



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

**BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM CULTIVO DE
MILHO SOB DÉFICIT HÍDRICO E BIOINOCULANTES**

ANTONIO ELIZENEUDO PEIXOTO NOGUEIRA

POMBAL- PB

2022

ANTONIO ELIZENEUDO PEIXOTO NOGUEIRA

**BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM CULTIVO DE
MILHO SOB DÉFICIT HÍDRICO E BIOINOCULANTES**

Trabalho de Conclusão de curso apresentado à coordenação do curso de agronomia da Universidade Federal de Campina Grande, Campus Pombal, como um dos requisitos para Obtenção de Título de Bacharel em Agronomia.

Orientadora: Prof.^a. Dr. Adriana Silva Lima.

POMBAL- PB

2022

N778b Nogueira, Antonio Elizeneudo Peixoto.

Bioindicadores da qualidade do solo em cultivo de milho sob déficit hídrico e bioinoculantes / Antonio Elizeneudo Peixoto Nogueira. – Pombal, 2022.

41 f. il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2022.

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

Referências.

1. Cultivo de milho. 2. Manejo do solo. 3. Carbono da biomassa. 4. Microorganismos do solo. 5. *Zea Mays* L. I. Lima, Adriana Silva. II. Título.

CDU 633.15(043)

ANTONIO ELIZENEUDO PEIXOTO NOGUEIRA

**BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM CULTIVO DE
MILHO SOB DÉFICIT HÍDRICO E BIOINOCULANTES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à coordenação do curso de
Agronomia da Universidade Federal de
Campina Grande, Campus Pombal, como
um dos requisitos para Obtenção de Título
de Bacharel em Agronomia.

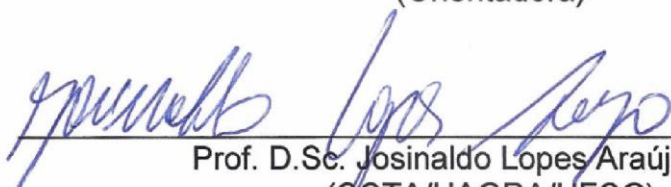
Aprovado em: 19/08/2022

BANCA EXAMINADORA



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

(Orientadora)



Prof. D.Sc. Josinaldo Lopes Araújo Rocha
(CCTA/UAGRA/UFCG)

(Examinador)



D.Sc. Francisco Wesley Alves Pinheiro
(SENAR - CE)

(Examinador)

POMBAL – PB

2022

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Domingas Peixoto Arruda, incansável, guerreira, paciente, protetora, exemplo de amor e dedicação, que sempre me incentivou a buscar meus sonhos.

Ao meu pai Elizeu Nogueira Granja (*in memoriam*), embora fisicamente ausente, seus ensinamentos e incentivos foram fundamentais para minha formação.

A minha namorada Francileide do Nascimento Lima, por todo amor, incentivo e companheirismo durante toda a graduação.

A minha orientadora Adriana Silva Lima, pelo carinho, apoio, compreensão, por sua dedicação em nossas pesquisas de iniciação científica e orientação durante essa caminhada.

Aos tios e tias, Francisca, Fatima, Margarida, Adelaide e Raimundo, minha avó Julia, meu irmão Elizeudo Nogueira e meus primos Glairton Cunha e Jefferson Peixoto que sempre mim apoiaram nas escolhas e torcem verdadeiramente para que eu atinja meus objetivos na vida.

A Francisco Lima, Francisca do Nascimento, Francivania Lima e Francivan Lima, familiares da minha namorada que me ajudaram de várias maneiras e fazem parte da minha vida.

Aos amigos integrantes da “casa agro”, Rodolfo Barbosa, Janielio Oliveira, Iago Rodrigues e Francileide Lima que durante esses cinco anos foram como uma família para mim. Aos colegas que conheci na universidade como Kaiki Nogueira, Pablo Salu, Leandro Nunes, Paloma Domingues, Maressa Isma, Leticia Pinheiro, José Amaro, Eduardo Antonio, Carlos Eduardo, Micaela Coelho, Lauro Araujo, Anny Karoline, Rayan Araujo, Rafael Silva e Francisco Marcelo, obrigado por proporcionarem muitos momentos de alegria e pela colaboração e apoio nas adversidades, vocês são pessoas maravilhosas que ficarão na minha memória e coração e na voltas que o mundo dá espero encontra-los com a mesma alegria, saúde e sucesso profissional.

A banca examinadora, Prof. D.Sc. Josinaldo Lopes Araújo Rocha e D.Sc. Francisco Wesley Alves Pinheiro por todas as contribuições ao trabalho.

A Universidade Federal de Campina Grande pelos projetos de pesquisa na qual tive a oportunidade de participar.

NOGUEIRA, A. E. P.. **BIOINDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM CULTIVO DE MILHO SOB DÉFICIT HÍDRICO E BIOINOCULANTES**. 2022. 40 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2022.

RESUMO

O milho é uma das culturas de grande expressividade do agronegócio do Brasil e do mundo em função de sua versatilidade de uso, tanto na alimentação humana quanto na alimentação animal. O solo é um recurso natural de importância ecológica onde ocorre atividades biológicas responsáveis por diversas transformações físicas e químicas dos resíduos orgânicos que são depositados, mantendo, assim, a sustentabilidade do ambiente. O objetivo foi avaliar os atributos biológicos como bioindicadores da qualidade do solo cultivado com milho e uso de bioinoculantes. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas no espaço, onde as parcelas foram constituídas por dois níveis de irrigação (50% da ETc e 100% da ETc) e as subparcelas correspondentes à seis tratamentos referentes a produtos atenuantes do estresse hídrico: (C1) sem aplicação de produtos, (C2) CoMo (cobalto+molibdênio), (P1) No-Nema (*Bacillus amyloliquefaciens*)+Azokop (*Azospirillum brasiliensis*), (P2) Biobaci (*Bacillus subtilis*), (P3) Azokop, (P4) Arbolina. Por ocasião da colheita do milho, foram coletadas amostras de solo próximo a linha de plantio na cama da de 0 a 20cm para a avaliação da respiração edáfica, carbono da biomassa e quociente metabólico. Observou-se que a respiração edáfica apresentou diferença significativa entre os tratamentos. No bioindicador carbono da biomassa microbiana (CBM) houve diferença entre os níveis de irrigação e tratamentos, apresentando maiores valores na lâmina com 50% da ETc, no tratamento em que foi aplicado Arbolina. Já para a lâmina de 100% da ETc o menor valor de CBM foi proporcionado pelo tratamento com Azokop, enquanto os demais tratamentos não diferiram entre si. O quociente metabólico comportou-se de modo diverso entre as lâminas de irrigação, indicando estresse no tratamento C2 sob a lâmina de 50% da ETc. Para lâmina de 100% da ETc houve indicação de maior conversão de carbono quando aplicados os tratamentos com os produtos (P2) Biobaci (*Bacillus subtilis*), (P3) Azokop (*Azospirillum brasiliensis*) e (P4) Arbolina.

Palavras-chave: *Zea mays*, manejo do solo, carbono da biomassa, microrganismos do solo.

NOGUEIRA, A. E. P.. **BIOINDICATORS OF SOIL QUALITY IN CORN CULTIVATION UNDER WATER DEFICIT AND BIOINOCULANTS**. 2022. 40 f. Monograph (Graduate in Agronomy) – Federal University of Campina Grande, Pombal, 2022.

ABSTRACT

Corn is one of the most expressive crops in agribusiness in Brazil and the world due to its versatility of use, both in human and animal feed. Soil is a natural resource of ecological importance where biological activities take place, responsible for several physical and chemical transformations of the organic residues that are deposited, thus maintaining the sustainability of the environment. The objective was to evaluate the biological attributes as bioindicators of soil quality cultivated with corn and use of bioinoculants. The experimental design was in randomized blocks, in a split-plot scheme in space, where the plots were constituted by two irrigation levels (50% of ET_c and 100% of ET_c) and the subplots corresponding to six treatments referring to stress attenuating products. water: (C1) without application of products, (C2) CoMo (cobalt+molybdenum), (P1) No-Nema (*Bacillus amyloliquefaciens*)+Azokop (*Azospirillum brasiliensis*), (P2) Biobaci (*Bacillus subtilis*), (P3) Azokop, (P4) Arbolina. At the time of corn harvest, soil samples were collected near the planting line in the 0 to 20 cm bed to evaluate edaphic respiration, biomass carbon and metabolic quotient. It was observed that edaphic breathing showed a significant difference between treatments. In the bioindicator of microbial biomass carbon (CBM) there was a difference between the irrigation levels and treatments, with higher values in the water depth with 50% of ET_c, in the treatment in which Arbolina was applied. As for the 100% ET_c depth, the lowest CBM value was provided by the treatment with Azokop, while the other treatments did not differ from each other. The metabolic quotient behaved differently between irrigation depths, indicating stress in the C2 treatment under the 50% ET_c depth. For 100% ET_c depth, there was an indication of higher carbon conversion when treatments with the products (P2) Biobaci (*Bacillus subtilis*), (P3) Azokop (*Azospirillum brasiliensis*) and (P4) Arbolin were applied.

Keywords: *Zea mays*, soil management, biomass carbon, soil microorganisms.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 Efeitos do estresse hídrico sobre as plantas	10
2.2 Microrganismos como atenuantes do estresse hídrico	11
2.3 Qualidade do solo.....	13
2.4 Bioindicadores da qualidade do solo	15
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Características da Área experimental.....	17
3.2 Delineamento Experimental e Caracterização da Coleta do Solo .	18
3.3 Aplicação dos tratamentos	19
3.4 Manejo das lâminas de irrigação	20
3.5 Avaliações dos Bioindicadores do solo.....	21
3.5.1 Respiração microbiana do solo.....	22
3.5.2 Carbono da Biomassa	23
3.5.3 Quociente metabólico (qCO ₂).....	24
3.6. Análise estatística	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
5. CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS.....	33

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma gramínea pertencente à família Poaceae (antiga *Gramineae*), originária da América Central ou México. Espécie essa que pode ser cultivada em diferentes regiões do planeta, por possuir uma diversidade de genótipos que possibilita adaptabilidade a climas tropicais, subtropicais e temperados (DUARTE et al., 2016). Neste sentido fica evidente que a cultura do milho tem diversas finalidades, entre as quais, destaca-se a alimentação humana, animal e aplicações industriais em diferentes segmentos tecnológicos (KOPP et al., 2016). No Nordeste do Brasil, o cultivo do milho vem ganhado destaque como importante fonte de renda para os agricultores, graças à sua possibilidade de elevada lucratividade e diversidade de uso (RIBEIRO, 2017).

