa microbiana para ser ciclado e aproveitado pelas plantas (BONATO, 2021). A disponibilidade de nutrientes e a produtividade de agroecossistemas dependem do tamanho e da

atividade da biomassa microbiana do solo, além disso, a adubação nitrogenada afeta a relação C/N e influencia o metabolismo dos microrganismos (COSER et al., 2007).

A utilização indiscriminada de fontes potássicas a base de cloro, por exemplo o KCl (cloreto de potássio), pode causar salinidade em solos agricultáveis reduzindo a produtividade das culturas e o microbioma do solo, principalmente em regiões onde a evapotranspiração excede a precipitação pluviométrica, a exemplo, o semiárido nordestino. No entanto, foi relatado que a aplicação de fertilizantes químicos pode enriquecer a comunidade bacteriana estrategista de K (DINCĂ et al, 2022).

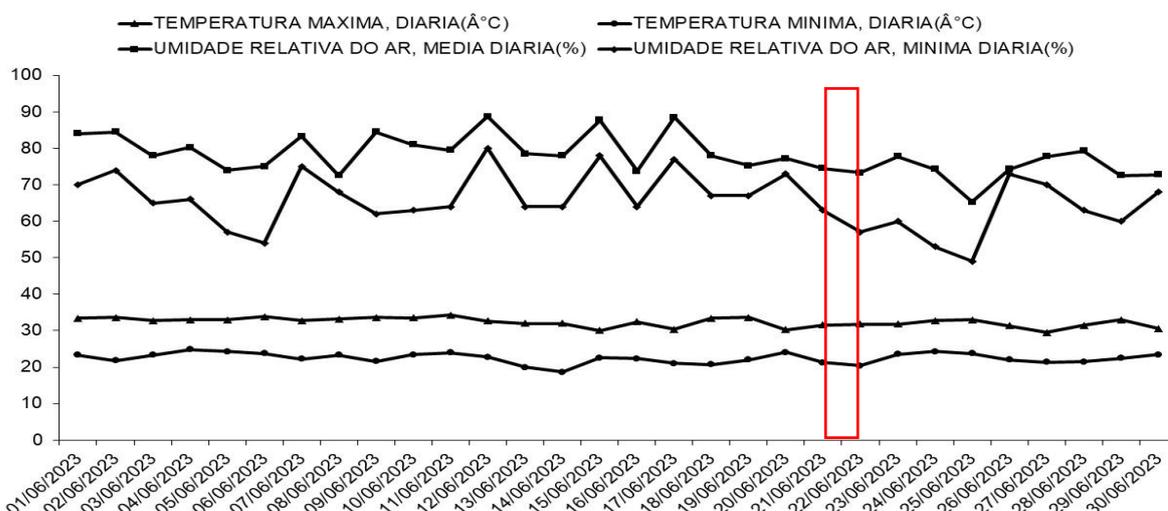
## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Local do experimento

O experimento foi realizado em condições de campo durante seis meses, em área pertencente a Fazenda Experimental Rolando Enrique Rivas Castellón, São Domingos-PB, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA). Possui as coordenadas 6° 50' 4" Sul e 37° 53' 9" Oeste a altitude de 190 m. Situa-se na região Oeste do Estado da Paraíba, mesorregião do Sertão Paraibano e microrregião de Sousa. Segundo a classificação de Köppen, o clima predominante é o Aw', quente e úmido com chuvas de verão-outono, precipitações pluviométricas anuais em torno de 800 mm e amplitude térmica sempre inferior a 5°C. A vegetação do entorno é do tipo caatinga hiperxerófila, em avançado estágio de degradação. O município está inserido na Bacia Hidrográfica do rio Piranhas.

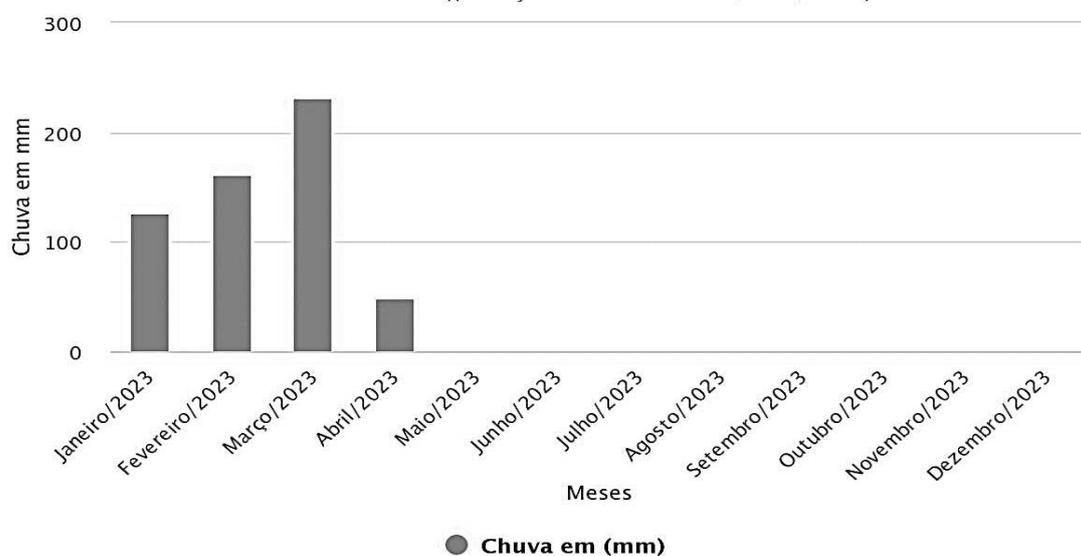
### 4.2 Dados climatológicos

Os dados climatológicos da área foram coletados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (Figura 1), contendo temperatura máxima e mínima diária (C°), e umidade média e mínima diária (%), e a precipitação em (mm) (Figura 2), sendo os dados referentes a estação de São Gonçalo (A333) no mês de junho de 2023, período de coleta das amostras do solo para as análises dos indicadores biológicos do experimento.



**Figura 1:** Dados climatológicos de temperatura máxima e mínima diária (°C), umidade relativa do ar média e mínima diária (%) da estação de São Gonçalo, PB (A333) no mês de junho de 2023, período

de amostragem do solo para as análises dos indicadores biológicos do experimento da palma, em destaque, dia da coleta do solo (INMET, 2023).



**Figura 2:** Dados climatológicos de precipitação acumulada mensal (mm) da estação de São Gonçalo, PB (A333) no período chuvoso do ano de 2023 (INMET, 2023).

#### 4.3 Características químicas e físicas da área

A área experimental cultivada com palma na Fazenda Experimental Rolando Enrique Rivas Castellón, São Domingos-PB apresenta as seguintes características químicas e físicas (Tabela 2). As análises foram obtidas e realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Centro de Ciências Agrárias (UFPB) no ano de 2022 pelo professor responsável do experimento da palma.

