

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**

**CÂMPUS CHAPADÃO DO SUL**

**RUBIA BEATRIZ SILVEIRA DOS SANTOS**

**BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO ARENOSO COM O USO DE  
SOLUBILIZADORES DE FOSFATO E FONTE DE FÓSFORO NA CULTURA  
DA SOJA**

**CHAPADÃO DO SUL**

**2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL**

**CÂMPUS CHAPADÃO DO SUL**

**BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO ARENOSO COM O USO DE  
SOLUBILIZADORES DE FOSFATO E FONTE DE FÓSFORO NA CULTURA  
DA SOJA**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado a  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como  
parte das exigências para a obtenção do título de  
Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Profa. Dra. Meire Aparecida  
Silvestrini Cordeiro.

**CHAPADÃO DO SUL**

**2023**



## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

AUTORA: **RUBIA BEATRIZ SILVEIRA DOS SANTOS.**

ORIENTADORA: **Profa. Dra. Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro.**

Aprovada pela Banca Examinadora como parte das exigências do Componente Curricular Não Disciplinar TCC, para obtenção do grau de BACHARELA EM AGRONOMIA, pelo curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Câmpus de Chapadão do Sul.

**Profa. Dra. Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro**  
Presidente da Banca Examinadora e Orientadora

**Profa. Dra. Elisangela de Souza Loureiro**  
Membro da Banca Examinadora

**Profa. Dra. Lucymara Merquides Contardi**  
Membro da Banca Examinadora

Chapadão do Sul, 28 de novembro de 2023.

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro, Professora do Magistério Superior**, em 28/11/2023, às 14:59, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Elisangela de Souza Loureiro, Professora do Magistério Superior**, em 28/11/2023, às 15:07, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

NOTA  
MÁXIMA  
NO MEC

UFMS  
É 10!!!



Documento assinado eletronicamente por **Lucymara Merquides Contardi, Usuário Externo**, em 28/11/2023, às 15:09, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no § 3º do art. 4º do



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufms.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4479362** e o código CRC **26244158**.

---

**COORDENAÇÃO DE GESTÃO ACADÊMICA DO CÂMPUS DE CHAPADÃO DO SUL**

Câmpus de Chapadão do Sul - Rod MS 306, Km 105, Caixa Postal 112

Fone:

CEP 79560-000 - Chapadão do Sul - MS

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me conduzir e me sustentar em todos os momentos, bons e difíceis.

A minha tia Claudia Andrea Aquino Silveira que sempre esteve presente me incentivando e me dando todo o suporte financeiro quando mais precisei.

A minha orientadora professora Dra. Meire Aparecida Silvestrini Cordeiro, que foi como uma mãe, essencial para minha formação, sempre acreditando em meu potencial e me auxiliando não só para que esse trabalho fosse executado, mas também em vários momentos durante a graduação, a qualquer dia e hora.

Ao meu namorado, Gustavo Rodrigues Lemes e a minha sogra Magda Rodrigues Lemes que mesmo distantes sempre estiveram comigo em todos os momentos, dando todo o apoio e torcendo por meu sucesso.

As minhas amigas Maria Giulia Hayashi e Gabriella Silva de Gregori que foram essenciais para meu crescimento pessoal, deixando as experiências mais leves e divertidas.

Aos integrantes do grupo PET Agroflorestral que se prontificaram a me ajudar e por me mostrarem todas as vantagens de estar um “time”, especialmente a Breno Selles Pinto e Marco Fernandes Araújo Lima por toda troca de experiência e ajuda em minhas análises.

A Estela Flores que compartilhou comigo parte de seu trabalho permitindo que este fosse realizado.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul por todo conhecimento e aprendizado ao longo de minha trajetória, de suma importância para meu crescimento pessoal e profissional.

A todos os professores que tive a honra de conhecer, trocar experiências e aprendizado.

A todos que me ajudaram meu sincero obrigado!