O estresse hídrico é um dos fatores que afeta o milho de forma significativa em quase todas as suas fases de desenvolvimento, sendo mais crítico, durante a fase reprodutiva, durante esse período poderá ocorrer um comprometimento da fertilização dos óvulos, a produção de carboidratos e formação de grãos e ainda promover um menor acúmulo de matéria seca nos grãos e conseqüentemente redução na produção final (CLEMENTE, 2017).

O uso de produtos biológicos na agricultura como atenuantes do estresse hídrico nas culturas, pode contribuir para aumentar a eficiência do uso da água pelas plantas especialmente aqueles contendo microrganismos na sua composição (LIN et al., 2018; MATOS et al., 2019; ZAREI et al., 2019), denominados genericamente de bactérias promotoras de crescimento de plantas.

A qualidade do solo é uma propriedade determinante para o aumento de produtividade e sustentabilidade das culturas, influenciando também na saúde das plantas, animais e conseqüentemente seres humanos (MELO et al., 2017). O solo é um recurso natural fundamental, e sua qualidade é formada por fatores químicos, físicos, biológicos e ecológicos, podendo ser modificados em prol de melhor qualidade.

Os atributos biológicos do solo mostram respostas ágeis às transformações no ambiente edáfico quando comparados aos atributos químicos e físicos (DORAN; ZEISS, 2000; CARDOSO et al., 2013), o que pode oferecer importantes informações para tomada de decisão sobre o manejo e uso do solo, sendo em avaliação da atividade antagônica de bactérias do solo contra fungos fitopatogênicos (KHOLKHAR

et al., 2011), e também quando se avalia indicadores biológicos do solo em sistema integrado de produção agropecuária (BATISTA et al., 2018).

Segundo Ramos (2017) o estudo do solo deve transcender o pouco evolutivo modelo de gestão agrícola, com uma aproximação da realidade, na qual as características do solo devem ser avaliadas de acordo com as funções específicas dos atributos físicos, químicos e biológicos, juntamente com a interação entre eles, de acordo com a finalidade específica de interesse de avaliação, que podem ou não limitar o seu desempenho.

Para Roscoe et al. (2006) as perdas de carbono do solo, principalmente na forma de CO₂, por meio de processos degradativos estão relacionadas à decomposição acelerada dos compostos orgânicos, pela biomassa microbiana. Assim, a respiração edáfica reflete a atividade biológica na mineralização dos resíduos orgânicos (SOUTO et al., 2013).

Diante do exposto objetivou-se avaliar os bioindicadores da qualidade do solo em cultivo de milho sob déficit hídrico e bioinoculantes.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Efeitos do estresse hídrico sobre as plantas

Embora as plantas estejam sujeitas a diversos tipos de estresses abióticos, o estresse hídrico ocasionado pela seca se destaca, por ser comum nos ecossistemas e por provocar sérias disfunções fisiológicas nas plantas (TAIZ et al., 2017). O déficit hídrico causa alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, influenciando o transporte de água e nutrientes nos vegetais, além de alterar processos metabólicos nas mesmas pelo decréscimo de turgor das células (MONTEIRO et al., 2014).

De acordo com Taiz et al. (2017) podem ocorrer alguns efeitos secundários como a diminuição da expansão foliar, afetar atividades celulares e metabólicas, fechamento estomático, inibição fotossintética, abscisão foliar, interrompendo o crescimento da planta.

Ao diminuir sua área foliar, a capacidade de competição por luz fica reduzida, diminuindo a taxa fotossintética, acelerando a taxa de senescência das folhas, inibição das ramificações, dessa forma como no retardamento do crescimento e desenvolvimento da planta, vai afetar de forma negativa a sua produtividade (SANTOS et al., 2018).

As consequências do estresse para o crescimento da planta dependem da severidade (intensidade) do fator causador dessa perturbação, bem como da duração desse estresse, do número de exposições da planta a esse fator estressante durante seu ciclo de cultivo, do estágio de desenvolvimento da planta e do genótipo selecionado (BARROS; ALVES, 2015).

Porém, os autores afirmam que na realidade prática do cultivo a campo, as plantas nunca estão expostas somente a um fator de estresse, mas sim a uma combinação de vários fatores que as levam a diferentes níveis de estresse. E acrescentam como exemplo, a baixa disponibilidade de água no solo pode induzir o estresse; porém, quando a baixa disponibilidade de água está associada à elevada temperatura do ar, alta irradiação e baixa umidade, o estresse é mais intenso e severo em relação a um ambiente com o mesmo nível de disponibilidade hídrica, mas com temperaturas mais amenas.

O déficit hídrico pode afetar a produtividade das culturas por alterações de origem não-estomática, modulando processos bioquímicos da fotossíntese (responsáveis pela fixação do carbono atmosférico) e o aparato fotoquímico da

planta (responsável pela absorção de luz e produção de energia para a fotossíntese). Em relação ao metabolismo bioquímico, o déficit hídrico reduz a eficiência das enzimas responsáveis pela fixação do CO₂, a PEPcase (fosfoenolpiruvato carboxilase, específica de plantas de metabolismo tipo C₄, como o milho) e a Rubisco (ribulose bifosfato carboxilase/oxigenase, a proteína mais abundante em todas as plantas). Ocasionalmente a degradação e/ou inativação destas enzimas, reduzindo a fixação do CO₂ e, conseqüentemente, a cultura perde produtividade. Com relação a eficiência fotoquímica, plantas em situações de déficit hídrico sofre redução no transporte de elétrons (fotoinibição do fotossistema II), em virtude do excesso de elétrons e da degradação da membrana dos cloroplastos (BARROS; ALVES, 2015).

Segundo Oliveira et al., (2015) a disponibilidade hídrica é considerada como um fator limitante para evolução das espécies. Desta forma, a habilidade para lidar com o déficit hídrico é um componente importante para a seleção natural das plantas e produtividade das culturas agrícolas.

A cultura do milho apresenta alta irregularidade em seu rendimento principalmente pela deficiência hídrica, tal realidade é bastante observada na região Nordeste do Brasil devido a irregularidade no regime de chuvas causando constantes veranicos prejudiciais as culturas exigentes em água (SOUZA et al., 2015).

2.2 Microrganismos como atenuantes do estresse hídrico

Alguns estudos destacam que microrganismos que atuam de forma benéfica no solo podem melhorar o desempenho de plantas submetidas a condições de estresse e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das culturas (PINTER et al., 2017; NAZIR et al., 2018; TIWARI et al., 2019). Dessa forma, entre as novas tecnologias empregadas na agricultura destaca a utilização de microrganismos promotores de crescimento de plantas capazes de aumentar a produção agrícola ganhando destaque como uma alternativa viável de uso sustentável do solo. Esse fato se deve à demanda emergente para a diminuição da dependência de fertilizantes minerais e da necessidade de buscar soluções para o desenvolvimento de uma agricultura cada vez mais equilibrada (MACHADO et al., 2012).

As bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV) são microrganismos que geralmente colonizam a rizosfera e/ou tecidos internos das plantas (endofíticas) capazes de influenciar o desenvolvimento radicular e da parte aérea. Tais bactérias conseguem produzir algumas substâncias osmorreguladoras e fitohormônios, que levam à proteção e aumento do sistema radicular, e, dessa maneira, a uma maior absorção de água e nutrientes do solo (TIWARI et al., 2019; SHETEIMY et al., 2021).

As rizobactérias além de colonizarem o ambiente radicular, conseguem mineralizar a matéria orgânica liberando nutrientes no solo por meio da conversão de formas insolúveis, como a solubilização de fosfatos através da produção de fosfatases ou ácidos orgânicos, solubilização de K, fixação de N pelas bactérias diazotróficas e aumento da solubilidade de micronutrientes, como a produção de sideróforos para a quelatização de ferro (KAUSHAL; WANI, 2016).

O milho é uma das culturas que durante o seu ciclo mais necessitam extrair nutrientes do solo, fator determinante para elevar os custos de produção com a aquisição de fertilizantes, os quais podem representar mais de 30% dos custos totais com a cultura (IMEA, 2022). Desta forma, além do potencial de mitigar os efeitos negativos do déficit hídrico, algumas BPCV podem contribuir também com a nutrição nitrogenada de gramíneas como o milho (FERREIRA et al., 2021).

Alguns trabalhos já desenvolvidos atestaram os efeitos positivos da BPCV, tanto em condições de suprimento adequado de água quanto em condições de déficit hídrico (PICAZEVICZ et al., 2017; LIMA et al., 2019; MACHADO et al., 2020; MARQUES et al., 2020).

Sheteimy et al. (2021) observaram que *Bacillus amyloliquefaciens* tem a capacidade de aumentar a tolerância da soja ao estresse hídrico pelo ajustamento osmótico associado ao maior acúmulo de solutos orgânicos, quando comparadas com as plantas sob estresse hídrico não inoculadas.

Lima et al. (2019) observaram que a inoculação do milho com *Bacillus subtilis*, sob déficit hídrico, houve uma melhora na taxa de fotossíntese pois ocorreu um aumento no teor de água nas folhas. Marques et al. (2020) chegaram à conclusão de que a inoculação do milho com diferentes estirpes de *Azospirillum brasiliense*, submetido ao déficit hídrico (50% da ETC) proporcionou maior crescimento vegetal, absorção de nutrientes e atenuou os efeitos do déficit hídrico no desenvolvimento

das plantas de milho. Em outro trabalho, Pereira et al. (2020) observaram que o uso de algumas BPCV em cultivo de milho submetido a três regimes hídricos (80%, 60% e 40% da ETc) proporcionou aumento da biomassa da parte aérea e uma melhor eficiência do uso do fósforo e N nas plantas.

Dessa forma os Inoculantes biológicos são utilizados como tecnologia para a redução de dependência de insumos baseados em fontes energéticas não renováveis, poluentes e economicamente insustentáveis, devido aos benefícios e potencial das bactérias promotoras do crescimento vegetal (BPCV) (BASHAN et al., 2014).