**Tabela 1:** Atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-20 cm da área experimental da palma.

Atributos químicos	Valor	Atributos físicos	Valor
pH (CaCl <sub>2</sub> )	6,7	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	348
P (mg kg <sup>-1</sup> )	180,14	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	496
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	256,77	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	156
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,06	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	-
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	7,72	Dp (g cm <sup>-3</sup> )	-
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,83	Pt (m <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )	-
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,35	CC (%)	-
M.O. (g kg <sup>-1</sup> )	11,24	PMP (%)	-
V (%)	87,23	AD (%)	-

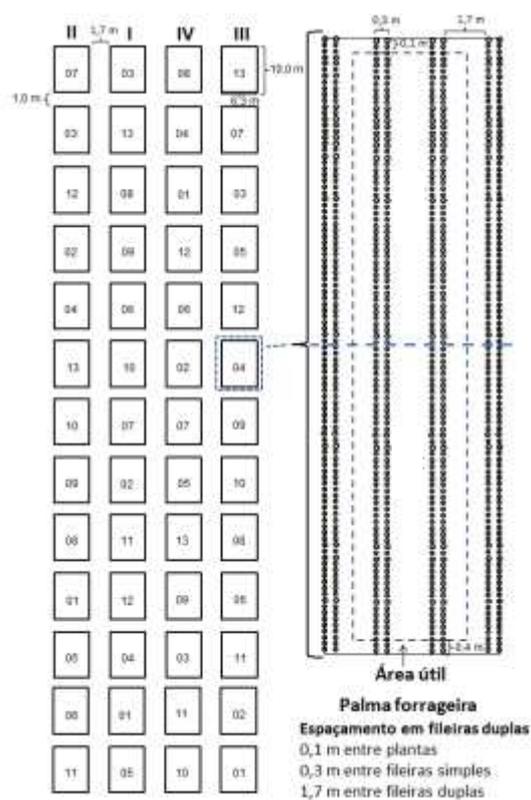
PST (%)	0,48	-	-
SB	11,27	-	-
CTC	12,62	-	-

P, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>: Extrator Mehlich<sup>-1</sup>; H<sup>+</sup>+Al<sup>+3</sup>: Extrator acetato de Ca<sup>+2</sup> 0,5 mol/L a pH 7; Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>: Extrator KCl 1mol L<sup>-1</sup>; Ds = Densidade do solo; Dp = Densidade de partícula; Pt = Porosidade total; Mo = Matéria orgânica; V (%) = valor de saturação por bases (100 × SB / CTC) ; PST (%) = Porcentagem de sódio trocável (100 × Na<sup>+</sup> / CTC), SB= soma de bases trocáveis; CTC= capacidade de troca catiônica. CC = capacidade de campo; PPM = Pontode murcha permanente; AD = água disponível.

#### 4.4 Preparo da área e distribuição dos tratamentos

Após limpeza, aração e gradagem, a área foi demarcada com a distribuição das parcelas (6,3 × 10 m) seguindo um delineamento experimental em blocos casualizados, com treze tratamentos e quatro repetições (Figura 2).

Os tratamentos foram dispostos conforme a matriz Plan Puebla III (ALVAREZ V, 1985), modificada, a fim de determinar a maior e menor dose que proporcione uma nutrição ideal para a palma forrageira. Consiste na combinação de cinco doses de nitrogênio (7,8; 46,8; 78; 109 e 148 kg ha<sup>-1</sup> - ureia), cinco doses de potássio (30; 180; 300; 420 e 570 kg ha<sup>-1</sup> – cloreto de potássio), e um controle (sem adubação) (Tabela 1). Já o fósforo foi aplicado em dose única, em todas as parcelas (100 kg ha<sup>-1</sup> – superfosfato triplo). Conforme análise química da área não houve a necessidade de aplicação de calcário.



**Figura 3:** Croqui da área experimental com a respectiva distribuição nos blocos dos tratamentos de adubação.

**Tabela 2:** Combinações das doses de N e K ( $\text{Kg ha}^{-1}$ ) segundo a matriz Plan Puebla III, modificada.

Tratamento	N	K
	----- $\text{kg ha}^{-1}$ -----	
1	46,8	180
2	46,8	420
3	109,0	180
4	109,0	420
5	78,0	300
6	7,8	180
7	148,0	420
8	46,8	30
9	109,0	570
10	7,8	30
11	148,0	30
12	7,8	570
13	0,0	0,0

#### 4.5 Plantio, manejo nutricional, irrigação e tratos culturais

No mês de dezembro de 2022 a área de palma foi implantada na Fazenda Experimental Rolando Enrique Rivas Castellón, São Domingos-PB, da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA). Esta foi efetuada com os cladódios colocados seguidos dentro dos sulcos, enterrados dois terços na base, para garantir a firmeza, na posição vertical, com as faces no sentido leste/oeste, no espaçamento de fileiras duplas  $0,1 \times 0,3 \times 1,7$  m.

A adubação nitrogenada e potássica foi realizada em dois momentos: um terço no início das chuvas na região e o restante após o término do período chuvoso. A adubação fosfatada foi feita no fundo do sulco, no ato do plantio, tendo-se o cuidado de cobrir o adubo com solo antes de colocar os cladódios, evitando-se seu contato direto. Seis meses após o plantio foi feita a aplicação, via pulverização a baixo volume, de  $3,4 \text{ kg ha}^{-1}$  de boro, na forma de ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ). O experimento foi conduzido em sistema de sequeiro.

O controle das plantas daninhas entre as fileiras duplas foi realizado por capina mecânica (roçadeira) e entre as fileiras simples com aplicação de herbicida, tanto em pré, como em pós-emergência precoce.

#### 4.6 Coletas de amostras biológicas do solo

Foi realizado uma coleta de solo na área experimental, no final do período chuvoso do ano, aproximadamente, 183 dias após plantio (DAP). Dessa forma, as amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade. As amostras foram colocadas em sacos plásticos devidamente identificados, armazenadas e levadas para o Laboratório de Solos e Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus Pombal.

No laboratório, as amostras de solo foram colocadas em *freezer* com a temperatura em torno de  $-20^\circ\text{C}$  para preservar os atributos da respiração edáfica, carbono da biomassa e quociente metabólico.

#### 4.7 Determinação dos atributos biológicos

Os atributos biológicos e bioquímicos indicadores da qualidade do solo foram avaliados considerando a atividade microbiológica quantificada pela respiração edáfica, do carbono da biomassa microbiana do solo e do quociente metabólico.

##### 4.7.1 Respiração basal do solo (RBS)

O método de respirometria, evolução de C-CO<sub>2</sub> ou ainda C mineralizável, foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Mendonça e Matos (2005) adaptado de Curl e Rodriguez-Kabana (1972) e Stotzky (1965). A respirometria objetiva medir a quantidade de C respirada pela microbiota em um determinado período, através da captura do C-CO<sub>2</sub>, emitido na amostra de solo, em solução de NaOH (hidróxido de sódio) e sua dosagem por titulação com HCl (ácido clorídrico).

Os equipamentos utilizados foram o agitador magnético, recipientes de plástico com fechamento hermético e recipientes de 50 mL. Inicialmente foi preparado 1,5 L de solução de NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> e foi pesado 50 g de solo em cada recipiente de 50 mL. Em cada recipiente de plástico foram adicionados três copinhos de 50 mL, um contendo 50 g de solo, um com 30 mL de solução NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> para captura do C-CO<sub>2</sub> e o outro com 30 mL de água destilada (para manter a umidade constante). Em seguida, os recipientes de plástico foram hermeticamente fechados e postos em armário para incubação a temperatura ambiente.

Decorridos três dias, foi preparado 500 mL da solução de BaCl<sub>2</sub> (cloreto de bário) 0,05 mol L<sup>-1</sup> e 2 L de solução de HCl (ácido clorídrico) 0,25 mol L<sup>-1</sup>. Os recipientes contendo o solo foram abertos por 15 minutos (para ocorrer a troca de ar) e após isso pipetou-se 10 mL da solução de NaOH (previamente incubada com o solo) e 10 mL da solução de BaCl<sub>2</sub> 0,05 mol L<sup>-1</sup> para Erlenmeyer de 125 mL. A titulação foi feita em bureta de 50 mL com HCl 0,25 mol L<sup>-1</sup>, imediatamente após a adição de 3 gotas de fenolftaleína 1%. O ponto de viragem é atingido quando a solução passa de violeta para incolor (Figura 3).



