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

LEANDRO NUNES DE FREITAS

EFEITOS DE NANOPARTÍCULA, BIOINOCULANTE E DÉFICIT HÍDRICO NA RIZOSFERA DE BERINJELA (*Solanum melongena* L)

POMBAL – PB
2024

LEANDRO NUNES DE FREITAS

EFEITOS DE NANOPARTÍCULA, BIOINOCULANTE E DÉFICIT HÍDRICO NA RIZOSFERA DE BERINJELA (*Solanum melongena* L)

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: D.Sc. Adriana Silva Lima

POMBAL - PB

2024

F866e Freitas, Leandro Nunes de.
Efeitos de nanopartícula, bioinoculante e déficit hídrico na rizosfera de berinjela (*Solanum melongena* L) / Leandro Nunes de Freitas. – Pombal, 2024.
53 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2024.
"Orientação: Profa. Dra. Adriana Silva Lima".
Referências.

1. Cultivo da berinjela. 2. Nano-biofertilizantes. 3. Bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP). 4. Eficiência hídrica. I. Lima, Adriana Silva. II. Título.

CDU 635.646(043)

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Auxiliadora Costa (CRB 15/716)

LEANDRO NUNES DE FREITAS

EFEITOS DE NANOPARTÍCULA, BIOINOCULANTE E DÉFICIT HÍDRICO NA RIZOSFERA DE BERINJELA (*Solanum melongena* L)

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: 10/05/2024

BANCA EXAMINADORA

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

Membro – Prof.ª D. Sc. Pollyanna Freire Montenegro Agra
(UAGRA/CCTA/UFCG)
(Examinadora)

Membro – Prof. D. Sc. Artur Franco Barreto
(UAGRA/CCTA/UFCG)
(Examinador)

POMBAL-PB

2024

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus por nunca ter me abandonado, por derramar sobre mim sua graça e misericórdia todos os dias. Por não permitir que faltasse fé, coragem e esperança na minha vida, por me proteger, e por sempre fazer a vontade dele em minha vida.

À minha família, meu pai José Agostinho, a minha mãe Terezinha Freitas e aos meus irmãos, Francisco e Felipe Nunes, por acreditarem em mim e no meu sonho, mesmo quando parecia algo impossível.

Aos meus avós, Dodô, Socorro, Elias (*in memoriam*), e Francisca (*in memoriam*), pelo apoio e amor que me deram durante toda minha vida. E aos meus tios, tias, primos e primas, que durante essa minha jornada sempre buscaram me ajudar de alguma forma.

Aos amigos que encontrei durante essa caminhada e trilharam essa jornada comigo, Nadiana Souza, Thais Aparecida, Mateus Sanches, Alessandro Marques, Walace Ruan, Carlos Augusto, Eloi, Ranilly, Tais Fernandes, Pedro Felipe, Michel Freire, Emanoel Cardoso, Brenda, Flávia, Caio Brasilino, Jardel Souza, Vicente, Mônica, Kaio Fernandes, Paulo André, Carlos Eduardo (Kaká) e Gustavo. Meu muito obrigado pelos momentos de alegria e parceria, vocês foram essenciais para a realização desse sonho

Aos amigos do grupo de pesquisa, Rodolfo Barbosa, Francisco Macelo, Elizineldo Nogueira, Sávio, Fellicio, Ébson Souza, José Amaro, Whashington Idalino, Erika Caminho e Antônio Carlos, por todas as experiências, trabalho e conhecimento compartilhado, obrigado. Em especial a Vitor Manoel, Mirraelly, Kaick Nogueira e Lindinês Lima, por sempre estarem dispostos a me ajudar nas análises em laboratório.

Aos amigos do estágio da EMPAER, Aelson, Emanuel Alexandre, Gilmara, Lauro, Vanessa, Rubens, Verônica e em especial ao Sr. Inácio Marinho, supervisor do estágio, que nos acolheu como filhos, um exemplo de humildade e profissionalismo para todos que tem a honra de conhecê-lo.

A todos os funcionários da fazenda experimental que me auxiliaram na condução do experimento, e a todos os terceirizados de o CCTA/UFCG por sempre estarem dispostos a ajudar os alunos.

À minha orientadora Adriana Silva Lima por ter confiado em mim, pela paciência em me ensinar, pelos conselhos e orientações, por ser inspiração como profissional e todo acolhimento durante a minha graduação, que foram fundamentais pra toda minha trajetória acadêmica.

Aos membros da banca examinadora as quais admiro e respeito, e que gentilmente aceitaram participar e contribuir, Prof.ª Pollyanna Freire Montenegro Agra e ao Prof. Dr. Artur Franco Barreto.

E aos demais professores da Unidade Acadêmica de Ciências Agrárias que contribuíram grandemente para a minha formação. Aos técnicos dos Laboratórios, Franciezer, Joyce Fernandes, Jeane e Matheus pela assistência e contribuição para a execução dessa pesquisa.

Ao CNPq por ter disponibilizado bolsa de pesquisa durante os períodos em que passei na iniciação cientifica, e a FapesQ-PB por financiar o projeto de 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.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS 2
LISTA DE TABELAS 5
RESUMO 6
ABSTRACT 7
1 INTRODUÇÃO 8
2 OBJETIVOS 10
2.1 OBJETIVO GERAL 10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 10
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 11
3.1 ASPECTOS GERAIS DA CULTURA DA BERINJELA (*SOLANUM MELONGENA L.)* 11
3.2 A PRODUÇÃO DE HORTALIÇAS NO SEMIÁRIDO NORDESTINO 11
3.3 OS MICRORGANISMOS COMO INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO 12
3.4 MICRORGANISMOS E NANOFERTILIZANTES COMO ATENUANTES DE ESTRESSE HÍDRICO 14
4 MATERIAL E MÉTODOS 16
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL 16
4.2 DEFINIÇÃO DO EXPERIMENTO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 16
4.3 PREPARO DA ÁREA E CARACTERIZAÇÃO DO SOLO 17
4.4 PRODUÇÃO DAS MUDAS E TRANSPLANTIO 18
4.5 COMPONENTES DOS TRATAMENTOS E SUA APLICAÇÃO 20
4.6 MANEJO DAS LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO 22
4.7 DETERMINAÇÃO DOS ATRIBUTOS BIOLÓGICOS 25
4.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS 32
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 33
CONCLUSÃO 45
REFERÊNCIAS 46

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Esquema da distribuição dos blocos (I, II, III e IV), lâminas (L1 100% e L2 50%) e tratamentos (C, T1, T2, T3 E T4) do experimento de berinjela com nanofertilizante e bioinoculante, no setor de olericultura da fazenda experimental Rolando Henrique Rivas Castellón da UFCG /CCTA, São Domingos, PB, 2022.....17

FIGURA 2: Mudas de berinjelas na casa de vegetação, 13 dias após a germinação, de experimento na casa de vegetação do CCTA/UFCG, Pombal, PB, 2022..... 19

FIGURA 3: Aplicação de solução nutritivas nas mudas, na casa de vegetação, do CCTA/UFCG, Pombal, PB, 2022..... 20

FIGURA 4: Bioinoculante líquido Biobaci® (*Bacillus subtillis*) (A); Bioinoculante líquido NO-NEMA® (*Bacillus amyloliquefaciens*) (B); produto p.a da nanopartícula de óxido de zinco, marca Sigma Aldrich® (C); aplicação dos tratamentos via foliar (D); CCTA/UFCG, São Domingos, PB, 2022. 21

FIGURA 5: Representação gráfica dos dados climatológicos, Precipitação Total (mm), Umidade relativa do ar (%), Temperatura máxima e Temperatura mínima (°C), durante a condução do experimento de berinjela no setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón do CCTA/UFCG, São Domingos, PB, 2022. 23

FIGURA 6: Amostras da primeira coleta de solo(A); coleta das amostras de solo durante a aplicação dos tratamentos (B). Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón do CCTA/UFCG, São Domingos, PB, 2022. 25

FIGURA 7: Terceira coleta de amostras de solo, nessa ocasião foram coletadas 40 amostras de solo no setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón do CCTA/UFCG, São Domingos, PB, 2022. 26

FIGURA 8: Recipientes plásticos com copos contendo o 50g de solo, 30mL de NaOH e 30 mL de água destilada (A), Erlenmeyer com solução na cor rosa devido ao indicador fenolftaleína, e o ponto de viragem solução transparente(B). análise executada no laboratório de solos do CCTA/UFCG, Pombal, PB, 2022.....27

FIGURA 9: Fluxograma do passo a passo da análise de respiração microbiana do solo, executada no laboratório de solos da CCTA/UFCG, Pombal, PB. 28

FIGURA 10: solo pesado em placas de Petris para serem irradiados (A), filtragem do sobrenadante em béquer utilizando papel de filtro quantitativo lento(B), Erlenmeyer com a solução de cor amarela ainda não titulada e, Erlenmeyer com a solução no ponto de viragem, na “cor de telha”, após a

titulação com HCl (C e D). análise executada no laboratório de solos do CCTA/UFCG, Pombal, PB..... 31

FIGURA 11: Respiração edáfica (mg C-CO_2.100 cm^3 solo) das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón do CCTA/UFCG, São Domingos, PB, realizada antes do preparo da área, dia 19 de agosto de 2022. 33

FIGURA 12: Carbono da Biomassa microbiana (µg g^{-1} de C no solo) das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón dO CCTA/UFCG, São Domingos, PB, realizada antes do preparo da área, no dia 19 de agosto de 2022.....34

FIGURA 13: Coeficiente metabólico qCO_2 das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón do CCTA/UFCG, São Domingos, PB, realizada antes do preparo da área, no dia 19 de agosto de 2022..... 35

FIGURA 14: Respiração edáfica (mg C-CO_2.100 cm^3 solo) das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón do CCTA/UFCG, São Domingos, PB, realizada antes da aplicação dos tratamentos, no dia 8 de novembro de 2022 e da primeira coleta de solo, dia 19 de agosto de 2022. Parcela 1= correspondera a L100%, Parcela = correspondera a L50%, repetições = blocos 1, 2, 3 e 4. .. 36

FIGURA 15: Carbono da Biomassa microbiana (µg g^{-1} de C no solo) das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón da CCTA/UFCG, São Domingos, PB, realizada antes da aplicação dos tratamentos, no dia 8 de novembro de 2022 e da primeira coleta de solo, dia 19 de agosto de 2022. Parcela 1= correspondera a L100%, Parcela = correspondera a L50%, repetições = blocos 1, 2, 3 e 4. 37

FIGURA 16: Coeficiente metabólico qCO_2 das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón da CCTA/UFCG, São Domingos, PB, realizada antes da aplicação dos tratamentos e das lâminas, no dia 8 de novembro de 2022 e da primeira coleta de solo, dia 19 de agosto de 2022. Parcela 1= correspondera a L100%, Parcela = correspondera a L50%, repetições = blocos 1, 2, 3 e 4. 38

FIGURA 17: Respiração edáfica (mg C-CO_2.100 cm^3 solo) das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón da CCTA/UFCG, São Domingos, PB 2023. Onde (C = controle, T1 = nanopartícula de Zn via foliar, T2 = sulfato de Zn (foliar), T3 = nanopartícula de Zn (foliar) + Bioinoculante via solo, T4 = sulfato de Zn (solo)+ Bioinoculante via solo), solo= média encontrada na análise anterior... 40

FIGURA 18: Carbono da Biomassa microbiana (µg g^{-1} de C no solo) das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da

Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón da CCTA/UFCG, São Domingos, PB 2023. Onde (C = controle, T1 = nanopartícula de Zn via foliar, T2 = sulfato de Zn (foliar), T3 = nanopartícula de Zn (foliar) + Bioinoculante via solo, T4 = sulfato de Zn (solo)+ Bioinoculante via solo), L1 (100%) da ETc e, L2 (50%) da ETc, solo= média encontrada na análise anterior. 42

FIGURA 19: Coeficiente metabólico qCO_2 das amostras de solo do experimento de berinjela, Onde (C = controle, T1 = NPZnO via foliar, T2 = sulfato de Zn (foliar), T3 = NPZnO (foliar) + Bio via solo, T4 = sulfato de Zn (solo) + Bio via solo), L1 (100%) da ETc e, L2 (50%) da ETc, solo= média encontrada na análise anterior.....43

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Atributos químicos e físicos do solo, na camada de 0-20cm, do solo da área experimental no setor de olericultura. 18

TABELA 2: Resumos das análises de variância para as variáveis, respiração microbiana do solo, carbono da biomassa e quociente metabólico. 39

RESUMO

Os bioindicadores podem ser influenciados pelo uso intensivo e manejo empregado ao solo, sua sensibilidade mostra-se bastante eficientes no monitoramento da qualidade do solo, principalmente da rizosfera. O Objetivo desse trabalho foi o de avaliar os bioindicadores da rizosfera de berinjela cultivada com nanofertilizantes, bioinoculante e déficit hídrico. O experimento foi instalado em parcelas subdivididas no espaço, onde as parcelas compreenderão dois níveis de irrigação (50% e 100% da evapotranspiração potencial -ETc) e as subparcelas por cinco tratamentos compostos pela combinação de nanopartículas de óxido de zinco (NZnO), ou bioinoculante (Bio) contendo bactérias benéficas (C = controle, T1 = NPZnO via foliar, T2 = sulfato de Zn (foliar), , T3 = NPZnO + Bio via solo, T4 = sulfato de Zn (solo) + Bio via solo, com quatro blocos (repetições). Os bioindicadores da rizosfera avaliados foram o carbono da biomassa Microbiana (CBM); a respiração microbiana do solo, e o quociente metabólico (qCO2) que foi calculado pela razão entre a taxa de respiração e o carbono de biomassa. A nanopartícula e os bioinoculante estimularam a respiração do solo tanto em situações em que não a déficit hídrico quanto na ocorrência desse estresse. No (CBM) na lâmina de 50% de ETc, a microbiota já existente no solo foi favorecida nessa condição de estresse pela planta. Enquanto as bioinoculante que foram introduzidos não foram estimulados. O (qCO_2) na lâmina de 50% da ETc os tratamentos que combinaram nanopartículas e bioinoculante, e o que usou sulfato de zinco e os bioinoculante tiveram um maior destaque.

Palavras-chave: nano-biofertilizantes, bactérias promotoras do crescimento vegetal, eficiência hídrica.

ABSTRACT

Bioindicators can be influenced by the intensive use and management applied to the soil, their sensitivity proves to be quite efficient in monitoring soil quality, especially the rhizosphere. The objective of this work was to evaluate the bioindicators of the eggplant rhizosphere cultivated with nanofertilizers, bioinoculant and water deficit. The experiment was installed in plots subdivided in space, where the plots will comprise two levels of irrigation (50% and 100% of potential evapotranspiration -ETc) and the subplots will comprise five treatments composed of the combination of zinc oxide nanoparticles (NZnO), or bioinoculant (Bio) containing beneficial bacteria (C = control, T1 = NPZnO via foliar, T2 = Zn sulfate (foliar), T3 = NPZnO + Bio via soil, T4 = Zn sulfate (soil) + Bio via soil, with four blocks (replications). The rhizosphere bioindicators evaluated were microbial biomass carbon (CBM); soil microbial respiration, and the metabolic quotient (qCO2) which was calculated by the ratio between the respiration rate and biomass carbon. The nanoparticle and bioinoculants stimulated soil respiration both in situations in which there was no water deficit and in the occurrence of this stress. plant. While the bioinoculants that were introduced were not stimulated. The (qCO2) in the 50% ETc layer, treatments that combined nanoparticles and bioinoculants, and those that used zinc sulfate and bioinoculants were more prominent.