2.3 Qualidade do solo

A qualidade do solo trata-se da capacidade do solo em atuar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, na qual consiga manter a produtividade de plantas e animais, mantendo a qualidade do ar e da água em equilíbrio viabilizando a saúde das plantas, animais e dos seres humanos. (DORAN; PARKIN 1994; FREITA et al., 2012).

Além disso, a qualidade do solo é um atributo fundamental para a manutenção e desenvolvimento das espécies presentes no habitat, da mesma maneira para manter a sustentabilidade das culturas e como resultado garantir alimentos para a demanda global. O manejo equivocado e intensivo do solo pode provocar de maneira gradativa a sua degradação, chegando a ser irreversível em algumas situações. Naturalmente, o solo já sofre perdas naturais causadas por processos naturais como intemperismo, entretanto, as atividades humanas, de maneira constante, aceleram esses fenômenos, contribuindo com a degradação do solo (OLIVEIRA et al., 2021).

As diversas práticas agrícolas adotadas pelo sistema convencional da agricultura em muitas situações acarretam a diminuição gradativa da qualidade do solo (QS), resultando em limitações da produtividade agrícola (STOCKER et al., 2017).

Para as análises quantitativas da qualidade do solo pode-se empregar métodos físicos, químicos e biológicos. Entre os indicadores biológicos, ou seja, bioindicadores comumente adotados, pode-se destacar a biomassa microbiana, atividade enzimática, respiração microbiana, presença e dinâmica de

microrganismos benéficos (micorrizas, solubilizados de fosfato etc.), fauna do solo, entre outros.

A análise dos atributos do solo tem sido amplamente utilizada em estudos que buscam avaliar a condição ambiental ou a saúde do solo (YADA et al., 2015; LIMA et al., 2017; FREITAS et al., 2017), sendo descritos na forma de indicadores de qualidade, os quais se trata de propriedades mensuráveis que indicam a capacidade do solo de sustentar e promover a qualidade ambiental (LISBOA et al., 2016; STUMPF et al., 2016).

Os efeitos da aplicação de bioinoculantes no desenvolvimento das plantas e na qualidade do solo são cumulativos e duradouros; além disso, não causam efeitos nocivos como pode ocorrer ao utilizar fertilizantes químicos que a longo prazo são prejudiciais ao ecossistema (BHARDWAJ et al., 2014). A aquisição de inoculantes biológicos com o objetivo de melhorar a sustentabilidade e a produção agrícola vem se popularizando em várias partes do planeta (PAUL, 2014).

O uso da inoculação com rizobactérias para promover aumento no crescimento das plantas é viável, pois esses microrganismos conseguem mineralizar a parte orgânica do solo e disponibilizam nutrientes no meio. Além disso, muitos deles apresentam ação antagônica contra patógenos e produção de fitohormônios de crescimento (PAULA et al., 2021).

A atividade microbiana do solo é influenciada, principalmente, pelos fatores temperatura, pH, luminosidade, salinidade, fontes de energia e substratos orgânicos, nutrientes e presença ou ausência de elementos tóxicos. Ainda nesse contexto as características biológicas do solo, juntamente com as propriedades químicas e físicas, interferem ativamente na produtividade e qualidade de produtos agropecuários. Dentro das características biológicas do solo, um dos principais fatores é a atividade microbiana. (SILVA et al., 2013).

Os indicadores podem representar propriedades físicas, químicas ou biológicas associadas aos diferentes processos que ali ocorrem, tais como: ciclagem de nutrientes, retenção hídrica, potencial de erosão, potencial de lixiviação, atividade biológica, entre outros. Propriedades físicas como textura, porosidade, densidade e estabilidade de agregados são as características mais usadas como indicadores de solo. A acidez (pH), salinidade, teor de carbono total ou orgânico, fósforo disponível, capacidade de troca iônica, são exemplos de atributos avaliados (OLIVEIRA-SILVA

et al., 2020). Quanto às propriedades biológicas, podem ser citadas as medidas de abundância de diferentes organismos do solo (minhocas, nematoides, térmitas, formigas, actinomicetos, fungos e bactérias.), a biomassa microbiana, atividade enzimática, entre outros (MAIA et al., 2013).

O interesse por indicadores do funcionamento do sistema solo baseados na atividade microbiana tem crescido na comunidade científica, (ARAGÃO et al., 2012). Sendo que a biomassa microbiana é a principal responsável pela decomposição dos resíduos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia no solo, podendo ter influência tanto na transformação da matéria orgânica, quanto na estocagem do carbono e nutrientes minerais (JENKINSON; LADD, 1981).

A avaliação da biomassa microbiana pode ajudar a orientar os produtores a manejarem seus solos de forma mais produtiva e sustentável (ARAGÃO et al., 2012). Por isso, a busca por métodos de produção que aumentem a qualidade do solo é cada vez mais necessária, assim como a compreensão da importância da preservação do solo. A qualidade do solo é caracterizada por sua capacidade de funcionar dentro dos limites do ecossistema e interagir positivamente com o ambiente externo (BÜNEMANN et al., 2018).

A diminuição do teor de matéria orgânica do solo constitui um indicador relevante da perda de qualidade do solo. A redução deste componente provoca potencial incapacidade do solo em resistir à deterioração provocada por outros processos, tais como a erosão e a compactação. Sendo a matéria orgânica composta por 58% de carbono, a redução deste nutriente provoca uma diminuição da base energética necessária à sobrevivência de toda a comunidade microbiana do solo. (MARTINS; FERNANDES 2017).

O estudo da qualidade do solo integra fatores físicos, químicos e biológicos, os quais definem o potencial de capacidade do solo em manter a sustentabilidade da produção mundial de alimentos (SOBUCKI et al., 2019).

2.4 Bioindicadores da qualidade do solo

Indicadores de qualidade do solo são atributos que indicam ou refletem a situação do ambiente em estudo ou a condição de sustentabilidade do ecossistema. Estes indicadores de qualidade têm sido amplamente estudados e utilizados para caracterizar a condição ambiental de áreas perturbadas (LISBOA et al., 2016;

ADAMCOVA et al., 2016). Tais indicadores são atributos mensuráveis que podem se apresentar de forma quantitativa ou qualitativa (LISBOA et al., 2016).

Os indicadores biológicos de qualidade do solo, ou seja, bioindicadores podem ser avaliados por meio de microrganismos ou da fauna edáfica. Os organismos do solo são responsáveis diretos pelo funcionamento do solo, pois atuam nos processos de gênese, decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e biorremediação de áreas contaminadas por poluentes e agrotóxicos, o que justificam sua inclusão como indicadores na avaliação da qualidade do solo (KASCHUK et al., 2010; MENDES et al., 2015).

A atividade microbiana representa a fração viva da biomassa microbiana, e esta é largamente responsável pelas transformações de nutrientes, além de estar intimamente ligada à fertilidade e estrutura do solo (MELLONI, 2007). É um importante indicador da sustentabilidade dos sistemas de produção, pois exercem funções essenciais para garantir a saúde do solo, como ciclagem de nutrientes, melhoria das relações ecológicas como equilíbrio da cadeia alimentar. De um modo geral, a atividade microbiana é mais elevada nas primeiras camadas do solo, geralmente na profundidade de 1 a 30 cm. Esta situação se justifica em função da maior fração da matéria orgânica estar presente na camada superficial do solo (FIDELIS et al., 2016).

A presença de microrganismos no solo está relacionada com a capacidade de disponibilidade de nutrientes ao solo, bem como fatores físicos e químicos (MALUSÀ et al., 2016). Adicionalmente, a relação entre planta e solo produz exsudado que beneficiam os microrganismos e conseqüentemente o solo. Além disso, favorece o processo de fixação biológica de nitrogênio beneficiando a planta e a rizosfera disponibilizando a outros organismos parte desse nitrogênio fixado (MARCHETTI; BARP, 2015).

A biomassa microbiana do solo é um componente essencial da matéria orgânica que, regula a ciclagem de nutrientes no solo (GOMES et al., 2015). Esse ciclo depende das populações microbianas que podem ser monitoradas através dos atributos microbiológicos, indicadores da variabilidade de concentração de nutrientes e propriedades do solo, que por sua vez é o suporte para esses organismos vivos (MATSUNAGA et al., 2018).

A biomassa microbiana é considerada um excelente indicador da qualidade do solo, é responsável por regular as transformações e acúmulo de nutrientes, sendo uma fração lábil da matéria orgânica, podendo refletir mudanças no material orgânico e no desenvolvimento do solo, já que os microrganismos do solo regulam vários processos que afetam o ecossistema e estão associados com a ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo, mudanças nos estoques de carbono e na dinâmica da matéria orgânica (HOFFMANN et al., 2018).

Os bioindicadores representam uma abordagem ampla para avaliar e interpretar o impacto das perturbações naturais ou antrópicas no ecossistema solo (HEGER et al., 2012). A utilização destes indicadores permite verificar a real qualidade do solo, e é obtida por meio da análise dos atributos físicos, químicos e biológicos (Rosa et al., 2015). Em função de cada atributo ser capaz de demonstrar características específicas sobre o solo, torna-se necessário o uso conjunto destes indicadores (MELLONI et al., 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Características da área experimental

A pesquisa foi desenvolvida em campo na Fazenda Experimental pertencente ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar – CCTA da UFCG, localizada na mesorregião do Sertão Paraibano e microrregião de Sousa, no município de São Domingos – Paraíba. O clima, segundo a classificação de Köppen adaptada ao Brasil, é do tipo tropical semiárido (Bsh), com temperatura média anual superior a 26,7 °C e precipitação pluviométrica média anual de 872 mm (COELHO; SONCIN, 1982). O solo da área foi classificado como PLANOSSOLO HÁPLICO (EMBRAPA, 2013). Antes da instalação do experimento, foi feita a amostragem do solo para sua caracterização química e física conforme procedimentos descritos em Embrapa (2011).

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do solo na camada de 0-20 cm do solo PLANOSSOLO HÁPLICO utilizado no experimento.