**Figura 4:** Procedimento de Titulação da Respiração microbiana do solo. Erlenmeyer contendo solução NaOH 0,5 mol L<sup>-1</sup> (previamente incubada com o solo) + 10 mL da solução BaCl<sub>2</sub> 0,05 mol L<sup>-1</sup> e adição de três gotas de Fenolftaleína 1%.

Esse procedimento foi realizado para todas as amostras das áreas de solo e mais seis amostras em branco. Para cada amostra foram realizadas três repetições analíticas. O cálculo para obtenção dos valores de C-CO<sub>2</sub> foi feito de acordo com a equação:

$$C\text{-CO}_2 \text{ (mg)} = (B - V) \cdot M \cdot 6 \times \left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

Em que:

B= volume do HCL no branco (mL);

V= volume de HCL gasto na amostra (mL);

M= concentração real do HCL (mol L<sup>-1</sup>);

6= massa atômica do carbono (12) dividido pelo número de mols de CO<sub>2</sub> que reagem com o Na CL (2);

V1= volume total de NaOH usado na captura do CO<sub>2</sub> (mL);

V2= volume de NaOH usado na titulação (mL).

#### 4.7.2 Carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS)

A análise de carbono da biomassa microbiana do solo foi realizado através do método de irradiação-extração como descrito por Mendonça e Matos (2005) adaptado de Islam e Weil (1998) e Brookes et al. (1982). A irradiação consiste na utilização de energia eletromagnética (microondas) para ocasionar o rompimento celular e liberar compostos intracelulares (C). Cada amostra de solo foi subdividida em amostras irradiadas e não irradiadas.

As análises foram conduzidas em duplicatas para cada amostra, e o solo foi deixado em temperatura ambiente por 24 horas. Inicialmente é necessário realizar o cálculo da potência do micro-ondas, para descobrir a potência real do aparelho para exposição das amostras ao calor pelo tempo adequado. Para isso, foi realizado o aquecimento de 1 L de água, mediu-se a variação de temperatura, antes e 120 segundos após a exposição ao micro-ondas. Para calcular a potência real do aparelho foi utilizada a fórmula:

$$P = \frac{C_p \cdot K \cdot \Delta T \cdot m}{t}$$

Em que:

P= Potência real do aparelho em W;

C<sub>p</sub>= 1 J ml<sup>-1</sup> °K<sup>-1</sup>, capacidade da água de receber calor;

K= 4,184, fator de correção de cal ml<sup>-1</sup>°K<sup>-1</sup> para watts (J s<sup>-1</sup>);

ΔT= Variação de temperatura de 1L de H<sub>2</sub>O em 2 minutos de exposição em °C;

m= 1000 g. massa da água em gramas;

t= 120 s, tempo de exposição a água ao micro-ondas.

Em seguida foi determinado o tempo de exposição das amostras de solo a irradiação do micro-ondas pela equação:

$$t = \frac{r \cdot m_t}{P}$$

Em que:

t= tempo de exposição das amostras ao micro-ondas;

r= 800 J.g<sup>-1</sup> de solo, quantidade de energia necessária para exposição;

m= peso total das amostras a serem irradiadas em gramas;

P= Potência real do aparelho em W;

Os equipamentos utilizados foram, agitador horizontal, agitador magnético com aquecimento e placa de Petri. Para a solução extratora foram preparados 5 L de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (sulfato de potássio) e para completa dissolução do reagente, tem de se levar ao agitador magnético com aquecimento. Após isso, foram pesadas 20 g de solo de cada amostra em placa de Petri para irradiação e outras 20 g em Erlenmeyer, não

irradiadas. As amostras foram identificadas de acordo com o tratamento e repetição e se eram irradiadas ou não irradiadas. Os solos postos nas placas de Petri foram submetidos a irradiação por 2 minutos e 14 segundos e após isso foram transferidos para Erlenmeyer com auxílio de funil. Em seguida, foi adicionado 80 mL de  $K_2SO_4$  com auxílio de uma proveta de 100 mL. Todas as amostras foram levadas ao agitador horizontal por 30 minutos.

Decorridos os 30 minutos as amostras foram deixadas em repouso por mais 30 minutos para filtração do sobrenadante em béquer utilizando papel de filtro quantitativo lento. Logo após foram preparados 500 mL de solução de dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ )  $0,066 \text{ mol L}^{-1}$  e 2 L da solução tituladora de sulfato ferroso amoniacal ( $Fe (NH_4)_2 (SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ )  $0,03 \text{ mol L}^{-1}$ .

A determinação do carbono contido nos extratos foi realizada de acordo com Tedesco et al (1995). Dessa forma, foram pipetados 10 mL do extrato filtrado e 2 mL da solução de dicromato de potássio para Erlenmeyer de 125 mL com auxílio de pipeta volumétrica. Logo após foi adicionado 10 mL de  $H_2SO_4$  (ácido sulfúrico) com auxílio de um dispensador de volumes manual e deixado esfriar na capela de exaustão. Quando resfriado foi adicionado 50 mL de água destilada e deixado para esfriar novamente. Para titulação se acrescenta três gotas do indicador ferroin e titula o excesso de dicromato utilizando o sulfato ferroso amoniacal  $0,03 \text{ mol L}^{-1}$ . O ponto de viragem é atingido quando a solução passa a ser de tom alaranjado (Figura 4).



**Figura 5:** Procedimento de titulação do carbono da biomassa, Erlenmeyer com 2 ml da solução de  $K_2Cr_2O_7$   $0,066 \text{ mol L}^{-1}$  + 10 ml de  $H_2SO_4$  + 50 ml de  $H_2O$  destilada + três gotas do ferroin como indicador e titulação com sulfato ferroso amoniacal  $0,03 \text{ mol L}^{-1}$ . Em detalhe, ponto de viragem, passando de amarelo para um tom alaranjado.

Após a obtenção dos valores de carbono presente na biomassa microbiana, estes foram submetidos a seguinte equação:

$$C_{mic} = \frac{(C_i - C_{ni})}{K_c}$$

Em que:

$C_i$  = amostra irradiada

$C_{ni}$  = amostra não irradiada,

$K_c$  = 0,33, para o método de irradiação extração de CBM

#### 4.7.3 Quociente metabólico ( $qCO_2$ )

O quociente metabólico ( $qCO_2$ ) foi calculado pela razão entre a taxa de respiração por unidade de carbono da biomassa microbiana (ANDERSON; DOMSCH, 1993) representando a relação entre o dióxido de carbono evoluído e o total do CBM.

#### 4.8 Análise estatística

Os dados obtidos nos diferentes tratamentos foram submetidos a uma análise exploratória, com o intuito de verificar se atendem aos pressupostos da análise de variância. Em seguida, os dados passaram por análise da variância aplicando-se o Teste F,  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,05$ , havendo efeito significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,05$ . A estatística foi realizada com o auxílio do sistema de análise estatística SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme resumo da análise de variância apresentados na Tabela 3, constatou-se que houve efeito significativo dos tratamentos em todas as variáveis analisadas ( $p \leq 0,01$ ).