Keywords: nano-biofertilizers, bacteria that promote plant growth, water efficiency

1 INTRODUÇÃO

A importância do solo, bem como da manutenção de sua qualidade, tem sido estudada por meio dos indicadores de qualidade do solo que contribuem positivamente no processo de avaliação conjunta do comportamento destes, tornando possível diagnosticar o estado atual do solo, e em casos de degradação e falta de sustentabilidade reverter à situação por meio da execução de práticas adequadas de manejo (SILVA et al., 2020).

Os indicadores biológicos possuem elevada sensibilidade ao manejo empregado no solo (FIDELIS et al., 2016), sendo estes capazes de verificar as atuais condições edáficas (SILVA et al., 2015). A influência da atividade microbiana quanto à qualidade do solo ocorre devido os microrganismos operarem em inúmeros processos edáficos, bem como em funções do ecossistema, tornando-se essencial a avaliação biológica do solo (BATISTA et al., 2018; ANDRADE, 2021).

As plantas possuem certa habilidade em atrair microrganismos que irão colaborar com a sua proteção, e com o desenvolvimento da rizosfera (BERENDSEN et al., 2012; BAKKER et al., 2013; MENDES et al., 2013). Isso pode ser atrelado ao fato de que as raízes secretam exsudatos orgânicos que contribuem com o crescimento de múltiplas comunidades microbianas na rizosfera (CARDOSO; ANDREOTE, 2016), manifestando dessa forma relevância quantos aos processos associados à nutrição das plantas, gradientes de umidades do solo, trocas de O_2 e CO_2, mineralização, nitrificação, amonificação e simbiose (ANDRADE; NOGUEIRA, 2005; EHRENFELD et al. 2005; MELO, 2022).

Neste sentido, a utilização de bactérias promotoras do crescimento de plantas (BPCP) na agricultura é uma tecnologia que pode aumentar a produtividade das culturas, a fertilidade do solo, a exemplo dos solublizadores de fosfato, sem exercer nenhum efeito nocivo ao ambiente (RAMAKRISHNA et al., 2019). Além disso, podem levar à produção de substâncias osmorreguladoras pela planta e assim atuar de forma sinérgica, colaborando na tolerância à seca (VINCI et al., 2018; MATOS et al., 2019), aumentando o comprimento das raízes das plantas, conduzindo assim a uma maior absorção de água e nutrientes do solo (LUO et al., 2019).

A busca pela tolerância à seca por meio da atenuação do déficit hídrico tem sido objetivo de diversas pesquisas, e uma estratégia que tem revolucionado a agricultura é o uso da nanotecnologia, a exemplo dos nanofertilizantes (GHOLINEZHAD, 2017; AHMADIAN et al., 2021).

A Região Semiárida do Brasil, em destaque o Sertão Paraibano, que possui potencial para a produção de diversas hortaliças de frutos como tomate, berinjela e pimentão, durante todo o ano, apresenta baixa produtividade e qualidade devido ao manejo inadequado da fertilidade do solo, especialmente em relação à adubação e à escassez de água.

Diante do exposto, faz-se necessário o conhecimento da qualidade biológica da rizosfera de berinjela cultivada com nanopartícula à base de zinco, potencializada pelas rizobactérias promotoras do crescimento de plantas, na atenuação do estresse hídrico no Semiárido Paraibano, em que as pesquisas com estas tecnologias são escassas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os bioindicadores da rizosfera de berinjela cultivada com nanopartícula, bioinoculante e déficit hídrico.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar os indicadores biológicos da qualidade da rizosfera de berinjela cultivada com nanopartícula de zinco, bioinoculante e déficit hídrico.
- Quantificar a atividade biológica por meio da respiração basal do solo da rizosfera de berinjela cultivada com nanopartícula de zinco, bioinoculante e déficit hídrico.
- Analisar o carbono da biomassa do solo da rizosfera de berinjela cultivada com nanopartícula de zinco, bioinoculante e déficit hídrico.
- Calcular o coeficiente metabólico do solo da rizosfera de berinjela cultivada com nanopartícula de zinco, bioinoculante e déficit hídrico.
- Identificar as alterações promovidas pelas nanopartículas, bioinoculante e déficit hídrico nos atributos biológicos no solo da rizosfera de berinjela.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1Aspectos gerais da cultura da berinjela (*Solanum melongena L.)*

A berinjela (*Solanum melongena L*) é uma hortaliça anual semiarbustiva, pertencente à família Solanaceae, originária da Ásia e de regiões tropicais do Oriente (FILGUEIRA, 2013). Pertencente a mesma família do tomate, pimentão e batata. A planta tem porte arbustivo, com caule do tipo semilenhoso, de intensa formação de ramos laterais, sistema radicular pode atingir uma profundidade de 1,0 m, folhas simples limbo foliar no formato ovado e densa pilosidade (EMBRAPA, 1998).

Essa hortaliça é muita apreciada pelos descendentes árabes e japonês, presentes principalmente nas regiões sul e sudeste, onde também estão os maiores produtores da cultura, sendo São Paulo o maior produtor, seguido do Rio de Janeiro, Minas Gerais e Paraná. Na Paraíba, segundo os dados do censo agropecuária de 2017, a produção de berinjela do estado fica em torno de 337 Toneladas/ano, tento como maior produtor o município de lagoa seca (IBGE, 2017).

O cultivo da berinjela ocorre, preferencialmente, nas regiões e estações do ano quentes, sendo ideais temperaturas diurnas entre 25 e 35 °C e noturnas entre 20 e 27 °C (RIBEIRO, 2007). É uma planta tipicamente tropical, o que favorece a sua produção no Brasil, o seu ciclo vegetativo varia de 100 a 125 dias, dependendo da variedade e da época de cultivo, necessitando de temperaturas elevadas ao longo do ciclo (CARVALHO et. al, 2004).

O semiárido nordestino possui as condições de temperatura desejáveis para o cultivo da berinjela, entretanto, a baixa disponibilidade hídrica da região é um fator limitante para o desenvolvimento de culturas agrícolas, afetando o crescimento, sanidade e a produção.

3.2 A produção de hortaliças no Semiárido Nordestino

A região do Semiárido Brasileiro é historicamente assolada por longos períodos de estiagem e baixos volumes pluviométricos, condições que por muitas décadas impossibilitaram os cultivos de algumas culturas agrícolas na região, como as hortaliças folhosas e as hortaliças fruto. Com a chegada da irrigação e de outras tecnologias, muitos produtores começaram a explorar o

cultivo dessas hortaliças, ampliando assim a oferta desses produtos e gerando renda para as comunidades.

Segundo dados do último censo agropecuário de 2017, a região Nordeste do Brasil possui o maior número de estabelecimentos com produção de hortaliças no país com 137.877 estabelecimentos, correspondendo a 41,0% do total de estabelecimentos desse gênero (IBGE, 2017). A maior parte da produção dessas áreas são destinadas ao comercio local, atendendo as comunidades próximas as áreas de cultivo.

Com um comércio voltado a atender uma demanda mais regional, a variedade e a quantidade de hortaliças produzidas pelos agricultores do semiárido e menor quando comparadas com as das outras regiões, segundo o caderno setorial do escritório técnico de estudos econômicos do nordeste (ETENE) e fontes do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística(IBGE), as hortaliças mais cultivadas na região são: a batata-doce, milho verde(na espiga), tomate, pimentão, coentro, alface e cebolinha.(IBGE, 2017)

Na região Semiárida Brasileira, os sistemas agrícolas enfrentam grandes dificuldades para expressarem e atingirem o seu máximo potencial produtivo, isto se deve a fatores climáticos típicos da região, tendo destaque para altas temperaturas e baixas precipitações, resultando em secas (MARENGO et al., 2016). As condições edafoclimáticas do semiárido juntamente com o baixo acesso a tecnologias pelos agricultores da região ainda são fatores que influenciam na obtenção de uma maior produtividade pelos agricultores.

A combinação destes fatores ambientas acabam facilitando a ocorrência de perdas de produtividade por déficit hídrico. Com uma menor disponibilidade de águia no solo a também uma redução na absorção de nutrientes essenciais para a desenvolvimento da planta.

3.3 Os microrganismos como indicadores de qualidade do solo

Os indicadores biológicos são simbolizados por uma ampla diversidade de espécies, sendo essas responsáveis por efetuar diversas funções complexas no solo. São caracterizados como constituintes vivos e se localizam na parte mais superior do solo. O estudo desses indicadores permite constatar mudanças ocasionadas pelo manejo exercido no solo sendo, portanto, de grande

importância para compreender os processos ecológicos que ocorrem em áreas perturbadas ou que se encontram em recuperação (OLIVEIRA FILHO et al., 2014; SILVA et al., 2021).

Os indicadores biológicos possuem maior sensibilidade quando comparado aos indicadores físicos e químicos, ou seja, tornam possível identificar mais rapidamente as alterações ocasionadas no solo, provocadas pelo seu uso e manejo. Isso ocorre devido esses indicadores operarem em processos bioquímicos significativos e por se referirem à parte ativa da matéria orgânica do solo (STÖCKER et al., 2017).

Dessa forma, esses indicadores apresentam grande importância e são essenciais para identificar as alterações propiciadas por práticas agrícolas sendo possível monitorar a partir deles as condições atuais do solo e posteriormente recomendar o manejo mais adequado (FERREIRA et al., 2017).

Os microrganismos exercem funções importantes que colaboram com a manutenção dos ecossistemas, assim também como viabilizam o crescimento das plantas a partir da disponibilização de nutrientes, da produção de hormônios vegetais e da inibição de fitopatógenos (EMBRAPA, 2016).

Os microrganismos presentes na rizosfera possibilitam o crescimento vegetal, colaboram com o aumento dos níveis de nitrogênio, potássio e outros nutrientes essenciais, havendo em seguimento uma redução da necessidade de aplicação de fertilizantes químicos. Quanto a sua afluência e disparidade, são acometidas por fatores extrínsecos como o clima e quantidade de fertilizantes (EGAMBERDIYEVA, 2005; JANGID et al., 2008).

As Bactérias Promotoras do Crescimento Vegetal presentes no solo, e principalmente na rizosfera, podem levar à produção de substâncias osmorreguladoras pela planta e assim atuar de forma sinérgica, colaborando na tolerância à seca (VINCI et al., 2018; MATOS et al., 2019), no aumento do comprimento das raízes das plantas, para uma maior absorção de água e nutrientes do solo (LUO et al., 2019).

3.4 Microrganismos e Nanofertilizantes como atenuantes de estresse hídrico

O estresse hídrico é o fator abiótico que mais ocasiona perdas na produção de plantas que apresentam alta sensibilidade ao déficit hídrico (BALDO, 2007), causa decréscimo no turgor das células, imprescindível para o adequado metabolismo celular, como fotossíntese atividade enzimática e absorção de nutrientes (MONTEIRO et al., 2014; SELEIMAN et al., 2021). Afeta os processos fisiológicos e bioquímicos das plantas que restringem o crescimento, desenvolvimento e a produtividade das plantas (CHAVIRA et al., 2018; FLORES et al., 2020), e que mais limita o crescimento e a produtividade das culturas, principalmente como é o caso da berinjela (*Solanum melongena* L.), que apresenta elevado índice de área foliar e consequentemente, elevada taxa de evapotranspiração (DAMASCENO et al., 2022).

Dentre as possíveis estratégias para atenuar o estresse hídrico nas culturas, tem recebido atenção da pesquisa, as bactérias promotoras do crescimento de plantas (VURUKONDA et al., 2016; CHANDRA et al., 2018; OJUEDERIE et al., 2019; LIMA et al., 2019; AKHTAR et al., 2020).

Neste sentido, pesquisas com inoculação do milho com *Bacillus amyloliquefaciens* aumentou a absorção de nutrientes e promoveu maior crescimento das plantas (VINCI et al., 2018), inoculação do milho *B. subtilis* aumentou o teor de água nas folhas (LIMA et al.,2019), em plantas de pimenta foi observado que *B. licheniformis* induziu a tolerância da cultura ao estresse hídrico (LIM; KIM, 2013).

Outra estratégia que tem sido considerada para atenuar o estresse hídrico nas culturas é o uso da nanotecnologia, que tem revolucionado a agricultura em diversas áreas do conhecimento, a exemplo dos nanofertilizantes (GHOLINEZHAD, 2017; AHMADIAN et al., 2021).

Os nanofertilizantes são constituídos por nanopartículas contendo macro e, ou micronutrientes de plantas, com tamanho entre 1 e 100 nm. Estes materiais possuem características físicas e químicas distintas dos fertilizantes convencionais (MOSA et al., 2021), apresentam elevada superfície específica, reatividade e capacidade de interação com biomoléculas, podendo resultar numa maior absorção de nutrientes.

Podem ser classificados no base da categorização de nutrientes, ou seja, nanofertilizantes de micronutrientes e nanofertilizantes de macronutrientes (SANZARI et al., 2019), quando existe a associação de nanofertilizantes com bactérias promotoras do crescimento de plantas tem sido considerado como nano-biofertilizante (MARDALIPOUR, 2014; KUMARI; SINGH, 2020).

Os nanofertilizantes podem atuar como produtos de biofortificação (AHMADIAN et al., 2021), esses materiais não agridem o ambiente, não deixam resíduo tóxicos no solo, água, planta ou qualquer outro compartimento ambiental (ZULFIQAR et al., 2019). E possuem efeito de serem atenuantes do estresse hídrico (AHMADIAN et al. ,2021; GHOLINEZHAD, 2017; LIN et al. 2018)

Portanto, os bioindicadores são necessários para monitoramento das estratégias que melhoram absorção de micronutrientes pelas plantas, diminuir os efeitos estressantes da seca e aumentar a produtividade e qualidade dos frutos de hortaliças.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado em condições de campo, em área pertencente a Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), no município de São Domingos – PB.

A sede da Fazenda Experimental localiza-se no município de São Domingos, à 30 km do município de Pombal (PB). A Fazenda Experimental situa-se à 190 m altitude sob as coordenadas: Latitude 6° 50' 4" Sul, Longitude 37° 53' 9" Oeste. O município 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. Segundo a classificação de Gaussen, prevalece o bioclima do tipo Mediterrâneo, ou Nordestino de seca média, com estação seca de 4 a 6 meses.