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>7</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>15</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>16</b>

## BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO ARENOSO COM O USO DE SOLUBILIZADORES DE FOSFATO NO CULTIVO DA SOJA

**RESUMO:** Solos brasileiros, em especial os solos arenosos, são caracterizados pela baixa fertilidade e com fósforo (P) pouco acessível para as plantas, uma das estratégias para o melhor aproveitamento desse nutriente é o uso de microrganismos solubilizadores de P, que contribuem com maiores produtividades e melhora na qualidade biológica do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar os bioindicadores de qualidade do solo em resposta à utilização de diferentes combinações de solubilizadores de fosfato em solo arenoso cultivado com soja. O experimento foi realizado no município de Sonora - MS, em uma área comercial de primeira safra de soja, em um solo classificado como Neossolo Quartzarênico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) com cinco tratamentos e cinco repetições, totalizando 25 parcelas as quais tinham 24 linhas de 5 metros de comprimento espaçadas em 0,45m entre elas. Os tratamentos foram: 1) Testemunha - sem tratamento no sulco de semeadura; 2) Padrão Fazenda (PF): *Azospirillum brasilense* + *Bradyrhizobium japonicum* + *Bacillus methylotrophicus* + *Trichoderma asperellum*; 3) PF + *Pseudomonas fluorescens* (PF + *Pseudomonas*); 4) PF + bioestimulante organomineral (PF + Orgânico) e 5) PF + adubo mineral (PF+ mineral), todos aplicados no sulco de semeadura. As variáveis avaliadas foram: carbono na biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana do solo (RMS), quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e atividade enzimática das enzimas  $\beta$ -glicosidase e fosfatase. Para a variável CBM o tratamento PF + orgânico apresentou o maior valor (231,48  $\mu\text{g C g}^{-1}$  solo seco). De maneira geral, os tratamentos PF e PF+orgânico foram os que proporcionaram maiores valores de CBM, assim como para as enzimas estudadas, e os menores valores de RMS e  $qCO_2$ . Portanto, a utilização de diferentes combinações de solubilizadores de fosfato melhorou a qualidade microbiológica do solo arenoso.

**Palavras-chave:** Soja, atividade microbiana do solo, atividade enzimática, carbono da biomassa, respiração microbiana.

## BIO INDICATORS OF SANDY SOIL QUALITY WITH THE USE OF PHOSPHATE SOLUBILIZERS IN SOYBEAN CULTIVATION

**ABSTRACT:** Brazilian soils, especially sandy soils, are characterized by low fertility and with phosphorus (P) little accessible to plants. One of the strategies for better use of this nutrient is the use of P-solubilizing microorganisms, which contribute to greater productivity and improves the biological quality of the soil. The objective of this work was to evaluate soil quality bioindicators in response to the use of different combinations of phosphate solubilizers in sandy soil cultivated with soybeans. The experiment was carried out in the municipality of Sonora - MS, in a commercial area with the first soybean harvest, in a soil classified as Quartzarene Neosol. The experimental design was in randomized blocks (DBC) with five treatments and five replications, totaling 25 plots which had 24 rows of 5 meters in length spaced 0.45m apart. The treatments were: 1) Testemunha - no treatment in the sowing furrow; 2) Padrão Fazenda (PF): *Azospirillum brasilense* + *Bradyrhizobium japonicum* + *Bacillus methylotrophicus* + *Trichoderma asperellum*; 3) PF + *Pseudomonas fluorescens* (PF + Pseudomonas); 4) PF + bioestimulante organmineral (PF + orgânico) and 5) PF + fertilizante mineral (PF+ mineral). The variables evaluated were: carbon in microbial biomass (CBM), soil microbial respiration (RMS), metabolic quotient ( $q\text{CO}_2$ ) and enzymatic activity of the enzymes  $\beta$ -glucosidase and phosphatase. For the CBM variable, the PF + orgânico treatment presented the highest value (231,48  $\mu\text{g C g}^{-1}$  dry soil). In general, the PF and PF+orgânico treatments were those that provided the highest MBC values, as well as for the enzymes studied, and the lowest RMS and  $q\text{CO}_2$  values. Therefore, the use of different combinations of phosphate solubilizers improved the microbiological quality of the sandy soil.

**Keywords:** Microbiological indicators, soil microbial activity, enzymatic activity, biomass carbon, microbial respiration.

## INTRODUÇÃO

O setor agrícola é uma das esferas econômicas mais vitais do Brasil (Barros; Castro, 2017), onde todas as regiões do país desempenham papel importante na produção destinada à exportação, com destaque à *commodities* como a soja (*Glycine max*) (Conab, 2023). No entanto, fatores abióticos afetam a produtividade dessa importante cultura, especialmente quando se trata do cultivo em solos arenosos, atualmente utilizados como alternativa para a restauração de pastagens degradadas nos cerrados.