**Tabela 3:** Resumo das análises de variância para as variáveis, respiração basal do solo (RBS), carbono da biomassa microbiana (CBMS) e quociente metabólico ( $qCO_2$ ).

FV	GL	Respiração	Carbono Biomassa	$qCO_2$
		Quadrados médios		
Tratamentos	12	1,221940**	67,563824**	0,028544**
Blocos	3	9,976900 <sup>ns</sup>	3,305007 <sup>ns</sup>	0,003538 <sup>ns</sup>
Erro	36	0,490586	2.836756	0,002102
CV (%)	-	4,86	12,65	4,30

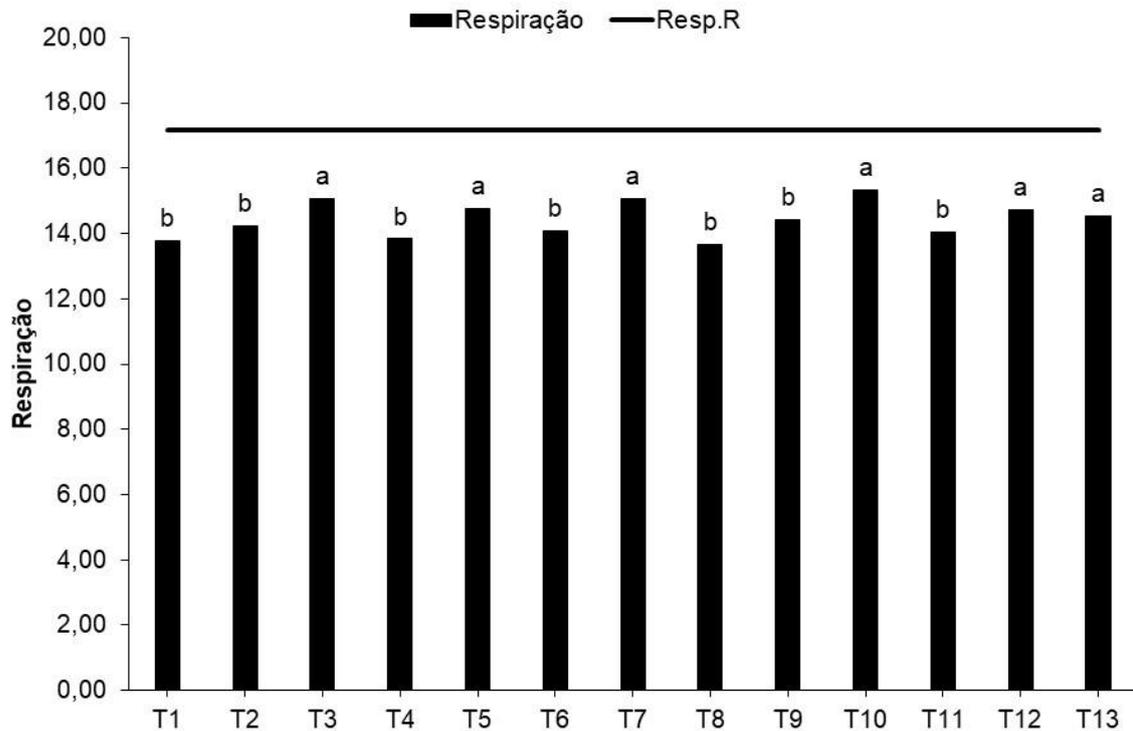
ns, \*\*, \* respectivamente não significativo, significativo a ( $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,05$ ).

Os resultados dos atributos biológicos estão apresentados, respectivamente, respiração edáfica (Figura 6), C-biomassa (Figura 7) e quociente metabólico (Figura 8). Esses atributos são importantes indicadores biológicos ecológicos, já que exercem influência direta no crescimento e desenvolvimento vegetal, além de monitorar e avaliar a qualidade e saúde do solo (TOTOLA; CHAER, 2002; MATSUMOTO; MARQUES, 2015; FERRAZ JUNIOR, 2018).

Os valores encontrados na respirometria das amostras de solo da rizosfera da palma cultivada sob diferentes doses de nutrição nitrogenada e potássica (Figura 6), apresentaram diferença significativa entre os tratamentos analisados.

Santos et al., (2021), avaliou os atributos biológicos indicadores da qualidade dos solos sob sistemas de uso na Fazenda Experimental Rolando Enrique Rivas Castellón, São Domingos-PB. Segundo o histórico de uso da área, a área de produção de pastagem a qual se encontra a palma, foi antes cultivada com alfafa (*Medicago sativa*), uma espécie fixadora de nitrogênio. Portanto, os resultados encontrados na respirometria foram altos naquelas condições, situando-se entre 16,0 e 18,0 mg C-CO<sub>2</sub>.100 cm<sup>3</sup> solo, e os valores obtidos nesse estudo situaram-se entre 13,65 e 15,31 mg C-CO<sub>2</sub>.100 cm<sup>3</sup> solo.

Dessa forma, podemos observar que ocorreram tratamentos em que a respiração mostrou-se maior, tais como, os tratamentos T3, T5, T7, T9, T10, T12 e T13. E, menores valores nos tratamentos, T1, T2, T4, T6, T8 e T11. No entanto, em todos os tratamentos os valores foram inferiores aos descrito por Santos et al., (2021), indicando uma alteração na atividade microbiana.



**Figura 6:** Respiração edáfica (mg C-CO<sub>2</sub>.100 cm<sup>3</sup> solo) dos tratamentos em área experimental de palma, sendo: Resp. R (respiração referência - dos valores obtidos por Santos et al., 2021); T1 (46,8 de N; 180 de K); T2 (46,8 de N; 420 de K); T3 (109,0 de N; 180 de K); T4 (109,0 de N; 420 de K); T5 (78,0 de N; 300 de K); T6(7,8 de N; 180 de K); T7 (148,0 de N; 420 de K); T8 (46,8 de N; 30 de K); T9 (109,0 de N; 570 de K); T10 (7,8 de N; 30 de K); T11 (148,0 de N; 30 de K); T12 (7,8 de N; 570 de K); T13 (controle sem adubação); Letras diferentes indicam significância pelo teste de Scott-Knott a p≤0,01.

A taxa de respiração basal do solo (RBS) consiste na medida da produção de CO<sub>2</sub> resultante da atividade metabólica na rizosfera, essa atividade é considerada um atributo positivo para a qualidade do solo, portanto, a respiração do solo é um indicador sensível de alterações no solo (TOTOLA; CHAER, 2002).

A alta taxa de RBS, indica que ocorre alta atividade biológica, demonstrando que ocorre rápida decomposição da fração húmica do solo. Portanto, podem indicar liberação de nutrientes para as plantas a curto prazo, no entanto, ocorre a perda de C orgânico do solo para a atmosfera a longo prazo. Também é desfavorável para

processos químicos e físicos, tais como; agregação, capacidade de troca de cátions e a capacidade de retenção de água (SANTOS, 2016; LAMBAIS et al., 2021).

Avaliando-se os resultados das amostras coletadas, pode-se observar que as maiores taxas de atividade microbiana foram encontradas nos tratamentos T3 (15,05 mg C-CO<sub>2</sub>. 100 cm<sup>3</sup> solo), T5 (14,77 mg C-CO<sub>2</sub>. 100 cm<sup>3</sup> solo), T7 (15,05 mg C-CO<sub>2</sub>. 100 cm<sup>3</sup> solo) sendo que o tratamento T10 (15,31 mg C-CO<sub>2</sub>. 100 cm<sup>3</sup> solo) foi ligeiramente o maior.