4.2 Definição do experimento e delineamento experimental

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas no espaço, em que as parcelas compreenderam dois níveis de irrigação (50% e 100% da evapotranspiração da cultura - Etc) e as subparcelas por cinco tratamentos compostos pela combinação de nanopartícula de óxido de zinco (NPZnO), Sulfato de zinco p.a ($ZnSO_4.7H_2O$) e, ou bioinoculante (BIO) contendo as bactérias promotoras de crescimento (*Bacillus subtilis* + Bacillus *amyloliquefacyens*); sendo os demais tratamentos, C = controle, T1 = NPZnO via foliar, T2 = sulfato de Zn (foliar), T3 = NPZnO (foliar) + BIO via solo, T4 = sulfato de Zn (via solo)+ BIO via solo; com quatro blocos (repetições) (Figura 1).

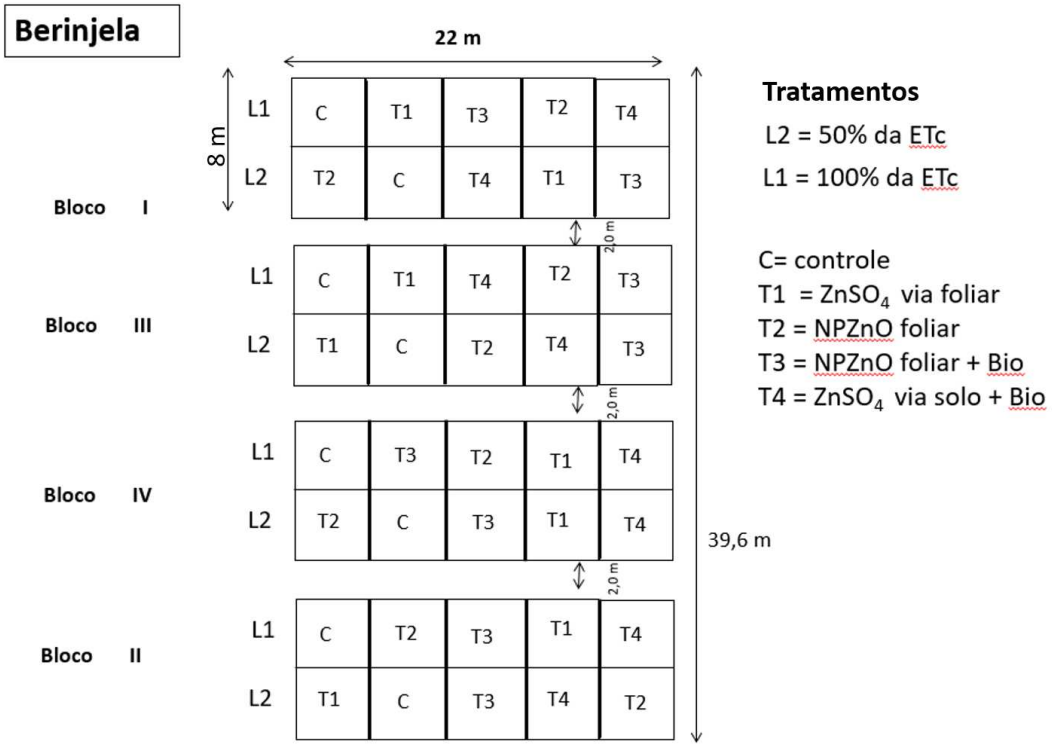

FIGURA 1: Esquema da distribuição dos blocos (I, II, III e IV), lâminas (L1 100% e L2 50%) e tratamentos (C, T1, T2, T3 E T4) do experimento de berinjela com nanofertilizante e bioinoculante, no setor de olericultura da fazenda experimental Rolando Henrique Rivas Castellón da UFCG /CCTA, São Domingos, PB, 2022.

4.3 Preparo da área e caracterização do solo

De início, para o preparo da área, foi realizada uma amostragem de solo na área, na camada de 0 – 20 cm para sua caracterização química, física e biológica do solo, essa caraterização foi feita no laboratório de solo e nutrição de plantas do CCTA, UFCG. Após esta etapa foram realizadas uma aração e gradagem com grade aradora (Tabela 1).

Após a análise de solo, foi realizada a recomendação de adubação para a cultura, seguindo a recomendação de adubação do estado de Pernambuco (CAVALCANTE et al. 2008). As doses foram aplicadas em dose única e incorporada ao solo por ocasião do levantamento das leiras de plantio, no dia 11 e 12 de setembro de 2022, que medem 0,4 m de largura e 0,30 m de altura; as adubações nitrogenadas e potássicas foram aplicadas via fertirrigação, seguindo um cronograma de aplicação das fontes de acordo com as recomendações para a cultura da berinjela.

TABELA 1: Atributos químicos e físicos do Neossolo flúvico, na camada de 0-20cm, do solo da área experimental no setor de olericultura.

Atributos químicos	Valores	Atributos físicos	Valores
pH ($CaCl_2$)	6,20	Areia (g kg^{-1})	444
P (mg kg^{-1})	291	Silte (g kg^{-1})	353
K^+ (cmolc dm^{-3})	1,19	Argila (g kg^{-1})	203
Na^+ (cmolc dm^{-3})	0,54	Ds (g cm^{-3})	1,36
Ca^{2+} (cmolc dm^{-3})	5,80	Dp (g cm^{-3})	2,59
Mg^{2+} (cmolc dm^{-3})	3,40	Pt (m^3 m^3)	0,47
H+Al (cmolc dm^{-3})	2,30	CC (%)	12,87
M.O. (g kg^{-1})	6,40	PMP (%)	5,29
V (%)	83,0	AD (%)	7,58
PST (%)	4,10	-	-

P, K^+ e Na^+: Extrator Mehlich-1; H^++Al^{+3}: Extrator acetato de Ca^{+2} 0,5 mol/L a pH 7; Ca^{+2}, Mg^{+2}: Extrator KCl 1mol L^{-1}; 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 +/CTC). CC = capacidade de campo; PPM = Ponto de murcha permanente; AD = água disponível.

Foi necessário um destorroamento das leiras, uma vez que o solo após o preparo com a aração e gradagem permaneceu agregado, impossibilitando o cultivo. Esse procedimento foi feito de forma manual com enxadas.

4.4 Produção das mudas e transplantio

As mudas de berinjela (*Solanum melongena* L.*),* cv 'Ciça', foram produzidas em bandejas plásticas, com 200 células com capacidade de 18 cm^3 ou 18 mg, as quais foram higienizadas com hipoclorito de sódio e detergente, em seguida lavas com água corrente e postas para secar. Após as bandejas estarem secas elas foram preenchidas com substrato Basaplant ®.

Semeadas usando-se uma semente por célula. Após o semeio as bandejas foram levadas para um ambiente telado localizado no campus do CCTA e disposta numa bancada. Foram realizadas regas diárias, nos dois turnos até o transplante das mudas. A emergência das plântulas iniciou 6 dias após o semeio, e após 37 dias, essas mudas foram transplantadas pra campo (Figura 2).



FIGURA 2: Mudas de berinjelas na casa de vegetação, 13 dias após a germinação, de experimento na casa de vegetação do CCTA/UFCG, Pombal, PB, 2022.

Durante esse tempo, foi necessário a aplicação de duas soluções nutritivas, a primeira solução começou a ser aplicada 22 dias após a emergência das plântulas e, a segunda, 7 dias após a aplicação da primeira. Para a primeira solução foi recomendado 1,3g/10L de sulfato de amônio - $(NH_4)_2SO_4$, e 1,72g/10L de fosfato de potássio - KH_2PO_4, sendo aplicada nas mudas dia sim dia não até a data de transplantio. Já para a segunda solução foi recomendado 12g/10L de nitrato de cálcio - Ca $(NO_3)_2$, e 0,25g/L de sulfato de ferro hidratado – $FeSO_4$ $7H_2O$ mais 10 ml de solução estoque, rica em micronutrientes boros, manganês e zinco (H_3BO_3 - 2,86 g/L; $MnCl_2$ $4H_2O$ – 1,8 g/L; $ZnSO_4$ $7H_2O$ – 0,22 g/L) (Figura 3), todas as aplicações das soluções foram realizadas na água de irrigação com o pulverizador manual.



FIGURA 3: Aplicação de solução nutritivas nas mudas, na casa de vegetação, do CCTA/UFCG, Pombal, PB, 2022.

O transplantio das mudas aconteceu no dia 13 de outubro de 2022, no fim da tarde, período mais adequado para realização do procedimento, devido as condições climáticas, principalmente a temperatura ser mais amena. Para o transplantio foram escolhidas as mudas com o maior vigor dentre as que estavam nas bandejas, não havendo morte de plantas após o transplantio.

As plantas foram cultivadas no espaçamento de 1,2 m entre linhas e 0,8 m entre plantas em um total de 20 plantas cultivadas. A parcela útil consistiu em uma área de 3,0 m x 3,0 m. Na parte central da parcela, foram utilizadas 10 plantas paras as avaliações de produção. O controle de plantas daninhas foi realizado de forma manual, com uso de enxadas.

4.5 Componentes dos tratamentos e sua aplicação

Para os tratamentos contendo nanopartícula foi preparado o produto p.a (para análise), nanopartícula de óxido de zinco (NPZnO) da marca Sigma Aldrich® que possui 97% de pureza, granulometria de tamanho menor que 100 nm e superfície específica de 10,8 m^2/g. A suspensão de trabalho de NPZnO foi preparada na concentração de 50 g/L e, foram diluídas em água na proporção de 500 mL/100 L, com aplicação via foliar na dose de 100 L/ha (Figura 4).



FIGURA 4: Bioinoculante líquido Biobaci® (*Bacillus subtillis*) (A); Bioinoculante líquido NO-NEMA® (*Bacillus amyloliquefaciens*) (B); produto p.a da nanopartícula de óxido de zinco, marca Sigma Aldrich® (C); aplicação dos tratamentos via foliar (D); CCTA/UFCG, São Domingos, PB, 2022.

Para os tratamentos usando fonte comercial de sulfato de Zn foram preparados na razão de 4,54 g L- ¹ $ZnSO_4$, antes da sua aplicação via solo ou via foliar (dependendo do tratamento), distribuídas nas parcelas, aplicando em média 35 mL por plantas da solução via foliar (T2), o que corresponde a 373 g/ha de Zn e um volume de calda por hectare equivalente a 337 L/ha. Para a aplicação do sulfato de zinco via foliar, utilizando um aplicador costal.

O tratamento com sulfato de zinco via solo (T4) foi aplicado 50 mL da solução diluída de $ZnSO_4$ por plantas, correspondendo a um volume de aplicação por hectare de 2,42 kg de $ZnSO_4$, e a aplicação foi realizada próxima a base da planta.

Os tratamentos referentes a bioinoculante (T3 E T4), foram aplicados exclusivamente via solo, aplicando soluções contendo os microrganismos na proporção de 4L/ha. Para *Bacillus subtillis* BV-09 foi utilizado o produto líquido BIOBACI® contendo 1,0 x 10^8 UFC/mL, enquanto para *B. amyloliquefaciens* foi empregado o produto NO-NEMA® contendo 1,0 x 10^9 UFC/mL. Ambos os produtos foram aplicados na zona radicular, utilizando-se o sistema de irrigação, em dose única. A aplicação dos tratamentos foi realizada 26 dias após o transplantio, no dia 9 de novembro de 2022.

4.6 Manejo das lâminas de irrigação

Após finalizar o preparo da área, iniciamos a montagem do sistema de irrigação por gotejamento, os quais correspondiam a duas lâminas de irrigação com 50% e 100% da ETc. Durante a montagem sistema de irrigação foram colocados registros nas fitas gotejadoras correspondentes as lâminas de 50%, para assim, facilitar o controle da irrigação durante a condução do experimento.

No dia seguinte, ao transplantio das mudas de berinjela, foi iniciada a irrigação por gotejamento, nas fitas continham um espaçamento de 0,20 m entre os furos gotejadores, e possuíam uma vazão real de 1,6 L/h.

As lâminas de irrigação, com 50% e 100% da ETc, só começaram a ser usadas no dia seguinte a aplicação dos tratamentos. Até a aplicação dos tratamentos, a lâmina aplicada era a de 100% para todos as parcelas, sendo assim, o tempo de irrigação foi o mesmo para todos os tratamentos durante os 27 DAT (dias após transplantio) (Figura 5).

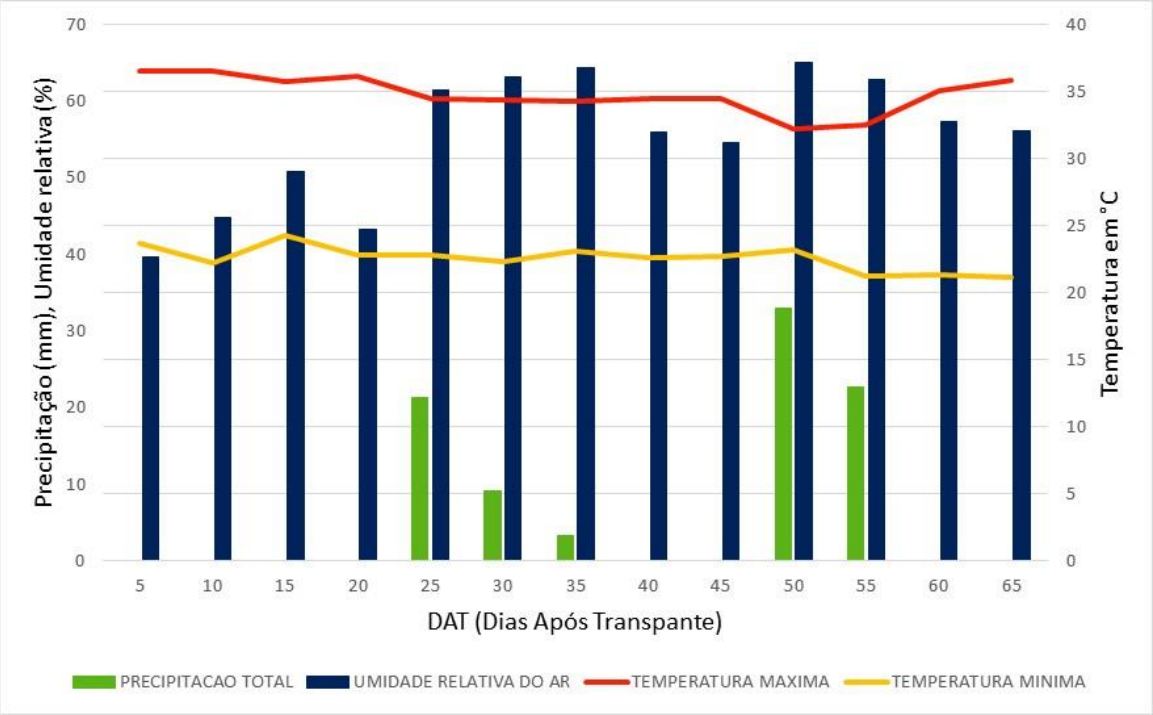

FIGURA 5: Representação gráfica dos dados climatológicos, Precipitação Total (mm), Umidade relativa do ar (%), Temperatura máxima e Temperatura mínima (°C), durante a condução do experimento de berinjela no setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón do CCTA/UFCG, São Domingos, PB, 2022.