Caracterizados por baixo teor de argila, solos arenosos enfrentam dificuldades na retenção de água e nutrientes, situação que prejudica o desenvolvimento das plantas, ocasionando em queda no rendimento das culturas, como a soja (Bordin et al., 2020). Dentre os nutrientes com maior dificuldade de manejo nesse tipo de solo, destaca-se o fósforo (P), que é facilmente adsorvido devido à alta reatividade e à alta taxa de adsorção desses solos, que o torna indisponível para as plantas (Ardon et al., 2022). Uma preocupação adicional, em relação ao P, um dos nutrientes essenciais para as plantas, trata-se de sua disponibilidade no mercado, pois é um recurso geograficamente restrito e finito (Da Luz; Brito, 2022). Dessa forma, torna-se necessária a adoção de tecnologias e práticas agronômicas visando o melhor aproveitamento desse nutriente na agricultura.

Uma alternativa promissora, nesse desafio de melhorar a qualidade do solo em regiões arenosas, é a utilização de microrganismos solubilizadores de fosfato. Esses microrganismos possuem a capacidade de transformar os fosfatos minerais fixados no solo em formas solúveis, disponíveis às plantas, promovendo o desenvolvimento eficiente das culturas (Penn; Camberato, 2019). Isso pode resultar na redução da necessidade de aplicar grandes quantidades de fertilizantes fosfatados, ocasionando benefícios significativos do ponto de vista econômico e ambiental, uma vez que, contribui com a diminuição do uso excessivo de fertilizantes (Beltrán, 2014).

Nessa interação entre microrganismos e plantas, os microrganismos solubilizadores de fosfato ao fornecer fosfato solúvel, fazem com que as plantas liberem açúcares e ácidos orgânicos essenciais para o crescimento da comunidade microbiana. Essa relação é crucial para disponibilizar esse nutriente em forma orgânica e assimilável pelas plantas (Carvalho, et al., 2016), afetando diretamente as interações no solo, o qual passou a ser identificado como um componente dinâmico e essencial de estudo, em vez de simplesmente servir como suporte para as plantas (Balota, 2017).

No solo, vários processos ecológicos como a decomposição, a formação de matéria orgânica e a mineralização de nutrientes são mediados por microrganismos, simultaneamente, causando impactos diretos em sua qualidade e no crescimento saudável das plantas (Chavarría et al., 2016). Sendo que para avaliar a qualidade do solo são envolvidas análises detalhadas, tanto qualitativa como quantitativa, abrangendo parâmetros físicos, químicos e biológicos. Dentre os parâmetros biológicos, a biomassa microbiana, a respiração basal, o quociente metabólico e a atividade de enzimas são importantes bioindicadores de qualidade do solo (Eleftheriadis; Turrión, 2014). No entanto, estudos aprofundados para estabelecer valores referenciais desses indicadores biológicos são insuficientes para entender e aprimorar as condições variáveis de diferentes climas, tipos de solo e culturas (Balota, 2017). Essa carência de conhecimento é significativa, dada a capacidade dos microrganismos em fornecer respostas rápidas e orientações valiosas para melhorar a qualidade do solo. Logo, a realização de pesquisas específicas afim de melhorar essa dificuldade se torna imprescindível. O objetivo deste trabalho foi avaliar os bioindicadores de qualidade do solo em resposta à utilização de diferentes combinações de solubilizadores de fosfato em solo arenoso cultivado com soja.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido a campo, durante a safra de 2022/2023 no Município de Sonora – MS, situado a 17°34'37" S e 54°45'28" W e altitude de 442 metros.



Fonte: Google imagens

**Figura 1.** Mapa da localização do município de Sonora no Estado do Mato Grosso do Sul.

O clima característico da região, segundo classificação de Köppen Geiger, é do subtipo (Aw) tropical, megatérmico, com estação de inverno pouco definida ou ausente, forte precipitação anual com as chuvas de verão e temperatura média do mês mais frio  $> 18\text{ °C}$ . De acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022) o município de Sonora apresenta temperatura média de  $22\text{ °C}$  e precipitação anual média entre 1.000 mm a 1.500 mm, sendo de dezembro a março os meses mais chuvosos e de junho a setembro os mais secos.

Antecedendo a instalação do experimento foram coletadas amostras de solo da área experimental, na camada de 0 – 0,20 m para a realização da análise química, segundo método proposto por Rajj et al. (1996), apresentando os seguintes valores: pH ( $\text{CaCl}_2$ ) = 5,10; P (Mel.), K = 2,70;  $13\text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente; Ca, Mg e H+Al= 2,45; 0,69;  $9,2\text{ cmolc dm}^{-3}$ , respectivamente; V% = 39,6. Os resultados de análise textural obtidos foram: argila, silte e areia, 120; 75;  $805\text{ g dm}^{-3}$ , respectivamente.