De acordo com Zagatto (2018), a umidade do solo e a respiração edáfica têm correlação positiva, com isso, no período de seca ocorre menor atividade microbiana, ou seja, menores taxas de RBS serão encontradas. Apesar de o experimento estar sendo conduzido sem o manejo da irrigação, já que devido os seus mecanismos morfofisiológicos a grande maioria das cactáceas sobrevive a prolongados meses de secas (SILVA et al., 2015), as amostras de solo foram coletadas ao final da época chuvosa do ano, portanto, os solos ainda se encontravam com certo grau de umidade, explicando a alta taxa de respiração edáfica observada nos tratamentos.

Esses resultados também podem indicar a ocorrência de alteração nesses solos, devido as práticas agrícolas (retirada da vegetação nativa, aplicação excessiva de herbicidas etc.), ainda, a ausência de cobertura vegetal sob o solo, também contribui para elevados valores de respiração, já que aumenta as taxas de variação térmica (elevando a temperatura do solo) (ARAÚJO et al., 2012).

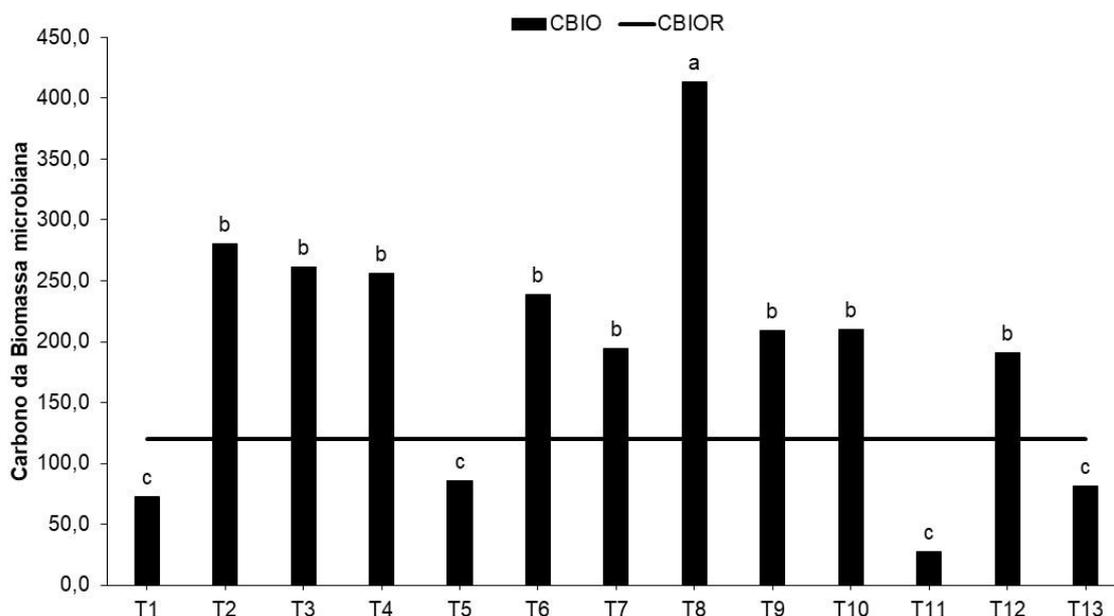
O autor Araújo et al., (2016), observou que devido ao manejo agrícola ter sido realizado com revolvimento do solo, se acelerou os processos de degradação das condições químicas, físicas e biológicas do solo, dessa forma, ocorrendo maiores valores médios de produção de CO<sub>2</sub> em área cultivada com palma forrageira em relação a outros cultivos (Murici, área desmatada em processo de regeneração, e áreas de Caatinga nativa). Camelo (2020), também notou maiores emissões de CO<sub>2</sub> em monocultivo de palma devido a remoção de plantas invasoras e deposição do material roçado (utilizado como substrato pela microbiota).

De acordo com os mesmos autores, alta respiração edáfica em áreas degradadas indicam inferior qualidade do solo decorrentes do uso e manejo inadequados, dessa forma, a área degradada seria mais emissora do que receptora do CO<sub>2</sub> atmosférico.

Portanto, pode-se notar que áreas que apresentam menores valores da respiração, demonstram possuir um ecossistema mais equilibrado (SILVA et al., 2015). Ademais, altas taxas de RBS representam uma biomassa microbiana menos eficiente, decorrente da maior emissão de C-CO<sub>2</sub> (ZHANG et al., 2017; ARAÚJO et al., 2016).

O conhecimento acerca do efeito de fertilizantes minerais sobre as comunidades microbianas é limitado, apesar disso, foi constatado nos trabalhos de Kuzyakov et al (2013); Ali et al (2021); Belay et al. (2002); e Zhu (2020), que a incorporação de nutrientes ao solo influencia as atividades microbianas como também, as funções desempenhadas por esses microrganismos, portanto, a adição de fertilizantes inorgânicos ao cultivo da palma pode ter contribuído para as altas taxas de respiração.

Para o atributo de carbono da biomassa microbiana, pode-se observar que houve diferença significativa entre os diferentes tratamentos realizados no cultivo da palma (Figura 7), o maior valor foi observado no tratamento T8, e os tratamentos T2, T3, T4, T6, T7, T9, T10 e T12 obtiveram valores intermediários, sendo que foram ainda maiores que o encontrados por Santos et al., (2021), que situaram-se em torno de 100,0 a 150,0  $\mu\text{g C g}^{-1}$  solo, e os valores obtidos nesse estudo situaram-se entre 27,3 e 413,3  $\mu\text{g C g}^{-1}$  solo. E os menores valores foram observados nos tratamentos T1, T5, T11 e T13, sendo ainda menores que o trabalho referência, indicando a ocorrência de alterações na biomassa microbiana desse solo.



**Figura 7:** Carbono da biomassa microbiana ( $\mu\text{g C g}^{-1}$  solo) dos tratamentos em área experimental de palma, sendo: CBIOR (carbono da biomassa microbiana referência - dos valores obtidos por Santos et al., 2021); T1 (46,8 de N; 180 de K); T2 (46,8 de N; 420 de K); T3 (109,0 de N; 180 de K); T4 (109,0 de N; 420 de K); T5 (78,0 de N; 300 de K); T6(7,8 de N; 180 de K); T7 (148,0 de N; 420 de K); T8 (46,8 de N; 30 de K); T9 (109,0 de N; 570 de K); T10 (7,8 de N; 30 de K); T11 (148,0 de N; 30 de K); T12 (7,8 de N; 570 de K); T13 (controle sem adubação); Letras diferentes indicam significância pelo teste de Scott-Knott a  $p \leq 0,01$ .

A biomassa microbiana do solo (BMS) é representada pelo  $C_{mic}$  e  $N_{mic}$  (carbono e nitrogênio microbiano), e é frequentemente utilizada para avaliação da saúde do solo sob diferentes práticas agrícolas. Ela é parte da fração da matéria orgânica ativa do solo, em média 2 a 5 % do C orgânico. Por meio desta avaliação pode-se obter rápidas informações acerca de mudanças nas propriedades do solo, ou seja, solos que possuem altas taxas de biomassa microbiana podem estocar mais nutrientes, como também, ciclar mais nutrientes, dessa maneira, a biomassa pode indicar um aumento ou decréscimo na quantidade total da matéria orgânica do solo (ZHANG et al., 2017; ARAÚJO et al., 2012; TOTOLA; CHAER, 2002).