Para calcular a irrigação total necessária (ITN) foi utilizada a seguinte expressão:

$$ITN = \frac{(Cc - Pm) * z * Ds * f}{10}$$

Em que:

ITN – corresponderá a lâmina total inicial de água a ser aplicada em mm;

Cc – Umidade do solo correspondente a capacidade de campo, %;

Pm – Umidade do solo correspondente ao ponto de murcha, %;

z – Profundidade efetiva do sistema radicular da berinjela (30 cm);

Ds – Densidade do solo, g/cm^3, e;

f – fator de disponibilidade de água para a berinjela (0,5).

Os testes de uniformidade de aplicação de água foram realizados de acordo com a metodologia de avaliação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942).

O controle do volume de água fornecido em cada lâmina foi realizado diariamente, em horário padronizado, de acordo com a razão da vazão dos gotejadores pelo tempo para atingir as proporções da evapotranspiração de referência (ETo).

À medida que era atingido o intervalo de tempo para cada volume das respectivas lâminas, era realizado os sucessivos desligamentos das fitas de gotejadores, correspondentes a cada lâmina. A lâmina de irrigação correspondente a 100% foi obtida por meio do cálculo da ETc, conforme a seguinte expressão (JESEN, 1968):

$$ETc = Kc * ETo$$

Em que:

ETc - Evapotranspiração da cultura, mm/dia;

ETo - Evapotranspiração de referência, mm/dia, e;

Kc - Coeficiente de cultura (adimensional).

Os valores de Kc adotados para cada cultura em função das suas fases fenológicas, e os valores diários da ETo foram obtidos de acordo com o modelo FAO Penman-Monteith (ALLEN et al., 2006). Os dados meteorológicos foram obtidos da estação meteorológica automática do distrito de São Gonçalo, pertencente ao município de Sousa- PB, por ser a mais próxima ao local do experimento, através do site (AGRITEMPO, 2019; SISDAGRO, 2022).

O fornecimento diário das lâminas de irrigação foi realizado por meio do tempo de irrigação considerando as características do sistema de cultivo e do sistema de irrigação conforme a seguinte expressão:

$$Ti = \frac{Eto * Kc * A}{\mathrm{Ea} * \mathrm{n} * \mathrm{q}}$$

Em que:

Ti - tempo de irrigação, horas;

ETo - Evapotranpiração de referência, mm/dia;

Kc - Coeficiente de cultura (adimensional);

A - área ocupada por uma planta, m^2;

n - número de gotejadores por planta;

q - vazão do gotejador, L/h, e;

Ea – eficiência da aplicação (0,90).

4.7 Determinação Dos Atributos Biológicos

Durante a condução do experimento foram realizadas três coletas de solo na área experimental para a determinação dos atributos biológicos, sendo uma antes do preparo da área, a segunda antes da aplicação dos tratamentos, já a terceira, e última coleta, foi realizada na colheita dos frutos da berinjela.

Todas as amostras de solo foram coletadas na camada de 0-20 cm de profundidade, com o cuidado de coletar o na região mais próxima do sistema radicular da planta, principalmente durante a segunda e terceira coleta.



FIGURA 6: Amostras da primeira coleta de solo(A); coleta das amostras de solo durante a aplicação dos tratamentos (B). Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón do CCTA/UFCG, São Domingos, PB, 2022.

A primeira coleta foi realizada antes do preparo da área, no dia 19 de agosto de 2022, nessa ocasião foram coletadas duas amostras compostas pois a área selecionada para a instalação do experimento estava com uma das suas partes coberto por plantas espontâneas e, a outra metade, estava com solo exposto sem cobertura (Figura 6).

A segunda coleta foi feita no dia anterior a aplicação dos tratamentos, em 8 de novembro de 2022, nessa ocasião foram coletadas 8 amostras compostas, dentro da área de cada parcela (lâminas 50% e 100%) dos quatros blocos.

A última coleta foi realizada um dia antes da primeira coleta dos frutos, no dia 10 de dezembro de 2022, nessa última, foram coletadas 40 amostras compostas retiradas da área útil de cada subparcela, as coletas foram feitas mais próximas possíveis do sistema radicular das plantas, onde se encontra a rizosfera. Todas as amostras coletadas foram armazenadas em um freezer no laboratório de solos do CCTA/UFCG em Pombal-PB (Figura 7).



FIGURA 7: Terceira coleta de amostras de solo, nessa ocasião foram coletadas 40 amostras de solo no setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón do CCTA/UFCG, São Domingos, PB, 2022.

Em relação aos atributos biológicos que foram avaliados constam da respiração microbiana, carbono da biomassa e quociente metabólico.

A respiração microbiana do solo foi mensurada pela captura do C-CO_2 produzido no solo pelo NaOH em ambiente hermeticamente fechado (ALEF; NANNIPIERI, 1995). A respirometria objetiva medir a quantidade de C respirada pela microbiota em um determinado período, através da captura do C-CO_2, emitido na amostra de solo, em solução de NaOH (hidróxido de sódio) e sua dosagem por titulação com HCl (ácido clorídrico).

Inicialmente foram preparadas as soluções de NaOH 0,5 mol L^{-1}, solução de $BaCl_2$ (cloreto de bário) 0,05 mol L^{-1} e, uma solução de HCl (ácido clorídrico) 0,25 mol L^{-1}, e foi pesado 50 g de solo em cada recipiente de 50 mL.

Em seguida, o solo pesado, a solução de NaOH e água destilada, foram colocados nos recipientes de plástico, hermeticamente fechados e postos em armário para incubação a temperatura ambiente.

Decorrida 72 horas (3 dias), os recipientes foram abertos por 15 minutos (para ocorrer a troca de ar) e após isso pipetou-se 10 mL da solução de NaOH e 10 mL da solução de $BaCl_2$ 0,05 mol L-1 para Erlenmeyer de 125 mL. A titulação foi feita com HCl 0,25 mol L^{-1}, 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 8).

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 (Figura 9).

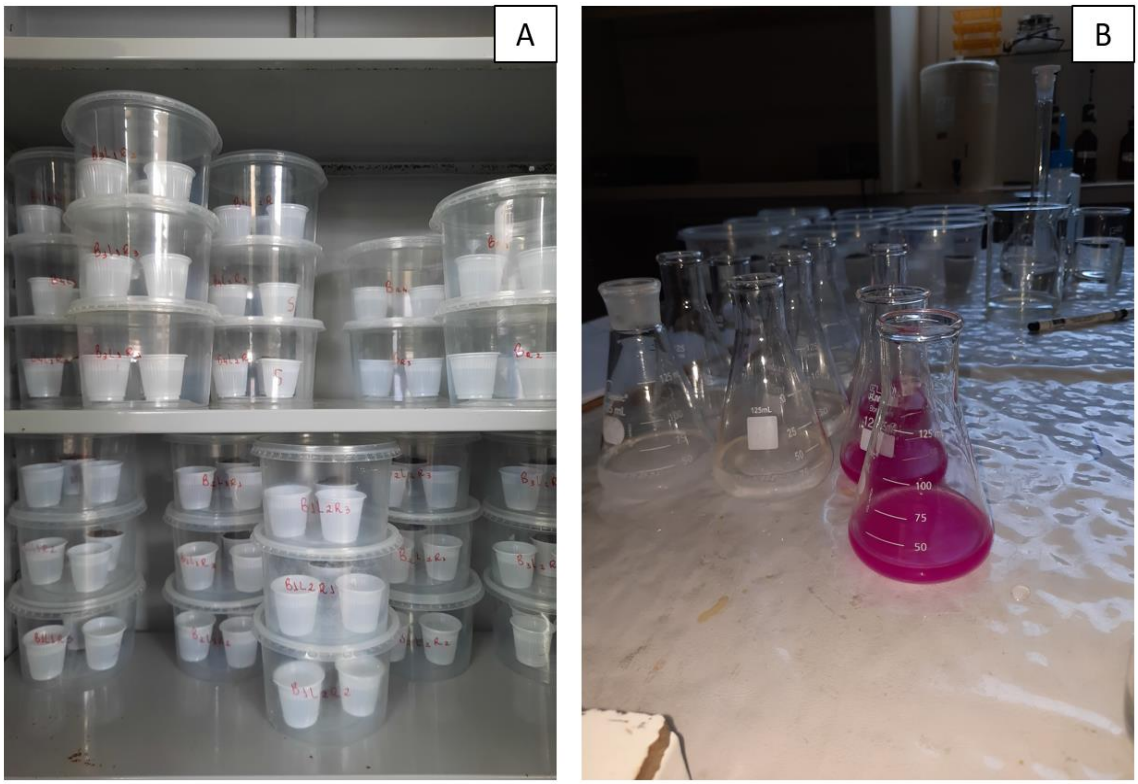

FIGURA 8: Recipientes plásticos com copos contendo o 50g de solo, 30mL de NaOH e 30 mL de água destilada (A), Erlenmeyer com solução na cor rosa devido ao indicador fenolftaleína, e o ponto de viragem solução transparente(B). análise executada no laboratório de solos do CCTA/UFCG, Pombal, PB, 2022.

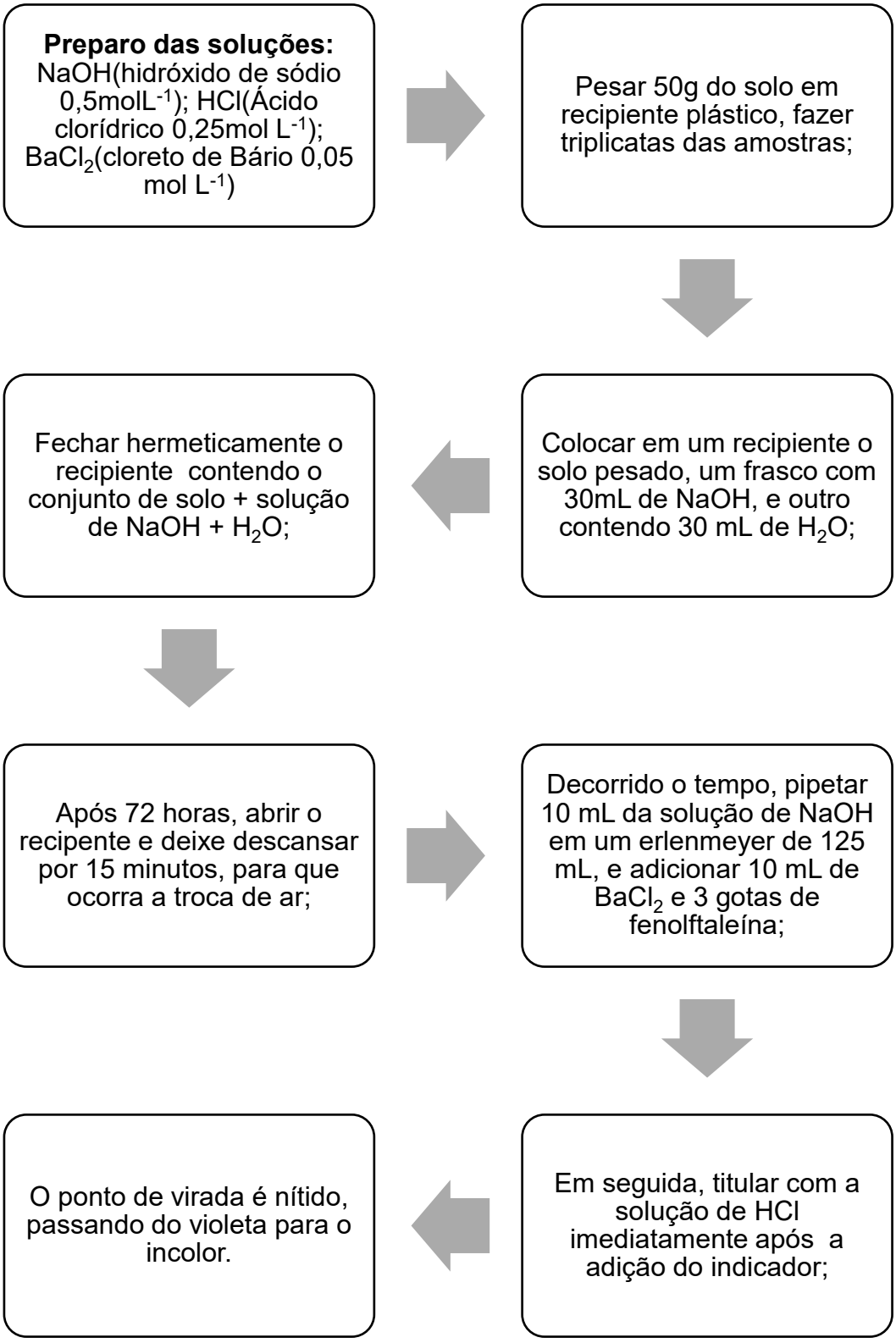

FIGURA 9: Fluxograma do passo a passo da análise de respiração microbiana do solo, executada no laboratório de solos da CCTA/UFCG, Pombal, PB.

O cálculo para obtenção dos valores de C-CO_2 foi feito de acordo com a equação:

$$C - CO_2(mg) = (B - V) * M * 6 * \left(\frac{v1}{v2}\right)$$

Em que:

C-CO_2 (mg)= Quantidade de carbono liberada do solo na forma de CO_2

B= volume do HCl no branco (mL);

V= volume de HCLlgasto na amostra (mL);

M= concentração real do HCl (mol L^{-1});

6= massa atômica do carbono (12) dividido pelo número de mols de CO_2 que reagem com o NaCl (2);

V1= volume total de NaOH usado na captura do CO_2 (mL); V2= volume de NaOH usado na titulação (mL).

O Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) foi determinado pelo método da irradiação-extração, o método apresenta como princípio básico a eliminação de microrganismos pela irradiação eletromagnética de forno de micro-ondas, antes da avaliação da quantidade de CO_2 liberada após incubação por três dias, à temperatura ambiente (BROOKES et al., 1982; ISLAM; WEIL, 1998; FERREIRA et al., 1999).

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:

$$P = \frac{Cp * K * \Delta T * m}{t}$$

Em que:

P= Potência real do aparelho em W;

Cp= 1 J ml^{-1} $°K^{-1}$, capacidade da água de receber calor;

K= 4,184, fator de correção de cal $ml^{-1}°K^{-1}$ para watts (J s^{-1});

∆T= Variação de temperatura de 1L de H_2O em 2 minutos de exposição em ºC;
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:

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

Em que:
t= tempo de exposição das amostras ao micro-ondas;
r= 800 J.g-1 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 foi preparado solução de K_2SO_4 (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 filtragem do sobrenadante em béquer utilizando papel de filtro quantitativo lento. Logo após foi preparada a solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) 0,066 mol L^{-1}, e a solução tituladora de sulfato ferroso amoniacal ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2\ 6H_2O$) 0,03 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 mol L^{-1}. O ponto de viragem é atingido quando a solução passa a ser de tom alaranjado (Figura 10).