Após a análise química e textural, foram feitos os seguintes preparos do solo: calagem, dividida em duas aplicações, sendo a primeira utilizando 4 t ha<sup>-1</sup>, com gradagem (grade 36''), buscando incorporar o calcário, então, foi realizada a segunda aplicação com 3 t ha<sup>-1</sup>. Posteriormente, foi realizada subsolagem com a intenção de, além de incorporar o calcário, quebrar a camada compactada do solo, seguida de adubação com 400 Kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato simples e aplicação de 10 Kg ha<sup>-1</sup> de boro a lanço, com a semeadura de milho em meados de setembro, aplicando-se 300 Kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante NPK (15-15-15) no pré-florescimento do milho. A área encontrava-se degradada era utilizada para a atividade de pecuária extensiva.

A implantação do experimento iniciou-se com a semeadura da cultura da soja sobre o milho, realizada no dia 14 de novembro de 2022, utilizando-se semeadora contendo 24 linhas espaçadas em 0,45 m. A cultivar utilizada foi C2379 IPRO em densidade de 12 sementes m<sup>-1</sup>. O tratamento de sementes foi realizado utilizando 2 ml Kg<sup>-1</sup> de um fungicida e inseticida de ação protetora (Piraclostrobina), sistêmico (Tiofanato Metílico) e de contato e ingestão (Fipronil), produto comercial Standak<sup>®</sup> Top. Após a semeadura da área experimental foi realizada a dessecação do milho com o herbicida glifosato (Roundup Ultra<sup>®</sup>) na dose de Kg ha<sup>-1</sup> junto a 500 g ha<sup>-1</sup> de manganês via pulverização com autopropelido.

O delineamento experimental utilizado foram blocos casualizados (DBC) com cinco tratamentos e cinco repetições, totalizando 25 parcelas. As parcelas eram formadas por 24 linhas de 5 metros de comprimento espaçadas em 0,45 m entre elas. A área útil do experimento foi composta 16 linhas centrais de cada uma das parcelas, sendo 36 m<sup>2</sup> desprezando as linhas remanescentes. Os tratamentos foram definidos sendo como: 1) Testemunha - sem tratamento no sulco de semeadura; 2) Padrão Fazenda (PF): *Azospirillum brasilense* + *Bradyrhizobium japonicum* + *Bacillus methylophilus* + *Trichoderma asperellum*; 3) PF + *Pseudomonas fluorescens* (PF + *Pseudomonas*); 4) PF + bioestimulante organomineral (PF + orgânico) e 5) PF + adubo mineral (PF+ mineral), todos aplicados no sulco de semeadura.

O tratamento padrão da fazenda (PF) foi composto de *Azospirillum brasilense* sendo utilizado o produto comercial Masterfix Gramíneas<sup>®</sup>, estirpes Abv5 e Abv6 (2 x 10<sup>8</sup> células viáveis mL<sup>-1</sup>), na dose de 500 ml ha<sup>-1</sup>; o *Bradyrhizobium japonicum* foi utilizado produto comercial Starfix<sup>®</sup> soja, estirpe SEMIA 5079 e 5080, com concentração 1 x 10<sup>10</sup> UFC mL<sup>-1</sup>, na dose de 1,2 L ha<sup>-1</sup>; o nematicida microbiológico à base *Bacillus methylophilus* foi utilizado o produto comercial ONIX<sup>®</sup> OG com concentração de 1 x 10<sup>9</sup> UFC mL<sup>-1</sup>, na dose de 200 ml ha<sup>-1</sup>; o fungicida microbiológico a base de *Trichoderma asperellum* foi utilizado o produto comercial Quality<sup>®</sup> com concentração de 1 x 10<sup>10</sup> conídios viáveis na dose de 100 g ha<sup>-1</sup>. Para

o tratamento PF + *Pseudomonas* foi utilizado todos os produtos descritos anteriormente, somando-se o produto comercial Hober® Phos, que é a base de *Pseudomonas fluorescens*, estirpe ATcc 13525,  $2 \times 10^8$  UFC mL<sup>-1</sup>, na dose de 180 mL ha<sup>-1</sup>. O tratamento PF + orgânico foi utilizado os microrganismos do PF somando-se a um bioestimulante, produto comercial Flexroots®, composto de carbono orgânico 5%, Molibidênio 0,05%, metagenômica: 16S rDNA contendo 76,63% de *Lactobacillus*, 10,21% de *Prevotella*, 5,63% de Actinomicetos e 7,73% de outros; 89,5% de *Saccharomyces*, 5,5 % de *Actinomucor* e 5,0% de outros e materiais silicáticos na dose de 1 L ha<sup>-1</sup>.