O tratamento T8 se destacou dos demais pois apresentou alta taxa de carbono da biomassa ( $413,3 \mu\text{g C g}^{-1}$  solo), evidenciando o encontrado na menor taxa de respiração, representando uma biomassa mais eficiente, conseqüentemente menor perda de C- $\text{CO}_2$  e maior incorporação de C à biomassa. Seguido dos tratamentos T2 ( $280,0 \mu\text{g C g}^{-1}$  solo), T3 ( $261,2 \mu\text{g C g}^{-1}$  solo), T4 ( $255,8 \mu\text{g C g}^{-1}$  solo), T6 ( $238,8 \mu\text{g C g}^{-1}$  solo), T9 ( $209,1 \mu\text{g C g}^{-1}$  solo) e T10 ( $209,7 \mu\text{g C g}^{-1}$  solo) com valores

intermediários. Isto pode evidenciar maior densidade de raízes nos pontos de coleta, conseqüentemente, ocorrendo uma maior atividade rizosférica e imobilização do carbono. De outro modo, a diferença entre os tratamentos também pode ser relacionada com a não homogeneidade na coleta, presença de áreas húmidas ou ainda, pequenas áreas com presença de formigas e fertilidade decorrente do desenvolvimento da vegetação espontânea (SANTOS et al., 2021).

A BMS é um reservatório de nutrientes, sendo o fornecimento desses nutrientes ao solo controlado por esses microrganismos, assim, desempenham um papel vital na capacidade de armazenamento de nutrientes do solo. Outro ponto importante, é que o C do solo na forma de CO<sub>2</sub>, é decorrente da decomposição dos compostos orgânicos pela BMS. Sendo assim, a microbiota é influenciada pela temperatura, pH, luminosidade, salinidade, deposição de resíduos orgânicos, nutrientes e presença ou ausência de elementos tóxicos. Desse modo, os diferentes tipos de manejo exercido em um solo podem interferir nesses fatores, podendo alterar a população microbiana e sua atividade (KUZUYAKOV et al, 2013; ALI et al, 2021; ARAÚJO et al., 2016).

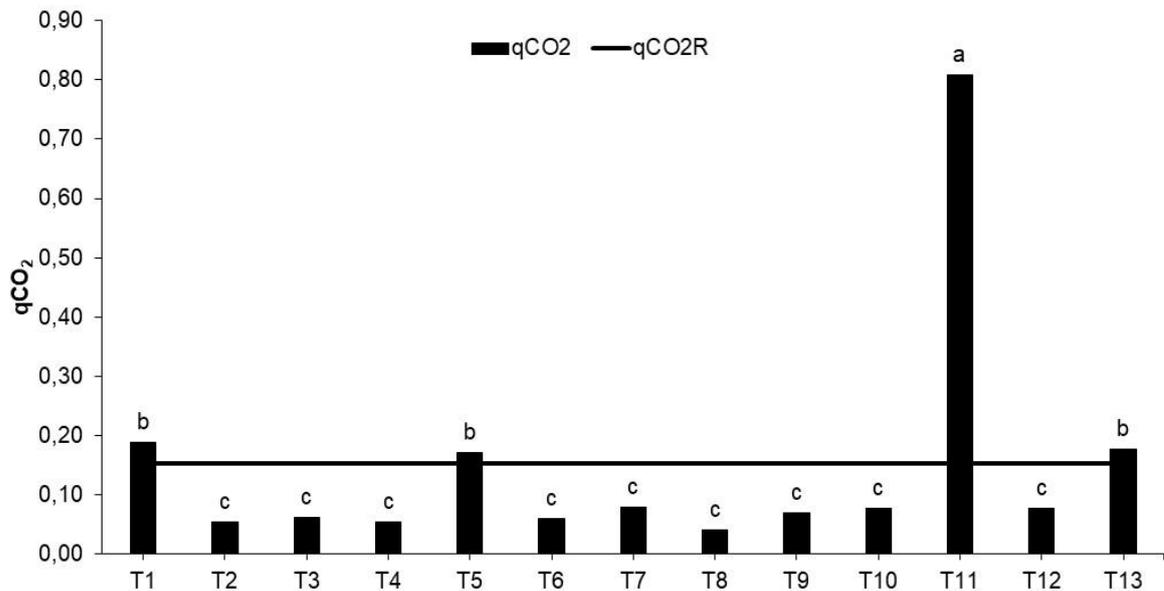
Dincă et al., (2022), evidencia que uma meta-análise realizada de comunidades microbianas, baseada em 107 conjuntos de dados de 64 ensaios de longo prazo realizados em todo o mundo, concluiu que a adição de fertilizantes ao solo (NPK, e em particular tratamentos com fertilizantes N) levam a um aumento de 15,1% na biomassa microbiana em comparação com parcelas de controle não fertilizadas, além disso, fertilizantes nitrogenados com ureia pode ter um efeito temporário ou estável no aumento do pH. Provavelmente, os resultados positivos da fertilização mineral nos reservatórios de nutrientes e C do solo ocorrem devido ao aumento da produção de biomassa das culturas e pela estabilização do C orgânico no solo (BELAY et al., 2002; FRANCIOLI et al., 2016).

Segundo Zhang et al., (2017), estudos realizados por 26 anos em uma região semiárida da Índia, demonstraram que a aplicação equilibrada de fertilizantes minerais e orgânicos (esterco bovino e resíduos vegetais) melhorou evidentemente as concentrações de C<sub>mic</sub> e N<sub>mic</sub>. Corroborando observações anteriores, Luo et al., (2015), em seu trabalho com aplicações de diferentes combinações de fertilizantes (mineral e adubo orgânico) observou que a fertilização mineral com N aumentou significativamente a biomassa microbiana do solo após aplicação a longo prazo, além

disso, tratamentos onde se utilizou combinações de adubos minerais (NPK) e adubo orgânico (esterco) obtiveram resultados ainda maiores. Ademais, também notou que houve aumento significativo na diversidade bacteriana e fúngica, portanto, a disponibilidade de nutrientes pode influenciar no crescimento e na atividade microbiana do solo.

O tratamento T11 apresentou valor muito baixo em relação aos demais, com  $27,3 \mu\text{g C g}^{-1}$  solo. Araújo et al., (2016), evidencia que a maior atividade biológica ocorre na camada superficial do solo, portanto, a remoção da cobertura vegetal, devido ao manejo inadequado, repercute rapidamente em menores valores da biomassa microbiana do solo, demonstrando a maior sensibilidade da biomassa a alterações no solo decorrentes do manejo.

O quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) reflete processos importantes relacionados às adições e transformações da matéria orgânica, assim como a eficiência de conversão de C orgânico para o ecossistema e desta em  $\text{C}_{\text{mic}}$ . Dessa forma, os valores diferiram entre os tratamentos realizados no cultivo de palma (Figura 8), sendo que o tratamento T11 obteve maior valor, confirmando o observado na alta taxa de respiração (Figura 6) e as baixas taxas de carbono da biomassa (Figura 7), o resultado foi bem maior que o observado por Santos et al., (2021), que situaram-se em torno de 0,10 e 0,20  $\mu\text{g C-CO}_2 \cdot \mu\text{g C}_{\text{mic}}$ , e os valores obtidos nesse estudo situaram-se entre 0,04 e 0,81  $\mu\text{g C-CO}_2 \cdot \mu\text{g C}_{\text{mic}}$ ; os tratamentos T1, T5 e T13 obtiveram valores intermediários, e os tratamentos T2, T3, T4, T6, T7, T8, T9, T10 e T12 obtiveram os valores mais baixos, sendo ainda menores que os observados no trabalho referência.