Atributos químicos	Valor	Atributos físicos	Valor
pH (CaCl ₂)	6,20	Areia (g kg ⁻¹)	444
P (mg kg ⁻¹)	291	Silte (g kg ⁻¹)	353
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,19	Argila (g kg ⁻¹)	203
Na ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,54	Ds (g cm ⁻³)	1,36

Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	5,80	Dp (g cm ⁻³)	2,59
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,40	Pt (m ³ m ³)	0,47
H+Al (cmol _c 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⁺+Al³⁺: 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.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em parcelas subdivididas no espaço, onde as parcelas foram constituídas por duas lâminas de irrigação (100% da ETc) e 50% da ETc) e as subparcelas corresponderam à seis tratamentos, sendo três compostos por BPCV (NoNema + Azokop, Biobaci, Azokop), dois produtos não biológicos (Arbolina e CoMo Max) mais um tratamento controle (Tabela 2).

Tabela 2. Descrição dos tratamentos correspondentes às subparcelas.

Tratamentos	Descrição	Aplicação
C1	Sem aplicação de produtos	-
C2	CoMo (0,6g/L de Co e 20g/L de Mo)	CoMo MAX, 1 L/ha no V3 e no V5 (foliar)
P1	No-Nema (<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>) (A) + Azokop (<i>Azospirillum brasiliensis</i>) (B)	1 L de A e 3 L de B/ha (7 dias após emergência)
P2	Biobaci (<i>Bacillus subtilis</i>),	4 L/ha (7 dias após emergência)
P3	Azokop (<i>Azospirillum brasiliensis</i>)	4 L/ha (7 dias após emergência)
P4	Arbolina	50 mL/ha via foliar (1 ^a aplicação em V3, 2 ^a aplicação aos 15 dia após a 1 ^a e a 3 ^a aplicação aos 30 dias após a 1 aplicação.

Os tratamentos foram alocados em quatro blocos (quatro repetições), cada um contendo duas parcelas (lâminas de irrigação) e cada parcela contendo seis

subparcelas, perfazendo um total de 12 subparcelas em cada bloco ou 48 subparcelas no experimento como um todo.

O milho híbrido K9555VIP3 foi cultivado no espaçamento de 0,2 m x 1,0 m, ou seja, um estande estimado em 5 plantas por metro linear, com espaçamento entre linhas de 1,0 m. As parcelas e as subparcelas tiveram espaçamento entre si de 1,5 m. Cada bloco foi separado um do outro de 2,0 m, gerando uma área experimental com dimensões de 44 m x 31,5 m. A subparcela foi constituída por cinco linhas de cultivo medindo 4,0 m x 4,0m, enquanto a parcela útil para fins de obtenção de dados, foi constituída pelas três linhas centrais medindo 2,0 m de comprimento, perfazendo um total estimado de 30 plantas (Figura 1).

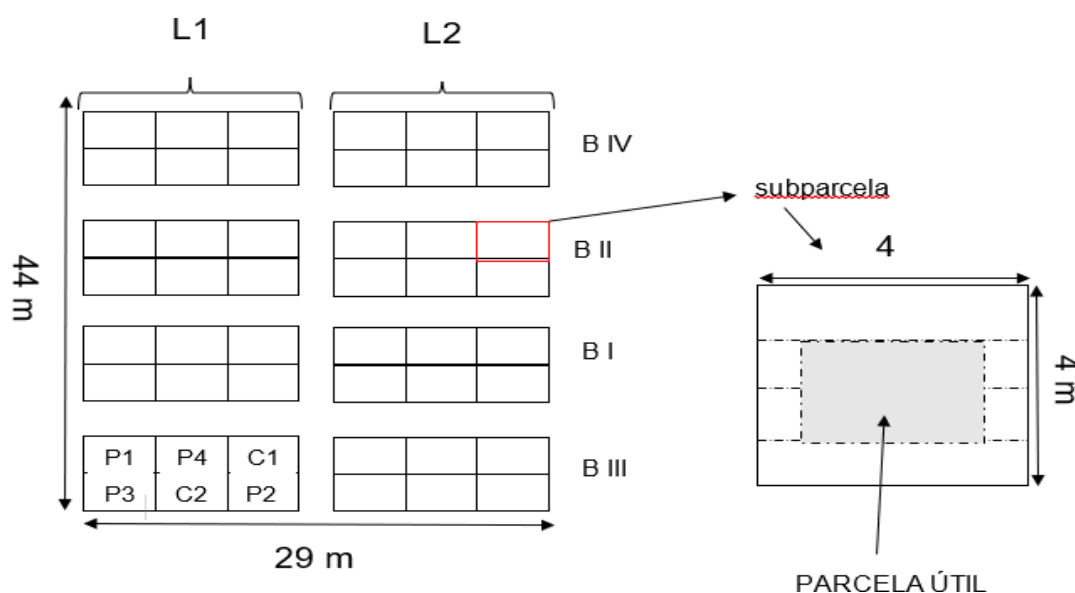


Figura 1. Esquema ilustrativo da área experimental mostrando as parcelas (lâminas de irrigação) e as subparcelas (tratamentos). L1 e L2 correspondem às lâminas de irrigação (L1 = 50% da ETc; L2 = 100% da ETc).

Na amostragem do solo, em cada subparcela foi feita a coleta de quatro amostras simples na camada de 0 a 20cm, que posteriormente foram homogeneizadas para obtenção de uma amostra composta correspondente a área útil de cada tratamento, totalizando 48 amostras de solo ao todo ou 24 amostras por parcela.

3.3 Aplicação dos tratamentos

O tratamento P1 foi constituído pela mistura de 4 L/ha do produto - No -Nema + 1L/ha do produto Azokop. Nos tratamentos C2, P2 e P3 foram aplicados a

dose de 5 L/ha de cada produto indicado. No tratamento P4 foram aplicados 50 mL/ha dos produtos Arbolina via foliar. Todos os tratamentos foram aplicados um dia após o desbaste de padronização do estande de plantas. A dose de 5 L/ha de cada tratamento correspondeu a 8,0 mL por subparcela (16 m²) os quais foram diluídos em 4,0 L de água para aplicação nas subparcelas, ou seja, 0,5 mL/m² ou 5.000 mL/ha. No tratamento C1, foi adotado o mesmo procedimento, mas utilizando apenas água sem qualquer produto.

3.4 Manejo das lâminas de irrigação

O volume da irrigação total necessária (ITN) de cada lâmina foi obtido pela seguinte equação (MANTOVANI et al., 2009):

$$ITN = IRN/Ea \text{ (mm)}$$

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 da cultura (ETc). À medida que atingido o intervalo de tempo para cada volume das respectivas lâminas, foram feitos os sucessivos desligamentos das fitas de gotejadores, correspondentes a cada lâmina. A lâmina de irrigação correspondente a 100% da ETc foi calculada conforme Jesen (1968) utilizando-se a seguinte expressão:

$$ETc = Kc * ETo$$

Em que:

ETc - Evapotranspiração da cultura, mm/dia;

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

Kc - Coeficiente de cultura (adimensional).

Os valores de Kc adotados para o milho (fase inicial: 0,13; fase vegetativa: 0,55; florescimento: 1,00; fase reprodutiva: 1,2 e fase final: 0,90) em função das suas fases fenológicas, foram baseados em ALLEN et al. (1998). Durante a condução do experimento os dados meteorológicos foram obtidos da estação meteorológica automática do município de São Gonçalo, Paraíba, por ser a mais próxima ao local do experimento, através do site (SISDAGRO, 2020).

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:

$$T_i = \frac{E_{to} \cdot K_c \cdot A}{E_a \cdot n \cdot q}$$

Em que:

T_i - tempo de irrigação, horas;

E_{To} - Evaporação de referência, mm/dia;

K_c - 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;

E_a – eficiência da aplicação (0,90).

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).

As plantas foram irrigadas por gotejamento, com gotejadores espaçados de 0,20 m. Após a emergência e padronização do número de plantas por subparcela, as plantas foram irrigadas seguindo os diferentes níveis de lâminas de água.

3.5 Avaliações dos bioindicadores do solo

Por ocasião da colheita, em cada subparcela foram coletadas quatro amostras simples (uma em cada linha) de solo na camada de 0 a 20 cm, que foram juntas em uma amostra composta, totalizando 48 amostras compostas.

Após a coleta, as amostras foram colocadas em sacos plásticos devidamente identificados ainda no campo, acondicionadas em caixa de isopor, e depois armazenadas no refrigerador do Laboratório de Solos e Nutrição de Plantas do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar da Universidade Federal de Campina Grande (CCTA/UFCG). Neste mesmo laboratório foram realizadas as avaliações de respiração, carbono da biomassa e coeficiente metabólico.

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

3.5.1 Respiração microbiana do solo

A respiração microbiana do solo foi mensurada pela captura do C-CO₂ produzido no solo pelo NaOH em ambiente hermeticamente fechado (ALEF; NANNIPIERI, 1995; CURL; RODRIGUEZ-KABANA, 1972; STOTZKY, 1965).

Em um recipiente plástico foi acondicionado três frascos, um contendo 30 g de solo, um frasco contendo 30 mL de solução NaOH (Hidróxido de Sódio) 0,5 mol L⁻¹ para captura do C-CO₂ e outro de 30 mL de H₂O (para manter a umidade constante).

O recipiente contendo o conjunto solo + NaOH+H₂O, foi fechado hermeticamente e mantido no escuro por 72 horas a temperatura de 25°. Após o período de incubação, abriu o recipiente e retirou-se o frasco contendo NaOH.

Enquanto foi aguardado o tempo para a troca de ar, pipetou-se 10 mL da solução NaOH 0,5 mol L⁻¹ (previamente incubada com o solo) para erlenmeyer de 125 mL adicionando 10 mL da solução BaCl₂ (Cloreto de Bário) 0,05 mol L⁻¹ e três gotas de Fenolftaleína 1%.

Em seguida foi titulado com a solução de HCl (Ácido Clorídrico) 0,25 mol L⁻¹, imediatamente após a adição do indicador, e o ponto de virada foi nítido passando de violeta para incolor.