O tratamento PF+ mineral foi a soma dos microrganismos do PF com um fertilizante mineral misto, produto comercial TOP-KM®, com garantias de 1% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 1% de K<sub>2</sub>O, na dose de 2 L ha<sup>-1</sup>. Os produtos utilizados para os tratamentos foram diluídos em água, os quais foram misturados através de um sistema de agitação visando garantir adequada homogeneização dos produtos, e posteriormente foram aplicados no sulco de plantio por um pulverizador acoplado na semeadora. Após a semeadura a área experimental foi conduzida com tratos culturais necessários (herbicidas, fungicidas e inseticidas) conforme usado nas áreas comerciais de soja da região.

Na fase de florescimento da cultura da soja foi realizada amostragem de solo, na camada de 0-15 cm, sendo retirada uma amostra da linha e outra da entrelinha, em vários pontos da parcela, originando uma amostra composta para cada tratamento. Essas amostras foram então armazenadas em sacos plásticos individuais e conservadas em geladeira a 5 °C, para posteriormente serem realizadas as análises laboratoriais das variáveis seguintes variáveis: carbono na biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana do solo (RMS), quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ), atividade enzimática das enzimas  $\beta$ -glicosidase e fosfatase ácida.

A quantificação do teor de carbono da biomassa microbiana (CBM) foram obtidas pelo método da fumigação-extração de Vance et al. (1987), onde após incubação de 24 horas do solo, faz-se a extração com solução de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup>, seguida de oxidação com solução de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,0667 mol L<sup>-1</sup> e por fim a titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0333 mol L<sup>-1</sup>.

A respiração microbiana do solo (RMS) foi mensurada pela liberação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a partir de uma amostra de 10g de solo durante um período de dez dias. Passado o período, fez-se uma extração através de uma solução de NaOH 0,05 mol L<sup>-1</sup> e titulação com HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> (Alef e Nannipieri, 1995).

Para a determinação do quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ), foi utilizado a metodologia de Anderson e Domsh (1993), utilizando a equação:  $q\text{CO}_2 = \text{C-CO}_2 / \text{C-BM}$ , em que C-CO<sub>2</sub>

representa a taxa de respiração basal do solo (em mg de C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>), e C-BM é o teor de carbono da biomassa microbiana (em mg de CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>).

As atividades da fosfatase ácida e beta-glicosidase foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Tabatabai (1994), utilizando a determinação colorimétrica do p-nitrofenol após a incubação do solo com substrato específico de cada enzima, sendo p-nitrofenyl-fosfato e p-nitrofenol-3-D-glicopiranosídeo respectivamente.

As análises estatísticas foram efetuadas utilizando-se o programa estatístico SISVAR através da comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todas as variáveis analisadas neste estudo, carbono na biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana do solo (RMS), quociente metabólico ( $qCO_2$ ) e atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidase e fosfatase ácida foram influenciadas pelo uso dos diferentes tratamentos com solubilizadores de fosfato, como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1.** Análise de variância para as variáveis carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana do solo (RMS), quociente metabólico ( $qCO_2$ ), enzimas  $\beta$ -glicosidase e fosfatase ácida do solo arenoso com a utilização de diferentes combinações de solubilizadores de fosfato no cultivo de soja.

Fatores	GL	Quadrado Médio do Resíduo				
		CBM	RMS	$qCO_2$	$\beta$ -glicosidase	Fosfatase ácida
Tratamento	4	6716,94*	1279,94*	13,49*	13468,18*	338,42*
Bloco	4	152,41	182,14	0,59	925,07	35,46
Erro	16	218	190,08	1,28	403,37	91,32
CV (%)	-	9,68	19,21	22,93	6,66	10,39

\*Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação.

O maior valor de CBM foi proporcionado pelo tratamento PF + orgânico (Tabela 2). Para a RMS, o tratamento PF promoveu o menor valor obtido quando comparado aos demais,

não diferenciando apenas do tratamento PF + orgânico. Interessante observar, que os menores valores de  $q\text{CO}_2$  também foram proporcionados pelos tratamentos PF e PF + orgânico (Tabela 2).