**Figura 8:** Quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) (µg C-CO<sub>2</sub> · µg Cmic.<sup>-1</sup>) dos tratamentos em área experimental de palma, sendo: qCO<sub>2</sub>R (quociente metabólico referência - dos valores obtidos por Santos et al., 2021); T1 (46,8 de N; 180 de K); T2 (46,8 de N; 420 de K); T3 (109,0 de N; 180 de K); T4 (109,0 de N; 420 de K); T5 (78,0 de N; 300 de K); T6(7,8 de N; 180 de K); T7 (148,0 de N; 420 de K); T8 (46,8 de N; 30 de K); T9 (109,0 de N; 570 de K); T10 (7,8 de N; 30 de K); T11 (148,0 de N; 30 de K); T12 (7,8 de N; 570 de K); T13 (controle sem adubação); Letras diferentes indicam significância pelo teste de Scott-Knott a p≤0,01.

O tratamento T11 mostrou-se maior em relação aos demais com 0,81 µg C-CO<sub>2</sub> · µg Cmic.<sup>-1</sup>. Altos valores de qCO<sub>2</sub> podem estar relacionados a ocorrência de distúrbios ou estresse, ocasionado maiores perdas de C na forma de CO<sub>2</sub>, indicando a degradação da qualidade do solo (SANTOS et al., 2021). Da mesma forma, Araújo et al., (2012) cita que em situações de desequilíbrio ambiental ou quando a biomassa está enfrentando algum estresse, a capacidade de utilização de C é diminuída e, neste caso, o qMIC (quociente microbiano) tende a diminuir, pois, fatores de estresse ou distúrbios no ambiente, podem induzir à redução da eficiência microbiana.

Semelhantemente, a substituição ou retirada da cobertura vegetal, como também realizar o revolvimento do solo favorece a decomposição mais acelerada dos resíduos vegetais, aumentando o qCO<sub>2</sub> (DADALTO et al., 2015; ZHANG et al., 2017), portanto, valores elevados indicam ecossistemas que estão submetidos a alguma condição de estresse ou de distúrbio, sendo esses solos dominados por organismos colonizadores de crescimento rápido (TOTOLA; CHAER, 2002).

Camelo (2020), evidencia que o solo de monocultivo de palma apresentou maior  $qCO_2$  em relação aos demais cultivos (consorciação de leguminosas arbóreas). Esse aumento está associado a uma menor biomassa microbiana, juntamente com altas taxas de respiração durante a decomposição da matéria orgânica.

Já os demais tratamentos apresentaram menores valores médios de  $qCO_2$ , sendo os intermediários T1, T5 e T13 com os valores 0,19; 0,17 e 0,18  $\mu g C-CO_2 \cdot \mu g Cmic$ , respectivamente, e os T2, T3, T4, T6, T7, T9, T10 e T12 apresentado em média 0,06  $\mu g C-CO_2 \cdot \mu g Cmic$ . Já o tratamento T8 obteve a menor taxa com 0,04  $\mu g C-CO_2 \cdot \mu g Cmic$ , confirmando o observado na menor taxa de respiração e maior carbono da biomassa.

Menores valores de  $qCO_2$  podem indicar uma biomassa microbiana maior e mais eficiente, decorrente de uma menor taxa respiratória, dessa forma, ocorre um baixo gasto energético durante a utilização do pouco resíduo orgânico disponível, sendo prontamente disponível e incorporado no tecido microbiano (TOTOLA; CHAER, 2002; CAMELO, 2020). Portanto, quando a biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos  $CO_2$  é perdido para a atmosfera e uma maior taxa de C é incorporada à biomassa microbiana, resultando em menores valores de  $qCO_2$  e refletindo um ambiente mais equilibrado (DADALTO et al., 2015).

Com a avaliação dos atributos biológicos foi possível observar como se encontram os bioindicadores da qualidade rizosférica, do solo cultivado com palma forrageira, e pôde-se comparar com os resultados referência da mesma área (SANTOS et al., 2021). Também foi possível observar que as condições edafoclimáticas e o manejo adotado pode alterar significativamente as atividades e a comunidade microbiana, tais como, a aplicação de nutrientes, época do ano, revolvimento do solo, crescimento da vegetação espontânea e utilização de herbicidas, os quais influenciaram para a obtenção dos resultados.

## **6. CONCLUSÕES**

Houve diferenças significativas entre os tratamentos utilizados na palma, doses de fertilizantes minerais N e K, os quais influenciaram as atividades e as comunidades microbianas.

Observou a ocorrência de alterações nos atributos microbiológicos do solo decorrente do uso e manejo.

A análise de respirometria indicou alteração na atividade biológica do solo cultivado com palma.

A avaliação do carbono da biomassa demonstra que a área da palma possui taxas altas e intermediárias de biomassa microbiana.

Já os valores observados no quociente metabólico indicam economia no uso de energia.

Os tratamentos, T11 (148,0 de N e 30 de K) e T8 (46,8 de N e 30 de K), destacaram-se por apresentar maior e menor  $qCO_2$  respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- ALI, Sehrish et al. Nitrogen mineralization, soil microbial biomass and extracellular enzyme activities regulated by long-term N fertilizer inputs: a comparison study of upland and rice paddy soils in a red soil region of China. **Agronomy**, v. 11, n. 10, p. 2057, 2021.
- ALVAREZ V, V.H. Avaliação da fertilidade do solo (Superfície de resposta - Modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta). Viçosa, MG, UFV, 1985. 75p.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effect of environmental condition, such as pH on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ARAÚJO, E. A. A. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v.5, n.1, p.187-206, 2012.
- ARAÚJO, K. D. et al. Atividade Microbiana no Solo em Diferentes Ambientes da Região Semiárida de Alagoas. **Geografia** - Londrina, PR, v. 25. n. 2. p. 05 – 18, jul/dez, 2016.
- BATISTA, M.A., et al. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J.U.T., FREITAS, P.S.L., BERIAN, L.O.S., and. GOTO, R., comps. Hortaliças-fruto [online]. Maringá: EDUEM, 2018, p. 113-162. ISBN: 978-65-86383-01-0.
- BELAY, A., CLAASSENS, A. & WEHNER, F. Effect of direct nitrogen and potassium fertilizers and residual phosphorus on soil chemical properties, microbial components and corn productivity under long-term crop rotation. **Biol Fertil Solos** v.35, p.420–427 (2002). <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0489-x>
- CAMELO, Dayanne. Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistemas agroflorestais de palma forrageira e leguminosas no Agreste de Pernambuco. 2020. 57 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Zootecnia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- CARDOSO, E. J. B. N.; NOGUEIRA, Marco Antonio. A rizosfera e seus efeitos na comunidade microbiana e na nutrição de plantas. In: Microbiota do solo e qualidade ambiental. Campinas: Instituto Agrônômico, p. 79-96, 2007.
- MENDES, Iêda de Carvalho et al. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 191-209, 2017.
- COSER, T. R., et al. Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de Cerrado com aplicação de fertilizante nitrogenado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 3, p. 399-406. 2007.
- CRUZ, Eliton Rubens Teixeira da. Palma forrageira inoculada com *Azospirillum brasilense* e submetida à adubação nitrogenada. 2021.

DADALTO, J. P., et al (2015). Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. *Engenharia Agrícola*, n.35(3), p.506–513. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p506-513/2015>

DANTAS, Jussara Silva et al. Interações entre grupos de microrganismos com a rizosfera. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia** v.2 n.2 mai.- ago. 2009 Print-ISSN 1983-6325 (On line) e-ISSN p.1984-7548.