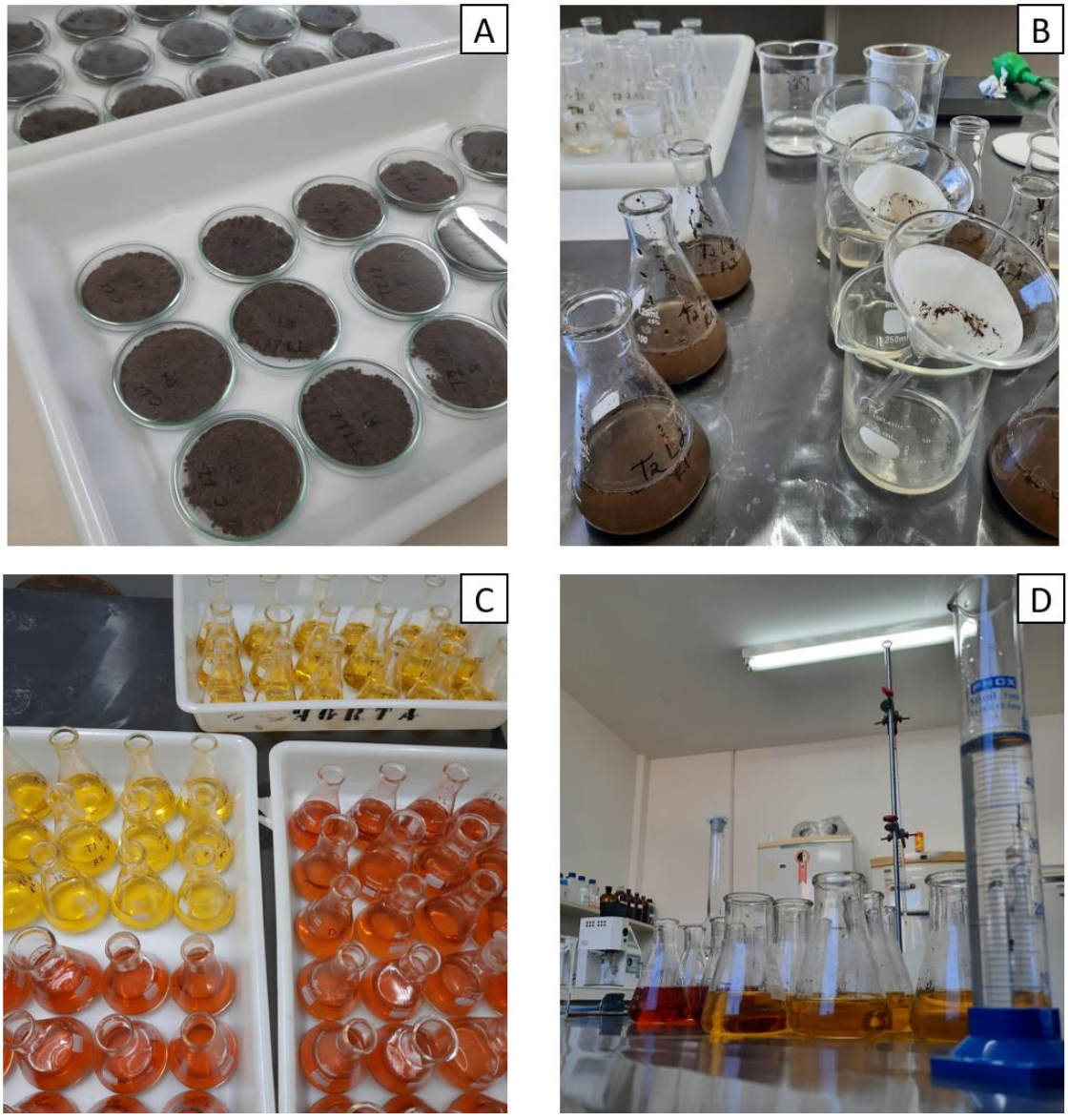

FIGURA 10: solo pesado em placas de Petris para serem irradiados (A), filtragem do sobrenadante em béquer utilizando papel de filtro quantitativo lento(B), Erlenmeyer com a solução de cor amarela ainda não titulada e, Erlenmeyer com a solução no ponto de viragem, na “cor de telha”, após a titulação com HCl (C e D). análise executada no laboratório de solos do CCTA/UFCG, Pombal, PB.

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

$$Cmic = \frac{C_I - C_{NI}}{Kc}$$

Em que:

Cmic= carbono da biomassa microbiana

Ci= amostra irradiada;

Cni = amostra não irradiada;

Kc= 0,33, para o método de irradiação extração de CBM.

O quociente metabólico (qCO_2) que foi calculado pela razão entre a taxa de respiração e o carbono de biomassa (ANDERSON; DOMSCH, 1989). representando a relação entre o dióxido de carbono evoluído e o total do CBM.

O cálculo para obtenção dos valores do quociente metabólico (qCO_2) foi feito de acordo com a equação:

$$qCO_2 = \left(\frac{C - CO_2}{Cmic}\right)$$

Em que:

qCO_2 = Quociente metabólico do solo

$C\text{-}CO_2$ = respiração microbiana;

Cmic = Carbono da Biomassa Microbiana.

4.8 Análises estatísticas

As variáveis foram avaliadas mediante análise de variância, pelo teste F (1 e 5% de probabilidade) e, nos casos em que houve efeito significativo, foi realizada análise de comparação de médias pelo teste Scott-knott, utilizando do *software* estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado da análise feita com o solo coletado antes do preparo da área, foi observada uma atividade microbiana maior na amostra 2 de solo em relação a amostra 1 do solo (Figura 11), em contrapartida foi observado o oposto para o carbono da biomassa microbiana, em que a maior quantidade de carbono da biomassa microbiana estava na amostra 1 de solo (Figura 12).

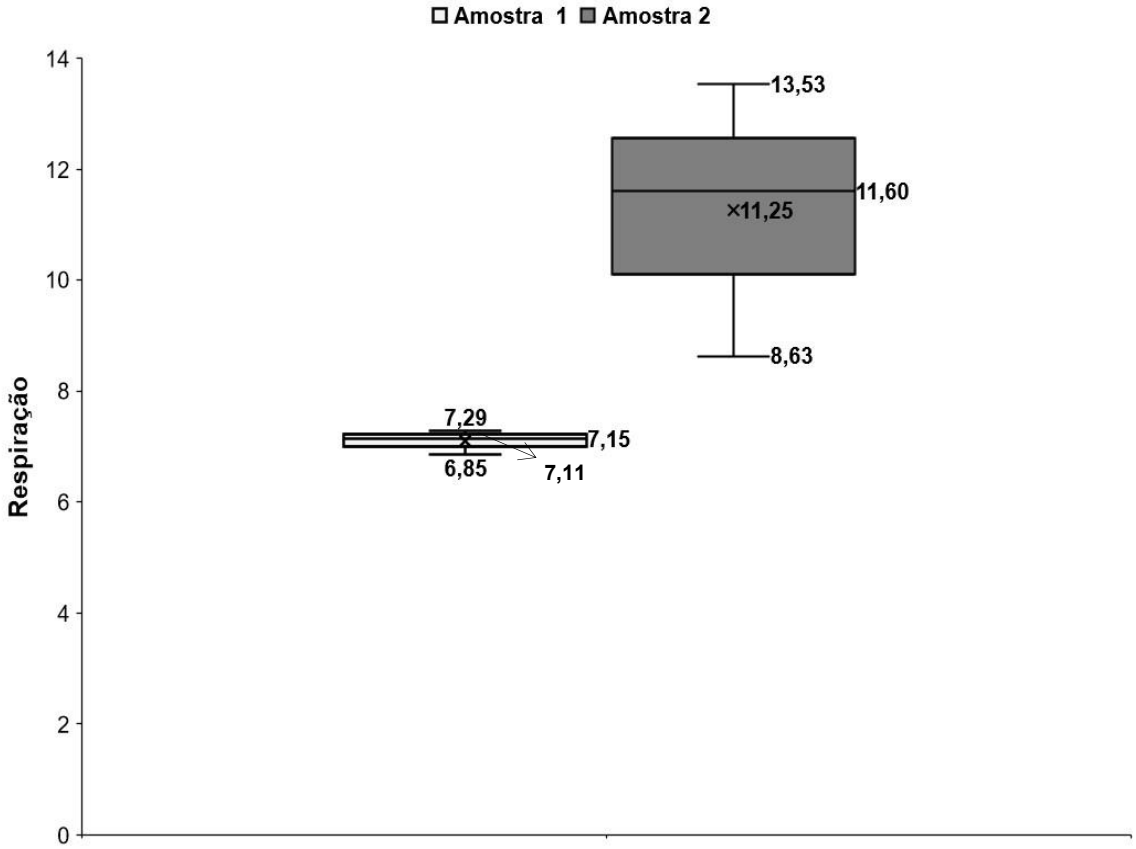

FIGURA 11: Respiração edáfica (mg C-CO_2.100 cm^3 solo) das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón do CCTA/UFCG, São Domingos, PB, realizada antes do preparo da área, dia 19 de agosto de 2022.

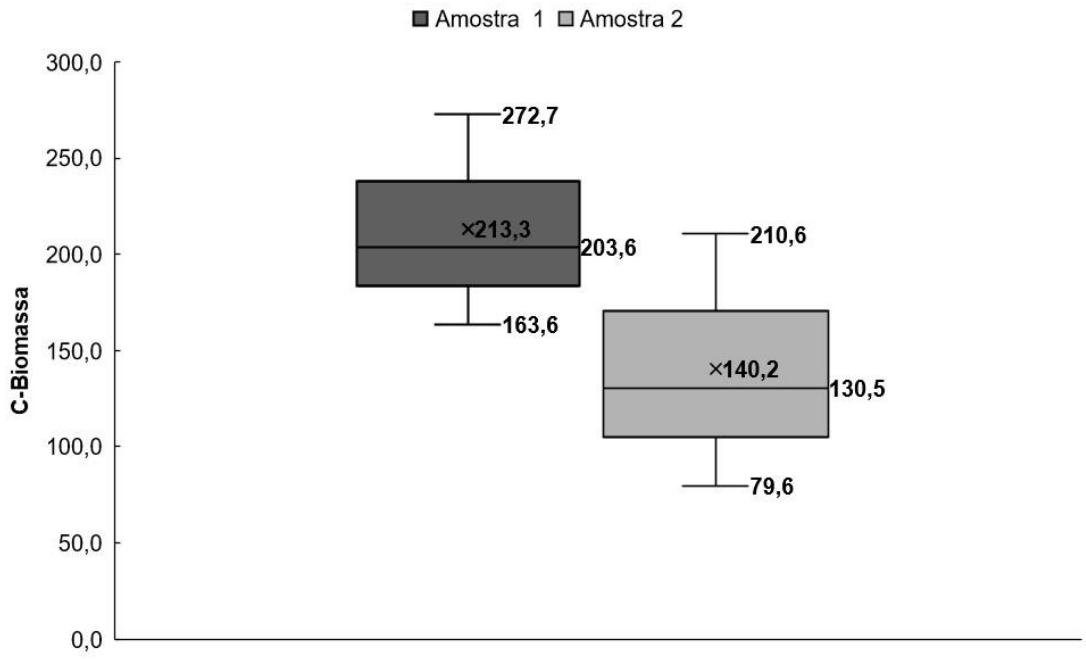

FIGURA 12: Carbono da Biomassa microbiana (µg g $^{-1}$ de C no solo) das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón dO CCTA/UFCG, São Domingos, PB, realizada antes do preparo da área, no dia 19 de agosto de 2022.

Vale ressaltar que a amostra 1 de solo corresponde a área em que continha a presença de plantas espontânea, já a amostra 2 de solo estava sem cobertura. Essa primeira coleta tinha como objetivo quantificar e atividade microbiana e a biomassa microbiana do solo antes do preparo da área experimental, verificando assim a respiração edáfica, o carbono da biomassa microbiana e o coeficiente metabólico dos microrganismos já presentes no local do experimento.

As existências de cobertura foi um fator determinante para o resultado do carbono da biomassa microbiana (CBM), já que na área onde foi realizada a coleta da amostra 2 de solo possuía uma menor densidade de plantas espontâneas, e por consequência uma menor disponibilidade de matéria orgânica, foi observado um menor quantitativo de Carbono da Biomassa microbiana quando comparado a amostra 1 de solo coletada na área onde uma maior presença de plantas (Figuras 11 e 12).

Segundo GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES (2008), de modo geral, quanto menor a taxa de respiração, mais eficiente será a microbiota na incorporação de carbono à biomassa. Isso foi comprovado pelos resultados

encontrados na amostra 1, em que a respiração edáfica estava menos ativa, já para os do carbono da biomassa microbiana da mesma amostra obteve-se valores elevados.

A relação da respiração por carbono metabolizado é expressa pelo coeficiente metabólico (qCO_2) comprovado pelos resultados encontrados (Figura 13), os mesmos autores afirmam que a biomassa microbiana é responsável pela decomposição e mineralização de resíduos vegetais e orgânicos, e utiliza esses materiais como fonte de energia e nutrientes para sua manutenção e multiplicação.

Então, como havia uma maior disponibilidade de matéria orgânica criou um ambiente favorável para um maior quantitativo de biomassa microbiana nessa área. A maior quantidade de resíduos na superfície do solo, além de aumentar a disponibilidade de substrato, determina condições de menor variação térmica e maior disponibilidade de água, favorecendo a biomassa microbiana do solo (BMS) (VARGAS; SCHOLLES, 2000).

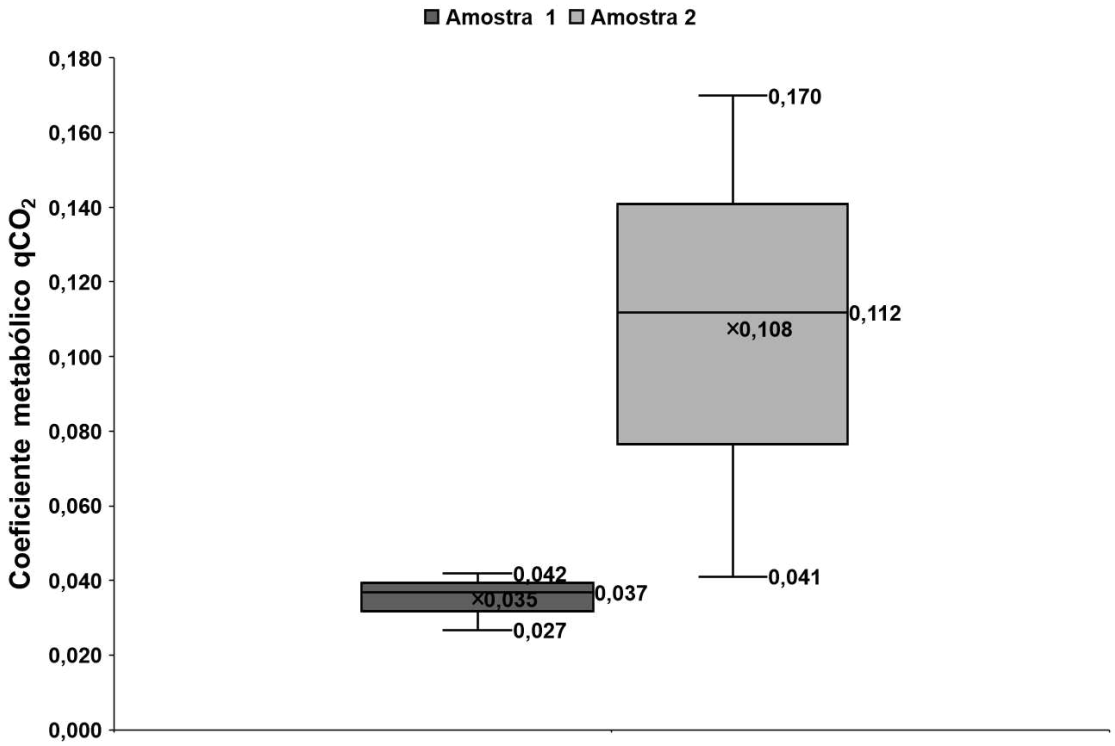

FIGURA 13: Coeficiente metabólico qCO_2 das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón do CCTA/UFCG, São Domingos, PB, realizada antes do preparo da área, no dia 19 de agosto de 2022

A segunda análise foi realizada com as amostras de solo coletadas durante o desenvolvimento da cultura com as plantas já em campo, mas sem ter iniciado os tratamentos com as lâminas, e sem ter aplicado o bioinoculante, a nanopartícula e o sulfato de zinco. Os resultados obtidos mostram uma elevação na respiração em toda a área (Figura 14).