**Tabela 2.** Carbono da biomassa microbiana (CBM,  $\mu\text{g C g}^{-1}$  solo seco), respiração microbiana do solo (RMS,  $\text{mg C g}^{-1}$  solo seco) e quociente metabólico ( $q\text{CO}_2$ ) do solo arenoso com a utilização de diferentes combinações de solubilizadores de fosfato no cultivo da soja.

Tratamentos	Variáveis		
	CBM	RMS	$q\text{CO}_2$
Testemunha	156,48 b	73,67 b	4,57 b
Padrão da Fazenda (PF)	140,67 bc	46,34 a	3,47 a
PF + orgânico	213,48 a	71,29 ab	3,34 a
PF + <i>Pseudomonas</i>	118,68 c	77,24 b	6,53 bc
PF + mineral	133,65 bc	90,31 b	6,78 c

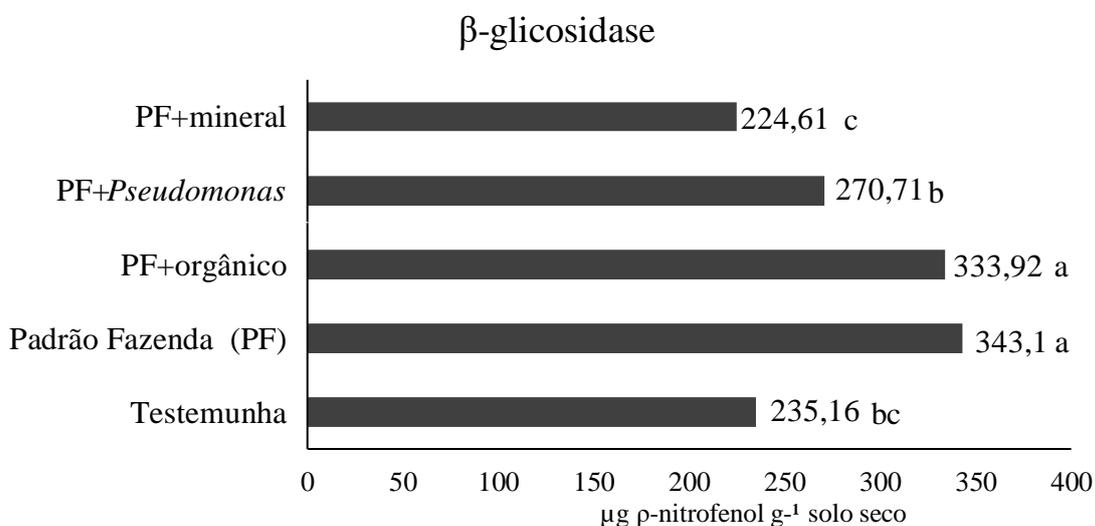
\*Letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O maior valor de CBM observado no tratamento PF + orgânico, provavelmente foi resultante da combinação dos microrganismos inoculados com as substâncias organominerais, as quais possuem cerca de 5% de carbono orgânico em sua composição e outros microrganismos. Segundo Silva et al. (2016), a matéria orgânica presente no fertilizante é uma fonte de carbono e energia prontamente assimilável para a biomassa microbiana, promovendo seu aumento. Guesser et al. (2021) também verificaram que na cultura da soja a utilização de fertilizantes organominerais aumentou os valores de carbono orgânico presentes no solo.

O carbono da biomassa microbiana é definido como a parte viva da matéria orgânica do solo, a qual é composta por fungos, bactérias, actinobactérias, algas e microfauna, fundamentais para o ciclo do carbono (Dionísio; Pimentel; D Signor, 2016). Dessa forma, solos que possuem alto valor de CBM são biologicamente mais ativos (Thakur et al., 2015), circunstância importante para a manutenção da qualidade microbiológica do solo. É importante ressaltar que valores para CBM, bem como para outros bioindicadores não devem ser analisados isoladamente, uma vez que isolados não fornecem informações completas sobre os níveis de atividade microbiana do solo, por isso, é importante também analisar parâmetros como a respiração microbiana, quociente metabólico e atividades enzimáticas.

As variáveis RMS e  $q\text{CO}_2$  com menores valores, como os observados neste estudo (Tabela 2), são resultantes do acúmulo e diminuição na perda de  $\text{CO}_2$  para a atmosfera (Balota, 2017), bem como, estão diretamente relacionadas aos maiores valores da biomassa microbiana (Da Silva Gomes, 2015). Os menores valores para  $q\text{CO}_2$  (Assis et al., 2017) e respiração microbiana (Islam; Weil, 2000) indicam o equilíbrio ecológico dos microrganismos presentes no solo.