Esse procedimento foi realizado para todas as amostras das áreas de solo e mais seis amostras em branco. Para cada amostra foi realizada três repetições analíticas. O cálculo para obtenção dos valores de C-CO₂ utilizado foi de acordo com a equação:

$$\text{C-CO}_2 \text{ (mg)} = (\text{B}-\text{V}) \cdot \text{M} \cdot 6 \times \left(\frac{\text{V}_1}{\text{V}_2} \right)$$

Em que:

B= volume do HCl no branco (mL);

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

M= concentração real do HCl (mol L⁻¹);

6= massa atômica do carbono (12) dividido pelo número de mols de CO₂ que reagem com o NaCl (2);

V₁= volume total de NaOH usado na captura do CO₂ (mL);

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

3.5.2 Carbono da biomassa

O carbono da biomassa foi avaliado empregando o método da irradiação/extração, o qual apresenta como princípio básico a eliminação de microrganismos pela irradiação eletromagnética de forno de micro-ondas (FERREIRA; CAMARGO; VIDOR, 1999; ISLAM; WEIL, 1998; BROOKES et al., 1982). Cada amostra de solo foi subdividida em amostras irradiadas e não irradiadas.

Para obtenção das amostras foi pesado em placa de petri 20g de solo para irradiação e 20g em erlenmeyer onde não houve o uso da irradiação. As amostras foram submetidas à irradiação em micro-ondas de acordo com o tempo calculado.

O cálculo da potência do micro-ondas e do tempo de exposição foi realizado aquecendo 1 L de água, e foi medido a variação de temperatura, antes e 120 segundos após a exposição ao micro-ondas. Para calcular a potência real do aparelho foi utilizada a equação:

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

Em que:

P= Potência real do aparelho em W;

C_p= 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);

ΔT= Variação de temperatura de 1L de H₂O 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.

Potência calculada= 833,3 W

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

$$t = \frac{r \cdot m}{P} \text{ Em que:}$$

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;

Após a irradiação as amostras foram transferidas para erlenmeyers de 125 mL, sendo identificadas de acordo com o procedimento. Em seguida adicionado 80 mL da solução extratora K_2SO_4 (sulfato de potássio).

As amostras foram agitadas por 30 minutos em agitador horizontal a 150 rpm e posteriormente mantidas em repouso por 30 minutos. Na sequência as amostras foram filtradas para recipientes com o auxílio de papel filtro.

A determinação do carbono presente nos extratos foi realizada pipetando 10 mL do extrato filtrado para um erlenmeyer de 125 mL, em seguida adicionado 2 mL da solução de $K_2Cr_2O_7$ (dicromato de potássio) $0,066 \text{ mol L}^{-1}$. Em seguida adicionou 10 mL de H_2SO_4 (ácido sulfúrico), foi esperado a diminuição da temperatura. Após as amostras estarem em temperatura ambiente, adicionou-se 50 mL de água destilada em cada erlenmeyer, e a titulação foi iniciada.

Para a titulação adicionou três gotas do ferroin como indicador e sulfato ferroso amoniacal $0,03 \text{ mol L}^{-1}$ como titulante. Esse procedimento foi realizado para todas as amostras de solo e mais seis amostras em branco, sendo três contendo o K_2SO_4 e três sem o K_2SO_4 . Para observar o ponto de virada e alteração da coloração amarela para o tom terroso.

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

$$C_{mic} = \frac{(C_i - C_{ni})}{K_c} \text{ Em que:}$$

C_i = amostra irradiada

C_{ni} = amostra não irradiada,

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

3.5.3 Quociente metabólico (qCO_2)

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

3.6. Análise estatística

Os dados obtidos nos diferentes tratamentos foram submetidos a uma análise exploratória, com o intuito de verificar se atendiam aos pressupostos da análise de variância.

Em seguida os dados foram transformados, utilizando raiz quadrada e submetidos à análise da variância aplicando-se o teste F, 1 a 5% de probabilidade, havendo efeito significativo, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 1 e 5% de probabilidade. A estatística foi realizada com o auxílio do sistema de análise estatística SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme resumo da análise de variância apresentados na Tabela 3, constatou-se que houve efeito significativo para as lâminas, tratamentos e suas interações em todas as variáveis, a 1% e 5% de probabilidade pelo teste f.

Tabela 3: 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	0,596475 ^{ns}	356,084391 ^{**}	0,189112 [*]
Blocos	3	0,012178 ^{ns}	7,274188 ^{ns}	0,016274 ^{ns}
Erro (a)	3	1,289595	1,915457	0,011343
Parcela				
Tratamentos (T)	5	0,233156 [*]	30,843596 ^{**}	0,007191 [*]
Interação L x T	5	0,824129 [*]	68,636964 ^{**}	0,043488 ^{**}
Erro (b)	30	0,608169	6,198862	0,012803
C.V%(a)	-	24,88	9,76	22,78
C.V %(b)	-	17,13	13,08	29,56

ns, **, * respectivamente não significativo, significativo a ($p < 0,01$) e ($p < 0,05$). de probabilidade pelo teste F.

Os resultados dos atributos biológicos estão apresentados, respectivamente, figura 2 (respiração edáfica), figura 3 (C-biomassa) e figura 4 (quociente metabólico).

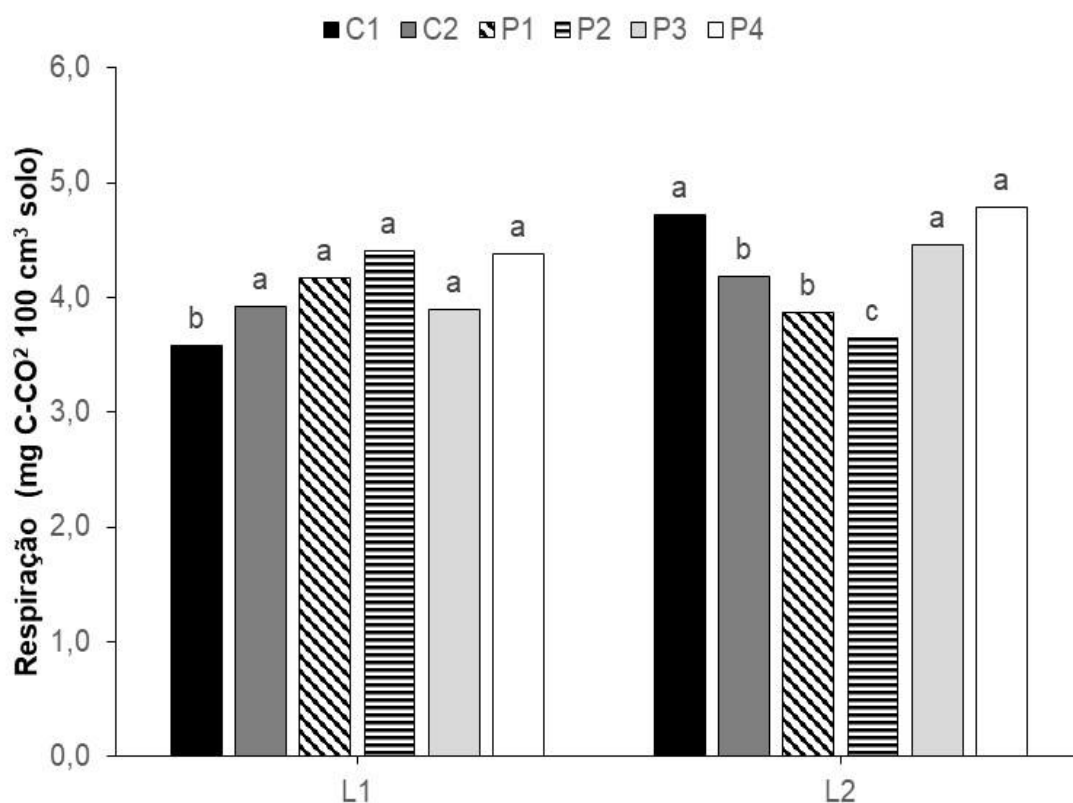


Figura 2. Respiração edáfica (mg C-CO₂.100 cm³ solo) das amostras de solo da rizosfera de milho cultivado sob duas lâminas de irrigação (50% da ET_c (L1) e 100% da ET_c (L2)) e seis tratamentos referentes a produtos atenuantes do estresse hídrico: sem aplicação de produtos (C1), CoMo (cobalto + molibdênio) (C2), No-Nema (*Bacillus amyloliquefaciens*)+Azokop (*Azospirillum brasiliensis*) (P1), Biobaci (P2), Azokop (P3), Arbolina (P4) na fazenda experimental do CCTA/UFCG no município de São Domingos – PB, 2022.

Os valores de respiração edáfica apresentaram diferença significativa entre os tratamentos (Figura 2). Observou-se que para a lâmina 50% da ET_c, houve maiores valores de respiração nos tratamentos com os produtos atenuantes do estresse hídrico, não diferindo entre si. Entretanto, tal comportamento não ocorreu na lâmina de irrigação a 100% da ET_c. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que na lâmina de 50% ocorreu estresse por baixa disponibilidade de água no solo e assim os tratamentos que continham microrganismos atenuantes receberam estímulos para que ocorresse uma maior atividade respiratória, e dessa forma amenizar as perdas por carência hídrica. Populações de microrganismos presente na rizosfera do milho, quando submetidos a algum tipo de estresse podem

apresentar mudanças na sua composição, atividade e metabolismos específicos (MOREIRA; SIQUEIRA 2006).

Já para a lâmina de 100% da ETc foi observado valores de respiração edáfica principalmente nos tratamentos C1, P3 e P4, que não diferiram entre si, esse resultado pode indicar que entre os microrganismos atenuantes de estresse hídrico destaca-se o *Azospirillum brasilense* (AZOKOP) que contribuiu para um maior atividade metabólica na rizosfera do milho e conseqüentemente ocorrendo uma maior respiração basal no solo devido o processo de decomposição. Uma possível explicação para os resultados obtidos neste trabalho, refere-se que as bactérias são um dos principais responsáveis pela maior liberação de CO₂ via degradação da matéria orgânica, portanto a respiração basal do solo está relacionada diretamente à atividade desse grupo de microrganismos do solo (MARTINS et al., 2011).

Além disso o *Azospirillum brasilense* (Azokop) constitui grupo de bactérias que são tidas como bioestimulantes, visto que atuam em todos os aspectos de vida das plantas como crescimento e nutrição, desenvolvimento e morfogênese, interações com outros microrganismos e respostas aos estresses abióticos e bióticos (DU JARDIN, 2015). Ao mesmo tempo são responsáveis pela produção de numerosos fitormônios, fixação de N, produção de uma variedade de moléculas e de enzimas, aumento da atividade da membrana plasmática, crescimento do sistema radicular, aumento da captação de água e minerais, mitigação de estresses em plantas, mobilização de minerais e controle biológico direto ou indireto de vários patógenos (BASHAN; DE-BASHAN, 2010).