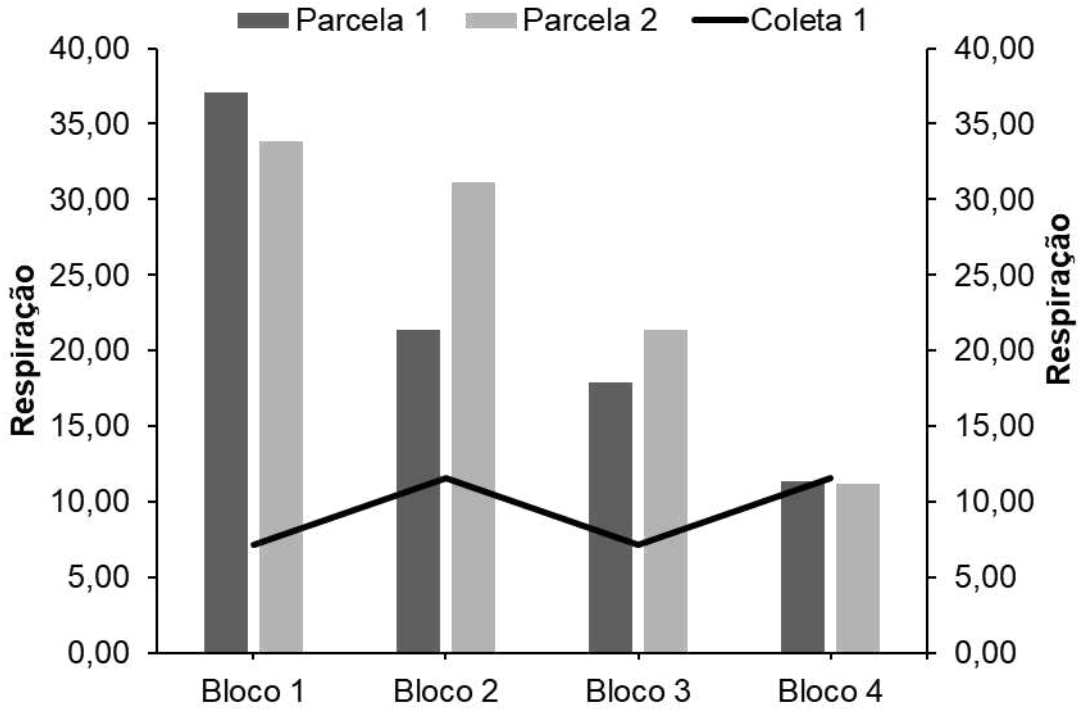

FIGURA 14: Respiração edáfica (mg C-CO_2.100 cm^3 solo) das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón do CCTA/UFCG, São Domingos, PB, realizada antes da aplicação dos tratamentos, no dia 8 de novembro de 2022 e da primeira coleta de solo, dia 19 de agosto de 2022. Parcela 1= correspondera a L100%, Parcela = correspondera a L50%, repetições = blocos 1, 2, 3 e 4.

De acordo com TÓTOLA e CHAER (2002) afirmam que ao revolver o solo durante a gradagem e aração, a matéria orgânica que estava protegida no solo fica exposta ao ambiente e ação da microbiota do solo, assim, a decomposição da matéria orgânica e intensificada aumentando assim a atividade microbiana.

Os blocos 1 e 3 estavam localizados na mesma área onde foi realizada a coleta da amostra 1, e é possível observar nesses dois blocos uma maior elevação da respiração edáfica quando comparados ao que foi registrado na análise feita com as amostras da primeira coleta.

Como na área da amostra 1 tinha uma maior população de plantas espontâneas durante a primeira coleta, ao fazer a incorporação dessa matéria durante o preparo da área os microrganismos presentes na área aumentaram sua taxa respiratória devido a condição adversa atual.

Já os blocos 2 e 4 estavam localizados na área onde foi coleta a amostra 2, com menor concentração de plantas e matéria orgânica. Isso foi determinante para que fosse observado uma menor elevação da respiração edáfica.

Os valores encontrados para a carbono da biomassa microbiana (C-Biomassa) mostrou uma redução quando foram comparados a análise feita com as amostras da primeira coleta de solo (Figura 15).

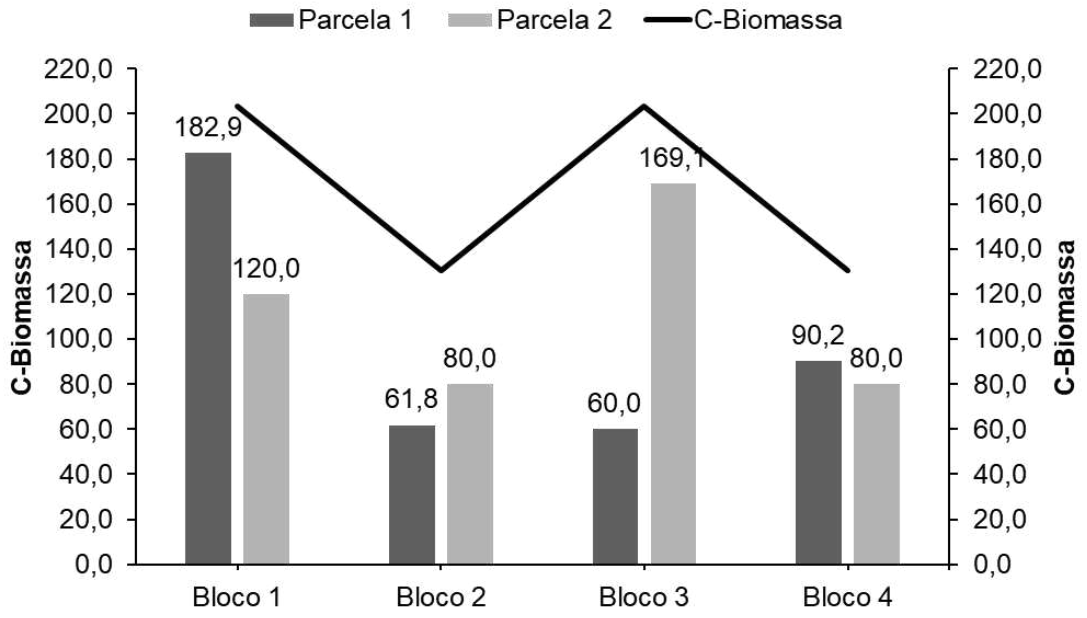

FIGURA 15: Carbono da Biomassa microbiana (µg g $^{-1}$ de C no solo) das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón da CCTA/UFCG, São Domingos, PB, realizada antes da aplicação dos tratamentos, no dia 8 de novembro de 2022 e da primeira coleta de solo, dia 19 de agosto de 2022. Parcela 1= correspondera a L100%, Parcela = correspondera a L50%, repetições = blocos 1, 2, 3 e 4.

De acordo com BLAGODATSKAYA e KUZYAKOV (2008), o carbono contido na biomassa microbiana consiste em energia armazenada para futuros processos microbianos. Os resultados obtidos nas análises comprovam essa afirmação, uma vez que, na análise realizada com as amostras da primeira coleta os valores encontrados para o carbono da biomassa microbiana estavam

superiores aos obtidos na análise feita com as amostras da segunda coleta, onde a área já estava preparada e com as plantas de berinjela em campo.

Com o revolvimento do solo, os microrganismos presentes na área tiveram que gastar suas reservas de carbono para executar processos metabólicos, afetando assim também a respiração basal, como foi visto na figura 14.

O coeficiente metabólico qCO_2 obtido pela relação da respiração com biomassa microbiana teve um leve aumento nos seus valores se comparados ao obtidos na análise da primeira coleta (Figura 16). Segundo SILVA et al. (2007) A substituição da vegetação acelera a decomposição dos resíduos vegetais e, assim, o valor do quociente metabólico aumenta. Dito isso, fica claro que a alteração no qCO_2 foi em virtude do preparo da área que influenciou tanto na respiração quanto no carbono da biomassa microbiana.

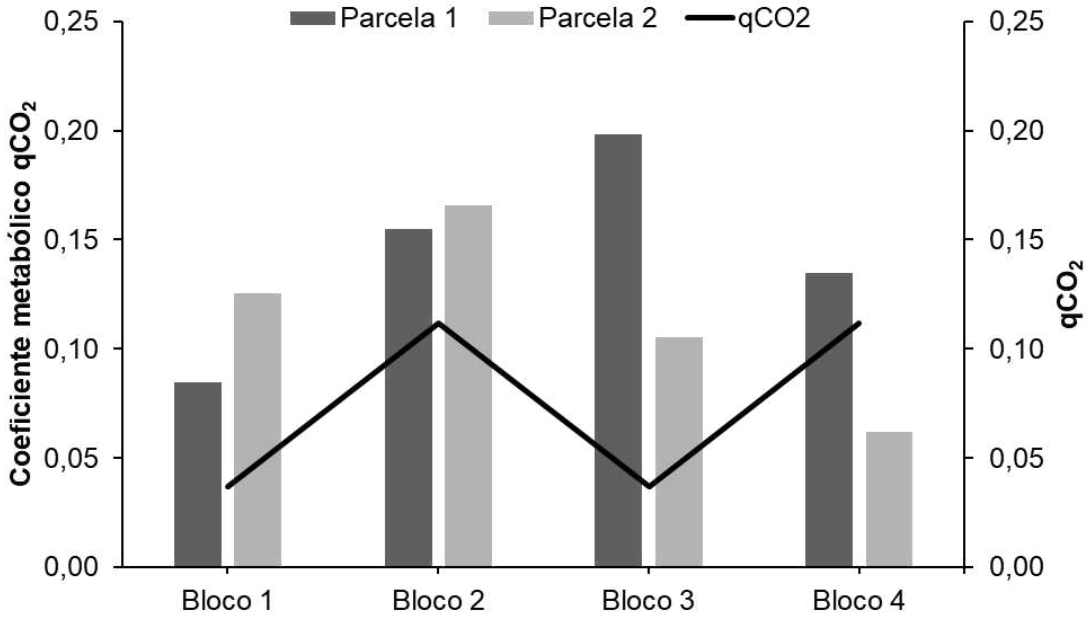

FIGURA 16: Coeficiente metabólico qCO_2 das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón da CCTA/UFCG, São Domingos, PB, realizada antes da aplicação dos tratamentos e das lâminas, no dia 8 de novembro de 2022 e da primeira coleta de solo, dia 19 de agosto de 2022. Parcela 1= correspondera a L100%, Parcela = correspondera a L50%, repetições = blocos 1, 2, 3 e 4.

Os resultados obtidos nas análises realizadas com as amostras de solo coletadas na colheita dos frutos da berinjela podem ser observados na tabela 2.

O resumo da análise de variância mostra que houve diferença significativa na respiração edáfica para os tratamentos, já para o carbono da biomassa microbiana e o quociente metabólico houve diferença significativa na interação entre os tratamentos e as lâminas de irrigação usadas.

TABELA 2: Resumos das análises de variância para as variáveis, respiração microbiana do solo, carbono da biomassa e quociente metabólico.

Fonte de Variação	**Graus de Liberdade**	**Quadrados Médios**		
		Respiração	Carbono da biomassa	qCO_2
Lâmina (L)	1	1.327935^{ns}	64.328615*	0.000007^{ns}
Blocos	3	0.592228 ^{ns}	4.393700^{ns}	0.000269*
Erro(a)	3	0.329753	5.960063	0.000028
Parcelas				
Tratamentos(T)	4	0.185649*	14.501288*	0.000226*
Interação LxT	4	0.030851 ^{ns}	30.524988*	0.000220*
Erro (b)	24	0.036535	0.895306	0.000022
C.V%(a)		20.87	15.84	0.73
C.V%(b)		6.95	6.14	0.65

ns, * respectivamente não significativo, significativo a ($p < 0,05$) de probabilidade pelo teste F.

A diferença significativa observada na respiração edáfica para os tratamentos, nos mostrou que o controle (C) e o T3 (Nanopartícula de zinco + Bioinoculante) foram superiores aos T1(Nanopartícula de zinco), T2(sulfato de Zn) e T4(sulfato de Zn + bioinoculante), (Figura 17).

O tratamento com nanopartícula de zinco e o bioinoculante obtiveram resultados similares as do tratamento controle (T3 e C, respectivamente), mesmo os tratamentos submetidos a déficit hídrico com a ETc de 50%, mostrando que o uso das nanopartículas associados com as bactérias promotoras de crescimento vegetal proporcionam estímulo à atividade microbiana similar a um ambiente de cultivo convencional, representado no experimento pelo tratamento controle.