DINCĂ, Lucian Constantin et al. Fertilization and soil microbial community: a review. 2022. **Appl. Ciência**. 2022, v.12 n.3, p.1198. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12031198>

DUBEUX JÚNIOR., J.C.B.; ARAÚJO FILHO, J.T.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A.; SANTOS, D.C.; PESSOA, R.A.S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira Clone IPA-20. **Agrária**, v. 5, p. 129-135, 2010.

FERRAZ JUNIOR, R. S. Indicadores de qualidade de solo em área cultivada com gliricídia e palma forrageira em Sistema Biossialino no Semiárido Nordeste. 2018.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FRANCIOLI, Davide et al. Alterações minerais versus orgânicas: a estrutura da comunidade microbiana, a atividade e a abundância de micróbios relevantes para a agricultura são impulsionadas por estratégias de fertilização de longo prazo. **Fronteiras em microbiologia**, v. 7, p. 1446, 2016.

GOIS, G. C., SILVA, F. C. S., & RIBEIRO, W. S. (2013). 'Descrição morfológica, origem, domesticação, dispersão da palma forrageira e sua introdução no Brasil'. In: Ribeiro, W. S., Silva, F. C. S., Costa, E. R., Silva, S. M., & Eculica, G. C. (org.). *A Palma e sua importância no nordeste brasileiro* (13), Editora Kiron, Brasília -DF.

JÚNIOR SILVA, B. C. et al. Influência Da Dosagem De Potássio Na Mortalidade Da Palma Forrageira Sob Restrição Hídrica. *Influence Of Potassium Dosage In Mortality Of Pal For Forests Underwater Restriction* (2017).

KUZYAKOV, Yakov; XU, Xingliang. Competition between roots and microorganisms for nitrogen: mechanisms and ecological relevance. **New Phytologist**, v. 198, n. 3, p. 656-669, 2013.

LAMBAIS, Érica Olandini et al. Atividade microbiana e carbono orgânico do solo em agroecossistemas sob diferentes manejos no semiárido paraibano. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 8, p. 412-427, 2021.

LIMA, W. S., PEREZ-MARIN, A. M., & LAMBAIS, G. R. (2018). Adubos orgânicos no desenvolvimento de variedades da palma forrageira. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, V.13, n. 2, p. 170-175. DOI: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v13i2.5698>

LISBOA, B. B., Vargas, L. K., Silveira, A. O. da., Martins, A. F., & Selbach, P. A. (2012). Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira De Ciência Do Solo**, n.36(1), p.33–44. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100004>

- LUO, Peiyu *et al.* Influence of long-term fertilization on soil microbial biomass, dehydrogenase activity and bacterial and fungal community structure in brown soil from northeastern China. **Anais de microbiologia**, v. 65, n. 1, p. 533-542, 2015.
- MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. de P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. G. dos S.; PIRES NETO, O. de. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 75–93, 2017.
- MATSUMOTO, Leopoldo Sussumu; MARQUES, Rodrigo Domiciano. Bioindicadores de qualidade do solo. 2015. IV REUNIÃO PARANAENSE DE CIÊNCIA DO SOLO.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS E. S. Matéria orgânica do solo: métodos de análises. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. p.107.
- MIRANDA, A. A. C. D. (2018). Relação entre indicadores de qualidade de solo sob diferentes sistemas de manejo.
- PESSOA, R. M. dos S., et al. Cactus pear: Organic and mineral fertilization. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 11, n. 13, p. 12111334257, 2022.
- ROMAGNOLI Emiliana Manesco, ANDREOTE Fernando Dini. Rizosfera. *In: CARDOSO Elke Jurandy Bran Nogueira, ANDREOTE Fernando Dini. Microbiologia do Solo 2ª Edição. Piracicaba: ESALQ, p. 47-55, 2016. Doi: 10.11606/9788586481567*
- SALVADOR, Kaique Renan da Silva et al. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. 2021. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.14, n.04 (2021) p.2369-2390.
- SANTI, Diego Braga. Análise metataxonômica de comunidades microbianas da rizosfera do milho após aplicação de nitrogênio e inoculação com bactérias. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.
- SANTOS, G. R. dos. Respiração microbiana do solo relacionada ao conteúdo de água no solo e a temperatura do solo, na época do Equinócio de primavera, em Olho D'Água do Casado, Semiárido de Alagoas. *Revista de Geociências do Nordeste*, [S. l.], v. 2, p. 885–893, 2016.
- SANTOS, S. C.; LIMA, A. S.; SANTOS, A. F.; GUERRERO, A. C.; ABRANTES, J. V. Qualidade biológica dos solos sob sistemas de uso na fazenda experimental se São Domingos/PB. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.10, p.11-24, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.010.0002>.
- SILVA, A. L., SOUSA, D. B., AMORIM, D. S., SANTOS, M. S., SILVA, K. B., & NASCIMENTO, R. R. (2019). Caracterização morfológica, frequência de colheita e ensilagem de palma forrageira: uma revisão. *Nucleus Animalium*.
- SILVA, Ana Alexandrina Gama da et al. Zoneamento Agrícola de Risco Climático da Palma Forrageira (*Opuntia ficusindica* (L.) Mill) para o Estado de Sergipe. 2015. ISSN p.1678-1937 Setembro, 2015.

SILVA, G. F. et al. Indicadores De Qualidade Do Solo Sob Diferentes Sistemas De Uso Na Mesorregião Do Agreste Paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, RN, v. 28, n. 3, p. 25 – 35, jul. – set., 2015.

SILVA, Wesley Reniberg Timoteo; DE ALBUQUERQUE, Ariane Loudemila Silva. Agricultura Familiar: Importância Da Palma Forrageira Em Um Município Da Bacia Leiteira De Alagoas, 2019.

SOARES, F. M. F.; ALBUQUERQUE, A. L. S. de; SILVA, W. R. T. Avaliação do crescimento vegetativo de palma forrageira no Semiárido Alagoano. **Diversitas Journal**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 1777–1785, 2021. DOI: 10.17648/diversitas-journal-v6i1-1702. DOI: 10.17648/diversitas-journal-v6i1-1702.

SOUSA, Ana Paula Figueirêdo de. Palma forrageira adubada e irrigada no Sertão Paraibano. 2015. 74f. (Dissertação de Mestrado em Zootecnia), Programa de Pós-graduação em Zootecnia, Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande - Patos - Paraíba - Brasil, 2015.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2. ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Departamento de Solos, 1995. p.118. (UFRGS. Boletim Técnico, 5).

TOTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. 2002.

VERMA, RC., et al. A review of the long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms. **Jornal Internacional de Ciência de Plantas e Solo**, [S. l.], v. 20, p. 1145–1155, 2023. DOI: 10.9734/ijpss/2023/v35i203912.

ZAGATTO, M. R. G. Mesofauna edáfica em plantios puros e mistos de *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 86p, 2018.

ZHANG, Qingping et al. Effects of long-term fertilizer management practices on soil microbial biomass in Chinese farmland: a meta-analysis. **Revista Agronomia**, v. 109, n. 4, p. 1183-1195, 2017.

ZHU, Zhanling et al. Responses of soil fertility, microbial biomass and microbial functional diversity to four-year fertilization in an apple orchard in northern China. **Horticultural plant journal**, v. 6, n. 4, p. 223-230, 2020.