De acordo com Kasim et al. (2013), os microrganismos promotores de crescimento de plantas promovem tolerância às condições de estresse, pois estes podem estimular os genes relacionados com estresse hídrico.

Sheteimy et al. (2021) observaram que *Bacillus amyloliquefaciens* tem a capacidade de aumentar a tolerância da soja ao estresse hídrico pelo ajustamento osmótico associado ao maior acúmulo de solutos orgânicos, o que pode ter ocorrido no milho quando aplicou-se o produto No-nema que continha o *Bacillus amyloliquefaciens*.

Bactérias do gênero *Bacillus* sp são promissoras candidatas para serem usadas como inoculantes microbianos devido a sua capacidade em amenizar ou eliminar os efeitos nocivos do estresse salino, hídrico e oxidativo (GHYSELINCK

et al., 2013; PINTER et al., 2017; TIWARI et al., 2019). Dessa maneira, pode-se justificar o resultado obtido neste trabalho em que na lâmina com 50% da ETc foi verificado que o produto Biobaci, que contem em sua formulação o *Bacillus subtilis*, agiu como atenuante do estresse hídrico no solo.

Alguns autores relatam a eficiência das bactérias *Bacillus* sp como atenuantes do estresse hídrico em milho (KAVAMURA, 2012), com destaque para o produto comercial BIOBACI (SEVERO, 2021).

No atributo carbono da biomassa microbiana (CBM), observou-se que houve diferença entre os tratamentos e lâminas de irrigação, em que os maiores resultados para a lâmina que representou 50% da ETc ocorreu no tratamento em que foi aplicado o produto Arbolina (P4) e menores para o controle com a formulação com CoMo (cobalto + molibdênio) (C2), os tratamentos referentes aos produtos à base de bactérias promotoras do crescimento vegetal tiveram comportamento semelhantes entre si, mas superiores aos controles C1 e C2 (Figura 3). Já para a lâmina de irrigação a 100% da ETc, houve diferença dos controles e tratamentos P1, P2 e P4 em relação ao tratamento que recebeu o produto Azokop (P3).

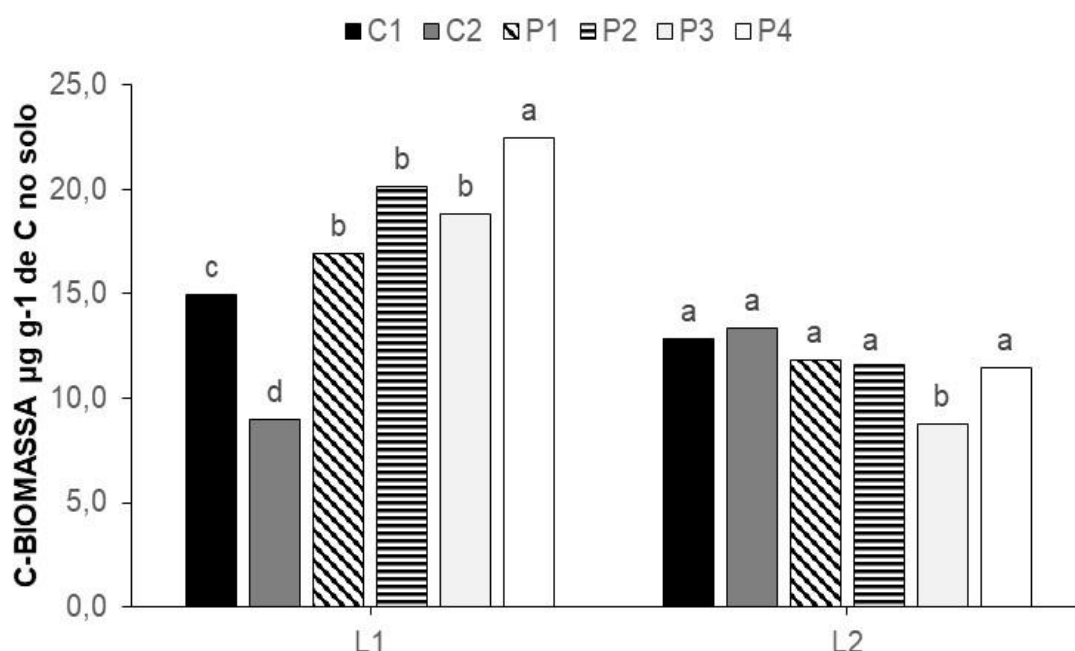


Figura 3. Carbono da Biomassa microbiana ($\mu\text{g g}^{-1}$ de C no solo) das amostras de solo da rizosfera de milho cultivado sob duas lâminas de irrigação (50% da ETc (L1) e 100% da ETc (L2)) e seis tratamentos referentes a produtos atenuantes do estresse hídrico: sem aplicação de produtos (C1), CoMo (cobalto + molibdênio) (C2),

No-Nema (*Bacillus amyloliquefaciens*)+Azokop (*Azospirillum brasiliensis*) (P1), BIOBACI (P2), Azokop (P3), Arbolina (P4) na fazenda experimental do CCTA/UFCG no município de São Domingos – PB, 2022.

O maior resultado para o tratamento que recebeu arbolina pode ser explicado pela capacidade que as nanopartículas tem de atenuar determinados estresse sofrido pela cultura no campo e favorecendo o desenvolvimento dos microrganismos do solo. Para alguns autores os nanofertilizantes pode ter uma grande importância na nutrição e na proteção de plantas contra estresses abióticos. (CHHIPA, 2017; LV et al., 2020; SHARMA; DEWANJEE; KOLE, 2016; ZAHEDI; KARIMI; SILVA, 2020; ZHAO, L. et al., 2020).

Além disso, outros autores confirmam que os nanofertilizantes possuem efeito atenuantes do estresse hídrico (AHMADIAN et al., 2021; GHOLINEZHAD, 2017; LIN et al. 2018).

Tejada et al. (2002) verificaram que a adição de fertilizante mineral ao solo resulta na alteração dos índices de qualidade microbiológicos, evidenciando o estresse da fertilização sobre as comunidades microbianas. Nesse sentido, a adubação mineral com NPK mesmo sendo na dose recomendada para cultura pode ter inibido a ação dos produtos que continham microrganismos atenuantes, provocando a não estimulação dos microrganismos e consequente diminuição do carbono da biomassa, principalmente no tratamento que continha o Azokop.

A biomassa microbiana do solo e sua atividade apresentam elevada reatividade às alterações das propriedades químicas do solo, mesmo que essas ocorram em pequena escala (DIACONO; MONTEMURRO, 2015).

O quociente metabólico (qCO_2) que representa o quão eficiente foi a conversão do C orgânico para o ecossistema, diferiu entre os tratamentos referentes aos produtos testados (Figura 7). Para a lâmina de 50% da ETc os maiores valores foi obtido no tratamento C2, em que foi aplicado o produto CoMo (cobalto + molibdênio) (C2), enquanto para a Lâmina de 100%, destacaram-se os tratamentos P2, P3 e P4.

Esses resultados podem estar relacionados com fatores de estresse sofridos pelos microrganismos na lâmina de 50% sem o uso de atenuantes e devido a carência hídrica ocasionado pela menor quantidade de água no solo. Sakamoto e Obo, (1994) indica que em geral, valores elevados 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.

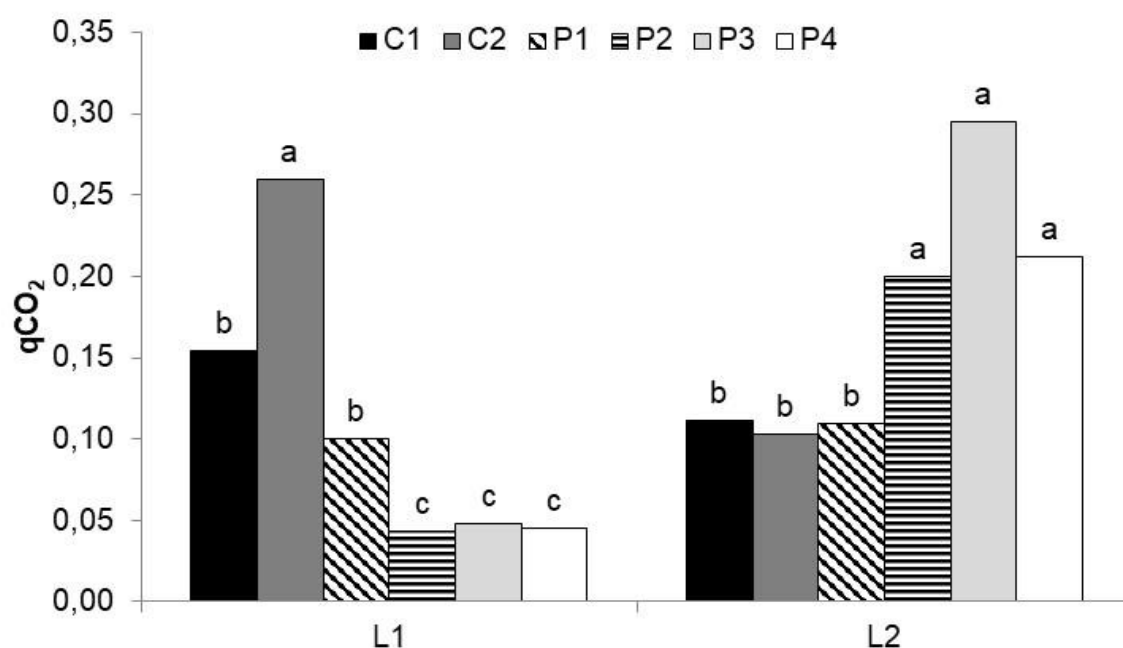


Figura 4. Quociente metabólico qCO_2 das amostras de solo da rizosfera de milho cultivado sob duas lâminas de irrigação (50% da ETc (L1) e 100% da ETc (L2)) e seis tratamentos referentes a produtos atenuantes do estresse hídrico: sem aplicação de produtos (C1), CoMo (cobalto + molibdênio) (C2), No - Nema (*Bacillus amyloliquefaciens*)+Azokop (*Azospirillum brasiliensis*) (P1), BIOBACI (P2), Azokop (P3), Arbolina (P4) na fazenda experimental do CCTA/UFCG no município de São Domingos – PB, 2022.