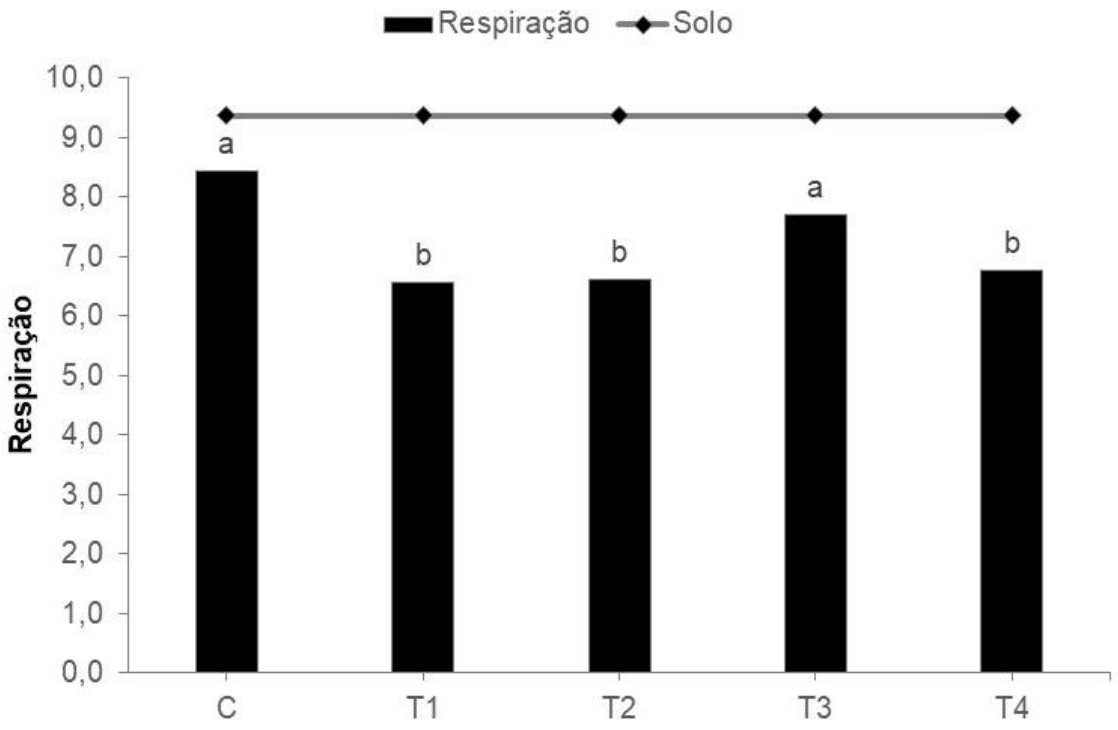

FIGURA 17: Respiração edáfica (mg C-CO_2.100 cm^3 solo) das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón da CCTA/UFCG, São Domingos, PB 2023. Onde (C = controle, T1 = nanopartícula de Zn via foliar, T2 = sulfato de Zn (foliar), T3 = nanopartícula de Zn (foliar) + Bioinoculante via solo, T4 = sulfato de Zn (solo)+ Bioinoculante via solo), solo= média encontrada na análise anterior.

Em trabalho semelhante desenvolvido por NOGUEIRA (2022), onde os tratamentos em que continha o bioinoculante resultaram em uma respiração edáfica equivalente à do tratamento controle, e superior aos demais tratamentos usados na pesquisa. No entanto, SANTOS et al. (2021) quando avaliou a respiração edáfica dos sistemas de uso de solo em áreas produtoras da fazenda experimental do CCTA/UFCG no município de São Domingos, encontrou valores maiores.

Quando comparamos os resultados obtidos aos dos tratamentos da análise anterior, podemos observar que os valores encontrados nessa terceira são menores quando confrontados aos resultados observados na segunda análise. A disponibilidade de nutrientes para as plantas tende a ser maior em condições de alta respiração edáfica, em função da decomposição e mineralização da matéria orgânica do solo (SEVERINO et al., 2004; SILVA et al., 2010).

Contudo, segundo PARKIN e colaboradores (1996), a interpretação dos resultados da respiração edáfica deve ser feita com prudência, uma vez que elevados valores de respiração nem sempre indicam condições desejáveis, podendo a curto prazo significar liberação de nutrientes para as plantas e, a longo prazo, perda de C orgânico do solo para a atmosfera.

No atributo carbono da biomassa microbiana (CBM), observou que houve diferença significativa na interação entre os tratamentos e lâminas de irrigação, em que os maiores resultados, para a lâmina que correspondeu a 100% da ETc, ocorreu no tratamento com sulfato de Zn aplicado ao solo juntamente bioinoculante (T4), já os menores valores foram observados nos tratamentos com sulfato de zinco via foliar (T2), e no tratamento controle (C). Tal fato indica, que a combinação do bioinoculante com o sulfato de zinco proporcionou um aumento na comunidade microbiana da rizosfera da berinjela.

Para a lâmina de 50% da ETc, os tratamentos sem bioinoculante (C, T1 eT2,) foram superiores aos demais tratamentos. Sendo que para a ETc de 50% o tratamento que possuía os microrganismos atenuantes do estresse hídrico associados com a nanopartícula, e com o sulfato de zinco (T3 e T4 respectivamente), em que se esperava obter os melhores resultados, não foi observada essa resposta por essas combinações de tratamentos (Figura 18). Isso pode indicar que a berinjela estimulou a microbiota já existente no solo, nos tratamentos com 50% da ETc.

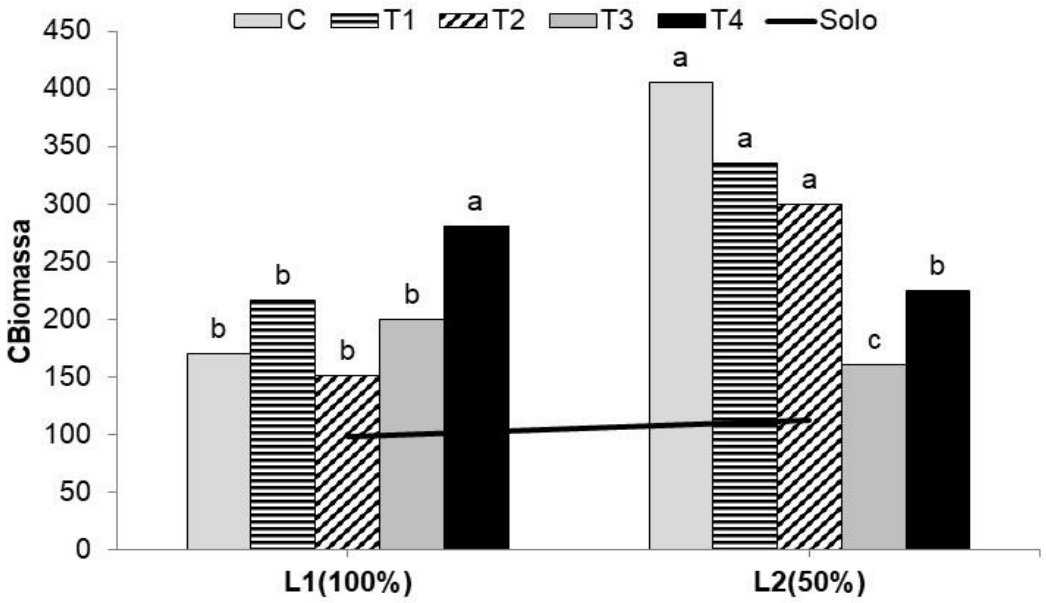

FIGURA 18: Carbono da Biomassa microbiana (µg g $^{-1}$ de C no solo) das amostras de solo do experimento de berinjela no Setor de olericultura da Fazenda Experimental Rolando Henrique Rivas Castellón da CCTA/UFCG, São Domingos, PB 2023. Onde (C = controle, T1 = nanopartícula de Zn via foliar, T2 = sulfato de Zn (foliar), T3 = nanopartícula de Zn (foliar) + Bioinoculante via solo, T4 = sulfato de Zn (solo)+ Bioinoculante via solo), L1 (100%) da ETc e, L2 (50%) da ETc, solo= média encontrada na análise anterior.

A adição de fertilizante mineral ao solo pode resultar na alteração dos índices dos bioindicadores, evidenciando o efeito da fertilização sobre as comunidades microbianas (TEJADA et al., 2002). Neste sentido, como nos tratamentos T3 e T4 em que foram aplicados a combinação de nanopartícula de zinco e o sulfato de zinco com o bioinoculante, esses fertilizantes podem ter influenciado de modo adverso as bactérias promotoras de crescimento de plantas inoculadas no solo.

Estudos comprovam que podem ocorrer diferença no teor de carbono da biomassa microbiana presente em diferentes épocas de amostragem, devido as ciclo da cultura, adição de material vegetal, e variação da umidade e da temperatura (BALOTA et al., 1998; FRANCHINIet al., 2007). Tal fato foi verificado ao comparar os resultados da terceira coleta com os da segunda, e observando que houve um aumento no carbono da biomassa microbiana presente na rizosfera.

O quociente metabólico (qCO_2) que representa o quão eficiente foi a conversão do C orgânico para o ecossistema, diferiram entre as amostras de solo da rizosfera de berinjela cultivada sob duas lâminas de irrigação (50% da ETc (L1) e 100% da ETc (L2)), o controle e tratamentos referentes a produtos atenuantes do estresse hídrico (Figura 19).

Para a lâmina de 100% da ETc o maior valor encontrado foi o do tratamento controle (C), quanto que o tratamento T3 obteve um resultado diferente do controle, mas superior aos dos tratamentos T1, T2 e T4. já na lâmina de 50% da Etc o tratamento que se destacou foi o T3 com nanopartícula de zinco via foliar e bioinoculante, diferindo do T4 e, esses dois sendo superiores as C, T1 e T2.

Segundo Sakamoto e Obo, (1994) indica que em geral, valores elevados do coeficiente metabólico são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou de desequilíbrio ambiental, já um baixo quociente metabólico indica economia na utilização de energia e supostamente reflete um ambiente mais estável ou mais próximo do seu estado de equilíbrio.

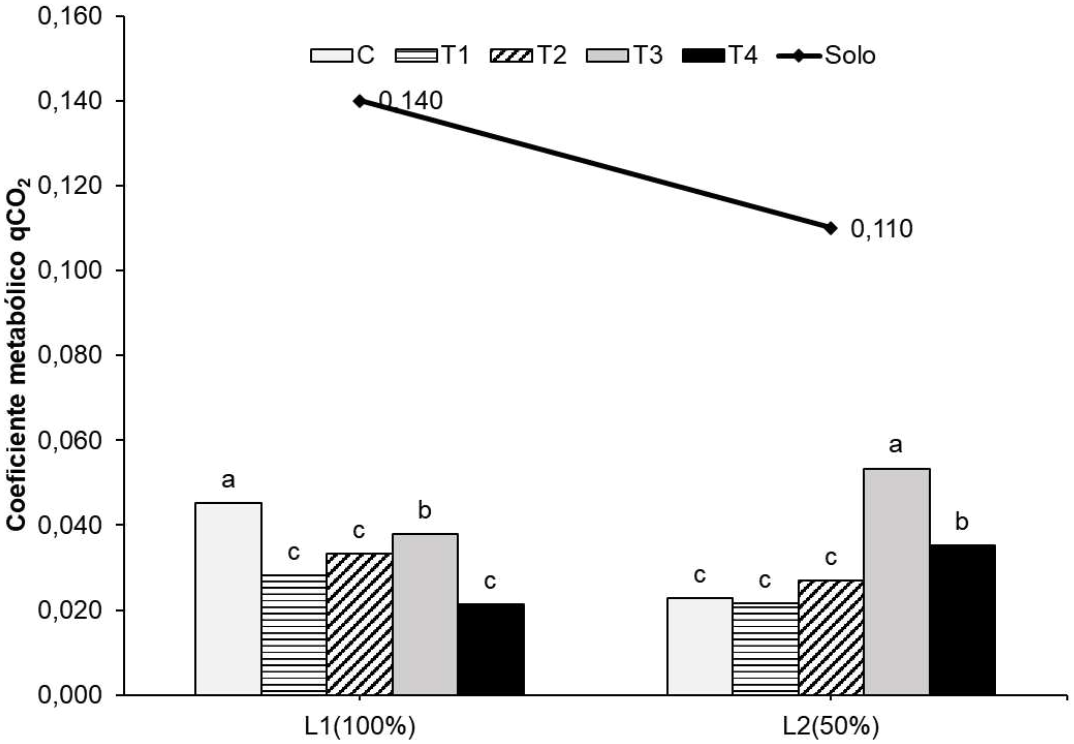

FIGURA 19: Coeficiente metabólico qCO_2 das amostras de solo do experimento de berinjela, Onde (C = controle, T1 = NPZnO via foliar, T2 = sulfato de Zn (foliar), T3 = NPZnO (foliar) + Bio via solo, T4 = sulfato de Zn (solo) + Bio via solo), L1 (100%) da ETc e, L2 (50%) da ETc, solo= média encontrada na análise anterior.

ISLABÃO et al. (2008) indica que os altos teores de qCO_2 refletem numa alta demanda de energia da comunidade para se manter, e que em determinadas situações, a água de irrigação é um dos fatores que pode diminuir significativamente a liberação de CO_2 e que ao longo do tempo a não irrigação das áreas permite o estabelecimento de um ambiente mais estável para a microbiota do solo, representada pela diminuição do qCO_2.

Isso possivelmente foi o que ocorreu com os tratamentos na lâmina de 50%, em que os tratamentos C, T1 e T2, estão em um certo ponto de estabilidade, provocados pelo déficit hídrico da lâmina de irrigação, tendo ali um ambiente com condições adversas para a microbiota já existente nesse solo. Já nos tratamentos em que foram aplicados o bioinoculante (T3 e T4) mostram um maior teor de qCO_2, no entanto, menor do que no solo antes da aplicação dos tratamentos; deixando evidente a resposta de alteração desse bioindicador em situações de estresse por condições abióticas.

CONCLUSÃO

A berinjela cultivada com a nanopartícula e o bioinoculante estimularam a respiração do solo tanto em situações em que não houve déficit hídrico quanto na ocorrência desse estresse.

O carbono da biomassa microbiana, na parcela onde houve déficit hídrico, a microbiota já existente no solo foi favorecida, enquanto os tratamentos com o bioinoculante, em que que foram introduzidas as bactérias promotoras de crescimento, não estimularam esse bioindicador.

O quociente metabólico comportou-se de modo diverso dentro das lâminas. Na lâmina de 100% de ETc os tratamentos com nanopartículas, zinco foliar e bioinoculante não se destacaram. No entanto, na lâmina de 50% da ETc os tratamentos que combinaram nanopartícula e bioinoculante (T3), e o que usou sulfato de zinco e o bioinoculante (T4) tiveram uma maior evidência.

Houve alteração nos bioindicadores da rizosfera da berinjela cultivada com nanopartículas de zinco, bioinoculante e déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

AGRITEMPO. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico: Estações meteorológicas para o estado de PB. Disponível em https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estacao/index.jsp?siglaUF=PB. Acesso em: 15/12/2019.

AHMADIAN, K. Nano-fertilizers improved drought tolerance in wheat under deficit irrigation**. Agricultural Water Management***,* v. 244, p. 106544, 2021.

AKHTAR, S.S. et al. *Bacillus licheniformis* FMCH001 increases water use efficiency via growth stimulation in both normal and drought conditions. **Frontiers in Plant Science,** v. 11, n. 297, 2020. doi: 10.3389/fpls.2020.00297

ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds) Methods in applied soil microbiology and biochemistry. **Academic Press**, 1995.576 p.

ALLEN, R. G. et al. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.** Roma: FAO, 2006, 298p. (FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Ratio of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 21, n. 4, p. 471-479, 1993.

ANDRADE, G.; NOGUEIRA, M. A. (2005). Bioindicadores para uma análise de risco ambiental. Biotecnologia Ciências e Desenvolvimento., 34: p,11-19.

ANDRADE, J. S. **Metodologias para análise da qualidade biológica do solo.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em zootecnia), Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2021.

ARAÚJO, Moisés Bittar de et al. Respiração edáfica em diferentes sistemas de uso e manejo do solo em um Brejo de Altitude no Agreste Paraibano. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, v. 59, n. 3, p. 1081-1096, set. 2022. ISSN 2447-9187. Disponível em: <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/5504>. Acesso em: 29 Mar. 2024.