Para a atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase as maiores médias também foram verificadas com os tratamentos PF e PF + orgânico (Figura 2).



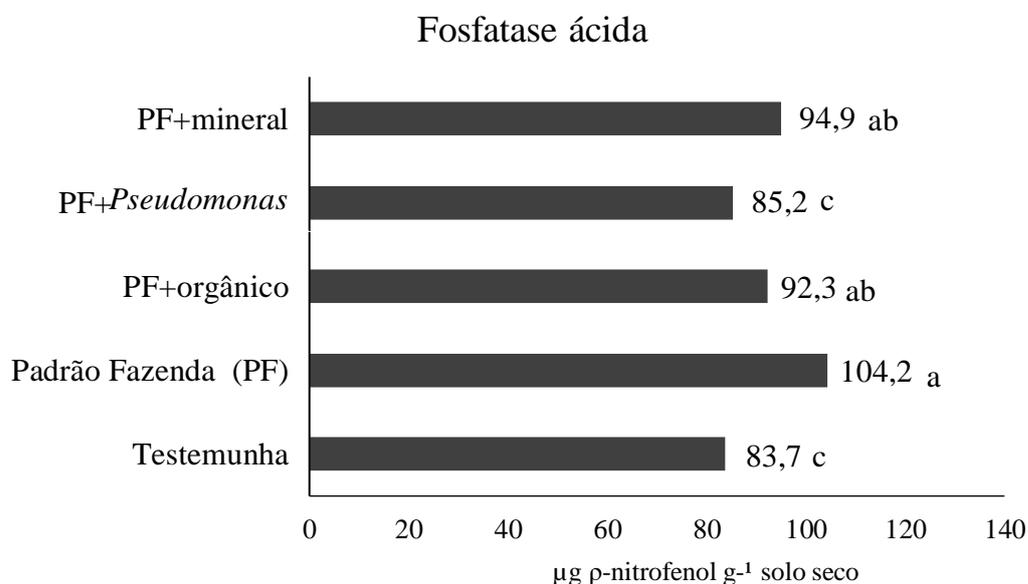
**Figura 2.** Atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase em solo arenoso com a utilização de diferentes combinações de solubilizadores de fosfato no cultivo da soja. \*Médias seguidas por letras similares não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A  $\beta$ -glicosidase é uma enzima relacionada com o ciclo do carbono, atuando como catalisadora no processo hidrólise de  $\beta$ -d-glucopiranosídeos na etapa final da decomposição da celulose, produzindo glicose e assim fornecendo açúcares simples, principal fonte de energia para a população de microrganismos do solo (Stott et al., 2010). Dessa forma, pode-se relacionar os resultados obtidos para a atividade dessa enzima (Figura 2) com o CBM observado neste estudo (Tabela 2), que também foi melhor nos tratamentos PF + orgânico, pois quanto maior a quantidade de carbono, maior a decomposição da matéria orgânica, de resíduos vegetais e também a liberação de carbono orgânico no solo.

A influência do tratamento PF no resultado da atividade da enzima  $\beta$ -glicosidase (Figura 2) corrobora com os resultados obtidos por Fachinelli et al. (2018), onde concluíram que a

associação dos microrganismos *Bradyrhizobium* + *Azospirillum* promovem a potencialização da enzima  $\beta$ -glicosidase em solo arenoso. Interessante observar que apesar dos tratamentos PF + mineral e PF + *Pseudomonas* também possuem esses microrganismos em suas composições, os mesmos não promoveram influências na enzima  $\beta$ -glicosidase, e em nenhuma variável estudada, podendo-se nesse caso inferir um possível antagonismo microbiano, onde, segundo Begon et al. (2006) indivíduos de uma espécie sofrem interferência no crescimento ou sobrevivência como resultado da exploração de recursos ou interferência por indivíduos de outra espécie.

Para a atividade da enzima fosfatase ácida do solo foi verificada que o tratamento PF proporcionou maiores valores em relação à testemunha e à PF + *Pseudomonas*, não diferindo dos demais (PF+ Orgânico e PF + mineral) (Figura 3).