A medida que a biomassa microbiana do solo se torna mais eficiente na utilização de recursos do ecossistema, menos CO_2 é liberado pela respiração e maior proporção de carbono de C é incorporada aos tecidos microbianos, o que resulta em diminuição do coeficiente metabólico (DA COSTA et al., 2010).

Com relação ao coeficiente metabólico (qCO_2), trata-se de um índice que expressa a quantidade de C- CO_2 desprendido por unidade de biomassa microbiana

num período de tempo específico, e cresce na proporção em que aumenta o estresse da comunidade microbiana (NOGUEIRA, 2013). Segundo Matias et al. (2009), afirma que elevados valores de qCO_2 consegue apontar estresse sobre comunidade microbiana causados por distúrbio no solo, originando grande quantidade de carbono da biomassa perdida como CO_2 , pois para reparação dos danos é fundamental que haja o desvio de energia do crescimento e reprodução para a manutenção celular.

Portanto, durante estresse na biomassa microbiana, haverá direcionamento de mais energia para a manutenção celular, em lugar do crescimento, de forma que uma proporção de carbono da biomassa será perdida como CO_2 (MATIAS et al., 2009).

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 .

FERREIRA et al. (2017) estudando a influência do regime hídrico na população microbiana do solo, observou que aumentando a umidade, ocorre também um aumento significativo na respiração.

Segundo Souza et al. (2006), à medida que a BMS torna-se mais eficiente, menos C é perdido como CO_2 pela respiração e uma fração significativa é incorporada ao tecido microbiano; com isso, solos com baixo qCO_2 estariam mais próximos do estado de equilíbrio. No entanto, as interpretações do quociente metabólico devem ser feitas com critério, visto que somente 15 a 30 % da BMS do solo é catabolicamente ativa (MAC DONALD, 1986), e o restante dos microrganismos do solo está na forma inativa ou latente, tendo baixa atividade.

5. CONCLUSÃO

Houve alteração dos biondicadores da qualidade do solo em milho sob déficit hídrico e bioinoculantes.

O milho submetido ao déficit hídrico estimulou a respiração do solo em resposta dos produtos atenuantes do estresse hídrico.

O quociente metabólico comportou-se de modo diverso entre as lâminas de irrigação, indicando ambiente estável na lâmina com 50% da ET_c onde foi aplicado os produtos atenuantes.

REFERÊNCIAS

ADAMCOVÁ, D. et al., 2016. Soil contamination in landfills: a case study of a landfill in Czech Republic. **Solid Earth** 7, 239-247.

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

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

ALLEN, R.G. et al. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO **Irrigation and drainage paper 56**. FAO, Rome, v. 300, n. 9, p. D05109, 1998.

ALVES, T. dos S. et al. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 341- 347, jul/set. 2011.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, 25(3):393-395, 1993.

ARAGÃO, D. V. de et al. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. **Acta amazônica**, v. 42, n. 1, p. 11-18, 2012.

BALOTA et al (2017) Manejo e qualidade biológica do solo. Londrina: Mecenaz
BARROS, G. S. A. C.; ALVES, L. R. A. USP-ESALQ. **Visão agrícola**. Nº13, Piracicaba –SP. Acesso em: 24 JUL. 2022.

BASHAN, Y., DE-BASHAN, L. E., PRABHU, S. R., AND HERNANDEZ, J. P. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998-2013). **Plant and Soil** 378, 1-33.

BATISTA, E. R. et al. Atributos biológicos do solo em sistema integrado de produção agropecuária. Sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil. Tubarão, **Copiart**, p. 71-90, 2018.

BHARDWAJ, D. et al. Biofertilizers function as key player in sustainable agriculture by improving soil fertility, plant tolerance and crop productivity. **Microbial Cell Factories**, 13: 1-10, 2014.

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

BÜNEMANN, E. K. et al. Soil quality –A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, 20: 105-125, 2018.

CARDOSO, E. J. B. N. et al. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, v. 70, n. 4, p. 274-289, 2013.

CHHIPA, H. Nanofertilizers and nanopesticides for agriculture. **Environmental Chemistry Letters**, vol. 15, no. 1, p. 15–22, 2017.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: Agricultural Experiment Station, 1942. 124p.

CLEMENTE, Damião Inácio et al. **Estresse hídrico sobre caracteres morfofisiológicos e agronômicos em populações de milho**. 2017.

COELHO, M.A.; SONCIN, N.B. **Geografia do Brasil**. São Paulo: Moderna, 1982. 368p.

CURL, E.A.; RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: WILKINSON, R.E., ed. Research methods in weed science. Atlanta, **Southern Weed Science Society**, 1972. p.162-194.

DA COSTA, Adriana Rodolfo et al. Impacto da adubação nitrogenada sobre os indicadores biológicos do solo em cultivo de feijão irrigado sob plantio direto. In: Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 13.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 11.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 8., 2010, Guarapari. Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro: **anais**. Viçosa, MG: SBCS, 2010.

DIACONO, M.; MONTEMURRO, F. Effectiveness of organic wastes as fertilizers and amendments in salt-affected soils. **Agriculture**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 221-230, abr. 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture5020221>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/5/2/221>. Acesso em: 07 AGO. 2022.

DORAN, J. W.; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 15, p. 3-11, 2000.

DU JARDIN, Patrick. Bioestimulantes vegetais: Definição, conceito, principais categorias e regulação. **Scientia horticultrae** , v. 196, p. 3-14, 2015.

DUARTE, E.C.C. et al. Manejo de herbicidas no controle de plantas daninhas e sua influência no crescimento e produção do milho híbrido AG 1051. **AGROTEC**, v.37, n.1, p.71-80, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.25066/agrotec.v37i1.29718>. Acesso em: 09 jul. 2022.

EMBRAPA - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011. 225 p.

EMBRAPA - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. Brasília: EMBRAPA, 2018. 356p.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; VIDOR, C. Utilização de micro-ondas 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), Lavras, v.35, p.1039-1042, 2011.

FERREIRA, Enderson Petrônio de Brito; STONE, Luis Fernando; MARTIN-DIDONET, Claudia Cristina Garcia. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 22-31, 2017.

FERREIRA, N.C. et al. *Bacillus subtilis* improves maize tolerance to salinity. **Ciência Rural**, v.48:08, e20170910, 2018.

FIDELIS, R.R. et al., 2016. Indicadores biológicos de qualidade do solo em culturas intercalares ao pinhão manso. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, 9, 87-95.

FREITAS, L. et al., 2017. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **UNIMAR Ciências** 26,08-25.

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.

GHYSELINCK, J. et al. Bioprospecting in potato fields in the Central Andean Highlands: screening of rhizobacteria for plant growth-promoting properties. **Systematic and Applied Microbiology**, v.36, n.2, p.116-127. 2013.

GOMES, S. S; GOMES, M. S; GALLO, A. S; MERCANTE, F. M; BATISTOTE, M; SILVA, R. F. Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas. **Rev. Fac. Agron. La Plata**, v. 114, p. 30-37, 2015.

HEGER, T. J.; IMFELD, G.; MITCHELL, E. A. D. Special issue on “Bioindication in soil ecosystems”: Editorial note. **European Journal of Soil Biology**, Paris, v. 49, p. 1–4, 2012.

HOFFMANN, R. B.; MOREIRA, E. E. A.; HOFFMANN, G. S. S.; ARAÚJO, N. S. F. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Braz. J. Anim. Env. Res.**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 168-178, jul./set. 2018.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071700002455?via%3Dihub>.

Acesso em: 08 ago. 2022.

IMEA- Instituto mato-grossense de economia agropecuária. Disponível em: <https://www.imea.com.br/imea-site/relatorios-mercado>. Acesso em 23/Jul/2022.

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 ENPOS-Congresso 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.

JENKINSON, D. S.; LADD, J. N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. **Soil biochemistry**, v. 5, n. 1, p. 415-471, 1981.

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.

KASCHUK, G. et al., 2010. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry** 42, 1-13.

KASIM, W. A.; OSMAN, M. E.; OMAR, M. N.; EL-DAIM, I. A. A.; BEJAI, S.; MEIJER, J. Control of Drought Stress in Wheat Using Plant-Growth-Promoting Bacteria. **Journal of Plant Growth Regulation**, Egypt, v.32, n.1, p. 122-130, 2013.

KAUSHAL, M.; WANI, S.P. Plant -growth-promoting rhizobacteria: drought stress alleviators to ameliorate crop production in drylands. **Annals of Microbiology**. v. 66, p.35–42, 2016.

KAVAMURA, V.N. **Bactérias Associadas às Cactáceas da Caatinga: promoção de crescimento de plantas sob estresse hídrico**, ESALQ, 2012. 246p. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, SP.

KHOLKHAR, I.; HAIDER, M. S.; MUKHTAR, I. A. A.; MUSHTAG, S. Evaluation of antagonistic activity of soil bacteria against plant pathogens fungi. **Pakistan Journal of Phytopathology**, v. 23, p. 166-169, 2011.

KOPP, L. M.; PEITER, M. X.; BEN, L. H. B.; NOGUEIRA, H. M. C. D. M.; PADRON, R. A. R.; ROBAINA, A. D.; BUSKE, T. C. Simulação da necessidade hídrica e estimativa de produtividade para cultura do milho em municípios do RS. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Pelotas-RS, v. 14, n. 2, p. 235-246, 2016.

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

LIMA, K.R. et al., 2017. Soil fauna as bioindicator of recovery of degraded areas in the caatinga biome. **Revista Caatinga** 30, 401 – 411.

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.

LISBOA, F.M. et al., 2016. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. **Pesquisa agropecuária brasileiro** 9, p.1184-1193.

LV, Z.; JIANG, R.; CHEN, J.; CHEN, W. Nanoparticle-mediated gene transformation strategies for plant genetic engineering. **Plant Journal**, vol. 104, no. 4, p. 880–891, 2020.

MACHADO, R.W.B. Inoculação foliar de plantas de milho com *Bacillus subtilis* e *Azospirillum brasilense*. **Enciclopédia Biosfera**, v.17 n.34; p. 289, 2020.

MACHADO; D. F. M.; PARZIANELLO, F. R.; SILVA, A. C. F.; ANTONIOLLI, Z. I. *Trichoderma* no Brasil: O fungo e o bioagente. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 35, n. 1, p. 274-288, 2012.