BAKKER, P. A.; BERENDSEN, R. L.; DOORNBOS, R. F.; WINTERMANS, P. C.; PIETERSE, C. M. (2013). The rhizosphere revisited: root microbiomics. **Frontiers in plant science**, 4, 165.

BALDO, M. N. **Comportamento Anatômico, Fisiológico e Agronômico do Milho (*Zea mays* L.) Submetido a Estresses de Ambiente em Diferentes Estádios Fenológicos**. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ. Piracicaba, SP. 92 p. 2007.

BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, A.; ANDRADE, D.S. & HUNGRIA, M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **R. Bras. Ci. Solo**, 22:641-649, 1998.

BATISTA, E. R.; ZANCHI, C. S.; FERREIRA, D. A.; SANTIAGO, F. L. de A.; PINTO, F. A.; SANTOS, J. V. dos; PAULINO, H. B.; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos do solo em sistema integrado de produção agropecuária. In: SOUZA, E. D. de et al (Org.). **Sistemas Integrados de produção agropecuária no Brasil.** Tubarão: Copiart, 2018. v. 1, p. 71-90.

BERENDSEN, R. L.; PIETERSE, C. M.; BAKKER, P. A. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. **Trends in plant science**, 17 (8), 478-486.

BLAGODATSKAYA, E.; KUZYAKOV, Y. Mechanisms of real and apparent priming effects and their dependence on soil microbial biomass and community structure: critical review. **Biology Fertility of Soils**, v. 45, p. 115-131, 2008.

BRAINER, Maria Simone de Castro Pereira. **Produção de hortaliças na área de atuação do BNB**: caderno setorial etene. Caderno Setorial ETENE. 2021. Ano 6, n.180. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/902. Acesso em: 08 fev. 2024.

BRAVIN, Núbia Pinto; PERONI DOS SANTOS, Weverton; CONCEIÇÃO DO CARMO, Marina; BASTOS MACHADO , Caio; GOMES SANTOS , Marta Raiara; GOMES DE SIQUEIRA , Marcos; MACHADO DIAS , Jairo Rafael. Manejo da adubação potássica na cultura da berinjela cultivada na Amazônia Ocidental. **MAGISTRA**, *[S. l.]*, v. 31, p. 594–600, 2020. Disponível em: https://periodicos.ufrb.edu.br/index.php/magistra/article/view/4343. Acesso em: 5 mar. 2024.

BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S. & JENKINSON, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. **Soil Biol. Biochem**, 14:319-329, 1982

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. Microbiologia do solo. 2a ed. Piracicaba: **ESALQ**, 2ª Edição, 2016. 221p.

CAVALCANTE, F.J.A. et al. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco.** 2a. aproximação. Recife: Instituto Agronômico de Pernambuco - IPA, 2008.

CARVALHO, J. DE A.; SANTANA, M. J. DE.; PEREIRA, G. M.; PEREIRA J R. D.; QUEIROZ, T. M. DE. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura da berinjela. (*Solanum melongena* L.) **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.320-327, maio/ago. 2004.

CHANDRA, D. et al. Drought-tolerant *Pseudomonas spp*. improve the growth performance of finger millet (*Eleusine coracana* (L.) gaertn.) under non-stressed and drought-stressed conditions. **Pedosphere,** v.28, n.2, p. 227–240, 2018.

CHAVIRA, G. M. M. et al. Controlled water deficit as abiotic stress factor for enhancing the phytochemical content and adding-value of crops. **Scientia Horticulturae**, v. 234, p. 354 – 360. 2018. doi:10.1016/j.scienta.2018.02.049.

CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by sprinkling. Berkeley: Agricutural Expeiment Station, 1942. 124p.

DAMASCENO, L.F.; COVA, A.M.W.; GHEYI, H.; ALMEIDA, W.F.; DIAS, J.A.L.; RIBEIRO, S.V. Production and water consumption of eggplant under salt stress and continuous drip and pulse drip irrigation. **Revista Caatinga**, v. 35, n. 2, p. 450 – 459, 2022.

EGAMBERDIYEVA, D. (2005) Plant growth promoting rhizobacteria isolated from a Calcisol in a semi-arid region of Uzbekistan: biochemical characterization and effectiveness. **J Plant Nutrit Soil Sci** 168:94–99

EHRENFELD, J. G.; RAVIT, B.; ELGERSMA, K. (2005). Feedback in the plant-soil system. Annual Review of Environment and Resources., 30: p.75-115.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Cultivo da berinjela (Solanum melongena L.).** Brasília, 1998. 23 p. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/106015/1/ITec-15.pdf. Acesso em: 03 mar. 2024.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Microrganismos das plantas auxiliam o vegetal e podem ser fontes de antibióticos**. 2016. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/10456334/microrganismos-das-plantas-auxiliam-o-vegetal-e-podem-ser-fontes-de-antibioticos#:~:text=Os%20cientistas%20explicaram%20que%20os,agentes%2. Acesso em: 26 fev. 2024

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 991- 996, 1999.

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

FERREIRA, E. P. B; STONE, L. F; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Rev. Ciênc. Agron.**, v.48, p.22-31, 2017.

FIDELIS, R. R.; ALEXANDRINO, C. M. dos S.; SILVA, D. B. da; SUGAI, M. A. A.; SILVA, R. R. da. 2016. Indicadores biológicos de qualidade do solo em culturas intercalares ao pinhão manso. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, 9, 87-95.

FILGUEIRA, F. A. R. (2013). Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças (3. ed. rev. e ampl., 421p). Viçosa, MG: UFV.

FLORES, C. et al. Salinity and water deficit. **The Genus Citrus**, p. 291- 309. 2020. https://doi.org/10.1016 / b978-0-12-812163-4.00014-0.

FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E. & HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various tillage and crop-rotation systems in Southern Brazil. **Soil Till**. Res., 92:18-29, 2007.

GAMA-RODRIGUES, R.E.; GAMA-RODRIGUES, C.A. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In:SANTOS, G.A. et al. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2.ed. rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.159-182.

GHOLINEZHAD, E. Effect of Drought Stress and Fe Nanofertilizer on Seed Yield, Morphological Traits, Essential Oil Percentage and Yield of Dill (*Anethumgraveolens* L.), **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v.20, n.4, p.1006-1017, 2017. doi:10.1080/0972060X.2017.1362999

HOFFMANN, R. B.; MOREIRA, Évellyn E. A.; HOFFMANN, G. S. da S.; ARAÚJO, N. S. F. de. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, *[S. l.]*, v. 1, n. 1, p. 168–178, 2018. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/738. Acesso em: 30 abr. 2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de Berinjela**. Censo Agropecuário 2017. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/berinjela/br. Acesso em: 03 mar. 2024.

ISLABÃO, Gláucia Oliveira et al. Carbono da biomassa e atividade microbiana em solos cultivados com morango no município de Turuçu/RS. In: **Anais do XVII CIC e X ENPOSCongresso de Iniciação Científica e Encontro de Pós-graduação**. Pelotas: UFPel, 2008.

ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v 27:408-416, 1998.

JANGID, K. et al. Relative impacts of land-use, management intensity and fertilization upon soil microbial community structure in agricultural systems. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40, n. 11, p. 2843-2853, 2008.

JESEN, M.E. **Water consumption by agriculture plants**. In: KOZLOWSKI, T.T. et al. vol.1. Water deficit rowth. New York, Academic Press, 1968. p.1-19.

KUMARI, R.; SINGH, D.P. Nano-biofertilizer: An Emerging Eco-friendly Approach for Sustainable Agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences,** v.90, n.4, p.733–741, 2020. doi:10.1007/s40011-019-01133-6

LIM, J-H & KIM, S-D. Induction of drought stress resistance by multi-functional PGPR *Bacillus licheniformis* K11 in pepper. **The Plant Pathology Journal**, v. 29, n.2, p. 201-208, 2013. http://dx.doi.org/10.5423/PPJ.SI.02.2013.0021

LIMA, B.C. *Bacillus subtilis* ameliorates water stress tolerance in maize and common bean. Journal of Plant Interactions, v.14, p. 432–439, 2019.

LIN, Y. et al. Influence of plant growth promoting rhizobacteria on corn growth under different fertility sources. **Communications in Soil Science and Plant Analysis,** v.49, p.1239–1255, 2018.

LOOSE, L. H. et al.. Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura da berinjela cultivada em estufa plástica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 250–257, mar. 2014.

LUO, Y. et al. *Sphingomonas sp*. Cra20 increases plant growth rate and alters rhizosphere microbial community structure of *Arabidopsis thaliana* under drought stress. **Frontiers in Microbiololgy, v.** 10, 1221, 2019. doi: 10.3389/fmicb.2019.01221

MARDALIPOUR, M.; ZAHEDI, H.; SARGHI, Y. Evaluation of Nano biofertilizer efficiency on Agronomic traits of spring wheat at different sowing date **Biological Forum – An International Journal**, v. 6, n.2, p. 349-356, 2014.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil - past, present and future. **Theoretical and Applied Climatology**. 20: 1-12, 2016.

MATOS, C.C. et al. Competitive capacity and rhizosphere mineralization of organic matter during soil-herb microbiota interactions. **Planta Daninha**, v.37, 2019. doi:10.1590/s0100-83582019370100007.

MELO, I. S. de. Ecologia da rizosfera e filosfera. Agência de Informação Embrapa Agricultura e Meio Ambiente. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia23/AG01/arvore/AG01_22_299200692526.html. Acesso em: 26 de maio de 2022.

MENDES, R.; GARBEVA, P.; RAAIJMAKERS, J. M. (2013). The rhizosphere microbiome: significance of plant beneficial, plant pathogenic, and human pathogenic microorganisms. **FEMS microbiology reviews**, 37 (5), 634-663.

MONTEIRO J.G. et al. Crescimento e conteúdo de prolina em plântulas de guandu submetidas a estresse osmótico e à putrescina exógena. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, p.18-25. 2014.

MOSA, W.F.A. et al. Productivity performance of peach trees, insecticidal and antibacterial bioactivities of leaf extracts as affected by nanofertilizers foliar application. **Scientific Reports,** v.11, p.10205, 2021.doi:10.1038/s41598-021-89885-y

NOGUEIRA, Antonio Elizeneudo Peixoto. **BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM CULTIVO DE MILHO SOB DÉFICIT HÍDRICO E BIOINOCULANTES**. 2022. 42 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2022. Disponível em: http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/27108. Acesso em: 30 abr. 2024.

OJUEDERIE, O.B.; OLANREWAJU, O.S.; BABALOLA, O.O. Plant growth promoting rhizobacterial mitigation of drought stress in crop plants: Implications for sustainable agriculture. ***Agronomy,*** v.*9,* 712, 2019. doi:10.3390/agronomy9110712

OLIVEIRA FILHO, L. C. I; BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P. 2014. Influência dos processos de recuperação do solo após mineração de carvão sobre a mesofauna edáfica em Lauro Müller, Santa Catarina, Brasil. **Revista Biotemas** 27, 69-77.

PARKIN, T.B.; Doran, J.W. & Francop-Vizcaino, E. (1996) – Field and laboratory tests of soil respiration. In: Doran, J.W. & Jones, A. (Eds) – Method for assessing soil quality. Madison, **Soil Science Society of America**, p. 231-245.

RAMAKRISHNA, W. et al. Brown gold of marginal soil: Plant growth promoting bacteria to overcome plant abiotic stress for agriculture, biofuels and carbon sequestration. **Science of The Total Environment**, 2019. doi:10.1016 / j.scitotenv.2019.135062.

RIBEIRO, C. S. C. Berinjela (*Solanum melongena* L.). Embrapa Hortaliças, Sistemas de Produção, 3, Versão Eletrônica Nov/2007 22 Fev. 2012.

SAKAMOTO, K.; OBO, Y. Effects of fungal to bacterial ratio on the relationship between CO2 evolution and total soil microbial biomass. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 17, p. 39-44, 1994.

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 de 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 Acesso em: 30 abril 2024.

SANZARI, I.; LEONE, A. AMBROSONE, A. Nanotechnology in Plant Science: To Make a Long Story Short. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology.** v.7, 120, 2019.. doi: 10.3389/fbioe.2019.0012

SELEIMAN, M.F. et al. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its diverse effects. **Plants,** 2021, v.10, 259, 2020. doi: 10.3390/plants1002025

SEVERINO, L. S.; COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. M.; LUCENA, M. A. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 1, 2004.

SILVA, D. M.; ANTONIOLLI, Z. I.; JAQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A. O.; SILVA, D. A. A.; RACHE, M. M.; PASSOS, V. H. G.; SILVA, B. R. Indicadores Microbiológicos de solo em pastagem com aplicação sucessiva de dejetos de Suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Viçosa, v.39, n.6, 2015.

SILVA, M. B.; KIEMANN, H. J.; SILVEIRA, P. M.; LANNA, A. C. Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n.12, p. 1755-1761, 2007.

SILVA, R. B.; SANTOS, A. C.; BATISTA, R. B. Respiração edáfica como indicativoda qualidade do solo em três agrossistemas**. Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 11, p. 1-15, 2010.

SILVA, M. de O.; SANTOS, M. P. dos; SOUSA, A. C. da P.; SILVA, R. L. V. da; MOURA, I. A. A. de; SILVA, R. S. da; COSTA, K. D. da S.; . Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development** , Curitiba, v. 7, n. 1, p. 6853-6875 Jan. 2021.

SILVA, M. de O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L. do; OLIVEIRA, J. de; PEREIRA, D. de F.; COSTA, K. D. da S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, jul. 2020.

SISDAGRO (Brasília). Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet. **Sistema de Suporte à Decisão na Agropecuária**. 2020. Disponível em: http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/index. Acesso em: 15 nov. 2020.

STÖCKER, C.M; MONTEIRO, A.B; BAMBERG, A.L; CARDOSO, J.H; MORSELLI, T.B.G.A; LIMA, A.C. R. **Bioindicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais.**14ª Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa, 2017.

TEJADA, M.; BENITEZ, C.; GONZALEZ, J. L. Nitrogen mineralization in s oil with conventional and organomineral fertilization practices. Communicati ons in soil science and plant analysis, [s. l.], v. 33, n. 1920, p. 3679-3702, 2002. DOI: https://doi.org/10.1081/CSS-120015915. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1081/CSS-120015915. Acesso em: 30 abr. 2024.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. (Ed.) Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 195-276

VINCI, G. et al. Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* and different phosphorus sources on maize plants as revealed by NMR and GC-MS based metabolomics. **Plant Soil**, v. 429, p.437–450, 2018. doi:10.1007/s11104-018-3701-y

VURUKONDA, S.S.K.P.; VARDHARAJULA, S.; SHRIVASTAVA, M.; Skz, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, 184, p.13-24, 2016. doi:10.1016/j.micres.2015.12.003

ZULFIQARA, F. et al. Nanofertilizer use for sustainable agriculture: Advantages and limitations Faisal Zulfiqara, Míriam Navarrob,c, Muhammad Ashrafd, Nudrat Aisha Akrame, Sergi Munné-Bosch**. Plant Science,** v. 289, 110270, 2019.doi: https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110270