MAIA, C. E. Qualidade ambiental em solo com diferentes ciclos de cultivo do meloeiro irrigado. **Ciênc. Rur.** v. 43, p. 603-609, 2013.

MALUSÀ, E.; PINZARI, F.; CANFORA, L. Efficacy of biofertilizers: challenges to improve crop production. In: SINGH, D. P.; SINGH, H. B.; PRABHA, R. Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity. **New York: Springer**, 2016. v. 2, p. 17-40.

MARCHETTI, M. M.; BARP, E. A. Efeito rizosfera: A importância de bactérias fixadoras de nitrogênio para o solo/planta – Revisão. **IGNIS: Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia da Informação**. Caçador, v.4, n.1, p. 61-71, 2015.

MARQUES, D.M. et al. *Azospirillum brasilense* favors morphophysiological characteristics and nutrient accumulation in maize cultivated under two water regimes. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 19, e1152, 2020.

Martins, G.S.; Abreu, V.P. & Campos, A.N.R. 2011. Respiração basal do solo acrescido de compostos orgânicos de carbono para monitoramento da qualidade biológica do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECO-LOGIA, 2, Fortaleza, Ceará. **Resumo Expandido: Cadernos de Agroecologia**, 6(2).

MARTINS, J. C.; FERNANDES, R. Processos de degradação do solo-medidas de prevenção. **Dossier Técnico Vida Rural**, 2017.

MATIAS, Maria da Conceição Bezerra da Silva et al. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 517-521, 2009.

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

MATSUNAGA, W. K; RODRIGUES, H. J. B; RODRIGUES, P. G. Atributos Microbiológicos de Solo, relacionados às Atividades da Microfauna em Solo na Floresta Amazônica. **Anuá. Inst. Geo.** – UFRJ, v. 41, n. 3 p. 630-638, 2018.

MELLONI, R. 2007. **Quantificação Microbiana da Qualidade do Solo**. In: Silveira, A.P.D., Freitas, S.S. Microbiota do solo. Campinas: Instituto Agrônomo. Cap. 11. p. 193-218.

MELLONI, R. et al. 2018. Sistemas agroflorestais cafeeiro-araucária e seu efeito na microbiota do solo e seus processos. **Ciência Florestal** 28, 784- 795.

MELO, V.F.; SILVA, D.T.; EVALD, A.; ROCHA, P.R.R. 2017. Chemical and biological quality of the soil in different systems of use in the savanna environment. **Revista Agro@ambiente on-line**, 11(2): 101-110.

MENDES, I. de C. et al. Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo. **Embrapa Cerrados-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2018.

MENDES, I.C., SOUSA, D.M.G., REIS JÚNIOR, F.B., 2015. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia** 32, 185-203.

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.

MOREIRA, F. M. S & SIQUEIRA, J. O.; Microbiologia e bioquímica do solo. 2.ed. atual. E ampl. Lavras: **Editora UFLA**, 2006. Cap 2. Pag: 17- 82.

NAZIR, N. et al. Mechanism of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in enhancing plant growth-A Review. **International Journal of Management, Technology and Engineering**, v.8, p.709-721. 2018.

NOGUEIRA, Marco Antonio. "Aplicação de resíduos ao solo: a microbiologia pode ajudar no monitoramento?." In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34., 2013, Florianópolis. Ciência do solo: para quê e para quem? **Anais...** Florianópolis: SBCS, 2013.

OLIVEIRA A.R., BRAGA M.B. & WALKER A.M. (2015). Comportamento vegetativo e qualidade tecnológica de cultivares de cana-de-açúcar submetidas ao estresse hídrico em condições Semiáridas do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física** 8, 525-541.

OLIVEIRA-SILVA, M.; VELOSO, C.L.; NASCIMENTO, D.L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D.F.; COSTA, K.D.S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Braz. J. of Develop.** Curitiba, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, jul. 2020. DOI:10.34117/bjd6n7-431.

PAUL, E. A. **Soil microbiology, ecology, and biochemistry**. Academic press. 2014. 598 p.

PAULA, Gabriel Ferreira; DEMÉTRIO, Gilberto Bueno; MATSUMOTO, Leopoldo Sussumu. POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DE RIZOBACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO DE PLANTAS DE SOJA. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 2, p. 328-338, 2021.

PEREIRA, S.I.A. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) improve the growth and nutrient use efficiency in maize (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. **Helyon**, e05106, 2020.

PICAZEVICZ, A.A.C. et al. Maize growth in response to *Azospirillum brasilense*, *Rhizobium tropici*, molybdenum and nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.9, p.623-627, 2017.

PINTER, I.F. et al. Characterization of the As (III) tolerance conferred by plant growth promoting rhizobacteria to in vitro-grown grapevine. **Applied Soil Ecology**. v.109, p.60-68. 2017.

RAMOS, D. T. **Condições de um latossolo vermelho amarelo eutrófico submetido à diversos sistemas de manejo na cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.)**. 2017. 89p. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical) - Faculdade De Agronomia e Zootecnia, Universidade Federal De Mato Grosso, Cuiabá. 2017.

RIBEIRO, E.A.S. **Produção de Milho-verde Irrigado por Gotejamento em Teresina-PI**, UFPI, 2017. 82p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - UFPI-PI, Teresina, PI.

ROSA, M.G. et al., 2015. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 39,1544-1553.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: **EMBRAPA Agropecuária Oeste**, 2006. 304 p.

RUDRAPPA, L.; PURAKAYASTHA, T. J.; SINGH, D.; BHADRARAY, S. Long-term manuring and fertilization effects on soil organic carbon pools in a Typic Haplustept of semi-arid sub-tropical India. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 88, n. 1-2, p. 180- 192, jul. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.05.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198705001686?via%3Dihub>. Acesso em: 05 ago. 2022.

SAKAMOTO, K.; OBO, Y. **Effects of fungal to bacterial rasion the relationship between CO 2evolutionand total microbial biomass**. *BiologyFertilitySoils* , v.17, p 39 - 44, 1994.

SANTOS, D. et al. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.836-842. 2018.

SEVERO, P. J. S. **Produção de milho verde sob déficit hídrico em associação à bactérias promotoras do crescimento ou Co+ Mo**. 2021. 43p. (Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2021.

SHARMA, R.; DEWANJEE, S.; KOLE, C. Utilization of nanoparticles for plant protection. **Plant Nanotechnology: Principles and Practices**. [S. l.: s. n.], 2016. p. 305–327.

SHETEIWY et al. Inoculation with *Bacillus amyloliquefaciens* and mycorrhiza confers tolerance to drought stress and improve seed yield and quality of soybean plant. **Physiologia Plantarum**, v., p.1–17, 2021.

SILVA, R. B. et al. Atividade microbiana do solo em função do sistema de cultivo e integração lavoura-pecuária. In: XVIII ENCONTRO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 18, 2013. Presidente Prudente. **Anais... Presidente Prudente: UNOESTE 2013**. p. 16-20.

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: 11 Ago. 2022.

SOBUCKI, L; RAMOS, R. F; BELLÉ, C; ANTONIOLLI, Z. I. Manejo e qualidade biológica do solo: uma análise. **Rev. Agron. Bras.**, v. 3, n.4, 2019.

SOBUCKI, Lisiane et al. Manejo e qualidade biológica do solo: uma análise. **Rev. Agron. Bras**, v. 3, n. 4, 2019.

SOUTO, P. C. et al. Taxa de decomposição da serapilheira e atividade microbiana em área de caatinga. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 4, p. 559-565, out./dez. 2013.

SOUZA, E.D.; CARNEIRO, M.A.C.; PAULINO, H.B.; SILVA, C.A. & BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob Cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Sci. Agron.**, 28:323-329, 2006.

SOUZA, L. C.; MELO, N. C.; SIQUEIRA, J. A. M.; SILVA, V. F. A.; OLIVEIRA NETO, C. F. Comportamento bioquímico no milho submetido ao déficit hídrico e a diferentes concentrações de silício. **Revista Agrarian**, Dourados-MG, v. 8, n. 29, p. 260-267, 2015.

STÖCKER, Cristiane Mariliz et al. Bioindicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, p. 848-859, 2017.

STOTZKY, G. Microbial respiration. In: BLACK, C.A., ed. Methods of soil analysis. Madison, **American Society of Agronomy**. p.1551-1572. 1965.

STUMPF, L. et al., 2016. Recuperação de solos degradados por mineração de carvão: indicadores de qualidade e espécies vegetais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 11: 210-217.

TAIZ, L. et al. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

TEJADA, M.; BENITEZ, C.; GONZALEZ, J. L. Nitrogen mineralization in soil with conventional and organomineral fertilization practices. **Communications in soil science and plant analysis**, [s. l.], v. 33, n. 19-20, 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: 06 ago. 2022.

TIWARI, S. et al. *Bacillus*: Plant growth promoting bacteria for sustainable agriculture and environment. In: **New and future developments in microbial biotechnology and bioengineering**. Elsevier, cap. 3, p.43-55. 2019.

TRESEDER, K. K. Nitrogen additions and microbial biomass: a meta-analysis of ecosystem studies. **Ecology Letters**, [s. l.], v. 11, n. 10, p. 1111-1120, set. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01230.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1461-0248.2008.01230.x>. Acesso em 17 jul. 2022.

YADA, M. M. et al., 2015. Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração de estanho e em fase de recuperação em ecossistema amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 39, 714-724.

ZAHEDI, S. M.; KARIMI, M.; TEIXEIRA DA SILVA, J. A. The use of nanotechnology to increase quality and yield of fruit crops. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, vol. 100, no. 1, p. 25–31, 2020.

ZAREI, T. et al. Melhorando o crescimento e o rendimento do milho doce (*Zea mays* L. var *saccharata*) usando a inoculação de *Pseudomonas fluorescens* sob regimes de rega variados. **Agricultural Water Management**, v. 226. 2019.

ZHAO, L.; LU, L.; WANG, A.; ZHANG, H.; HUANG, M.; WU, H.; XING, B.; WANG, Z.; JI, R. Nano-Biotechnology in Agriculture: Use of Nanomaterials to Promote Plant Growth and Stress Tolerance. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, vol. 68, no. 7, p. 1935–1947, 2020.