**Figura 3.** Atividade da enzima fosfatase ácida em solo arenoso com a utilização de diferentes combinações de solubilizadores de fosfato no cultivo da soja. \*Médias seguidas por letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A eficiência da enzima fosfatase ácida na presença de microrganismos como *A. brasilense*, *B. japonicum*, *B. methylotrophicus* e o fungo *T. asperellum* está relacionada às interações simbióticas que esses microrganismos estabelecem com o ambiente do solo. Esses microrganismos, conhecidos por suas capacidades de solubilizar fosfatos, fixar nitrogênio, produzir hormônios vegetais e controlar patógenos, criam um ambiente propício para o desempenho eficaz da fosfatase ácida. A solubilização de fosfatos aumenta a disponibilidade

de fósforo para as plantas, enquanto a fixação de nitrogênio contribui para a síntese de compostos nitrogenados, beneficiando as atividades enzimáticas no solo.

Além disso, o controle biológico exercido por *B. methylotrophicus* e *T. asperellum* contribui para um equilíbrio microbiológico favorável, permitindo que a fosfatase ácida realize suas funções essenciais na ciclagem de nutrientes, promovendo a saúde do solo e o desenvolvimento das plantas.

Vale destacar que o tratamento PF foi constituído pela combinação das bactérias *A. brasilense*, *B. japonicum*, *B. methylotrophicus* e do fungo *T. asperellum*. A incorporação de bactérias e fungos benéficos no solo como *A. brasilense*, *B. japonicum*, *B. methylotrophicus* e *T. asperellum*, oferece uma série de benefícios fundamentais para a saúde e produtividade das culturas.

A presença de *B. japonicum* no solo promove a fixação biológica de nitrogênio, fornecendo uma fonte sustentável desse nutriente essencial para o desenvolvimento das plantas. Além disso, essas bactérias podem estimular o crescimento radicular, otimizando a absorção de água e nutrientes pelas plantas (Rocha et al., 2021).

Por outro lado, *B. methylotrophicus* atua como um agente de controle biológico, inibindo o crescimento de patógenos prejudiciais, contribuindo para a supressão de doenças no solo (LANNA et al., 2010). O fungo *T. asperellum* desempenha um papel crucial na promoção do crescimento radicular, hormonal e na proteção das plantas contra patógenos fúngicos, através da competição por recursos e da produção de compostos antifúngicos, mas também contribui na solubilização de fósforo e síntese de ácido indol acético (CHAGAS et al., 2016).

Em conjunto, esses microrganismos não apenas melhoram a qualidade do solo, mas também fortalecem a resistência das plantas a estresses ambientais, proporcionando um ambiente propício para o desenvolvimento do microbioma.

É imprescindível que estudos dessa natureza tenham continuidade buscando informações sobre os bioindicadores em diferentes condições edafoclimáticas afim de otimizar práticas agrícolas sustentáveis, promover a saúde do solo e a produtividade das plantas. Pois, as interações entre microrganismos no solo são complexas e dinâmicas.

## **CONCLUSÕES**

A utilização de diferentes combinações de solubilizadores de fosfato melhora a qualidade microbiológica do solo arenoso, influenciando o carbono da biomassa, a respiração microbiana do solo, o quociente metabólico e as enzimas  $\beta$ -glicosidase e fosfatase ácida.

Os tratamentos padrão da fazenda e padrão da fazenda combinado com o fertilizante organomineral, de maneira geral, foram os que proporcionaram maiores valores de carbono da biomassa microbiana e das enzimas estudadas, assim como os menores valores de respiração microbiana e quociente metabólico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K.; NANNIPIERI, P., 1995. Methods in applied soil microbiology and biochemistry. **London: Academic Press**, 1995. 576p. ISBN: 9780125138406.

ANDERSON, J.P.E., DOMSCH, K.H., 1993. 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(1), 393-395.

ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; DE MOURA OLIVEIRA, J.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E.; HEINEMANN, A. B. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Agrarian**, v. 12, n. 43, p. 57-70, 2019.

BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. 1. ed. Londrina: Mecenias, 2017. 288p.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. Ecology: from individuals to ecosystems. **Oxford: Blackwell Publishing**, 2006.

BELTRÁN, M. E. P. La solubilización de fosfatos como estrategia microbiana para promover el crecimiento vegetal. **Ciencia y Tecnología Agropecuaria**, v. 15, n. 1, p. 101-113, 2014.

CHAVARRÍA, D. N. et al. Effect of cover crops on microbial community structure and related enzyme activities and macronutrient availability. **European journal of soil biology**, v. 76, p. 74-82, 2016.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos, Brasília, DF, v. 11, safra 2023/24, n. 1 primeiro levantamento, outubro 2023.

DA LUZ, J.H.S.; BRITO, L. E. M. A eficiência do uso de fósforo pode ser melhorada com o uso de substâncias húmicas? Uma revisão. **Agri-environmental Sciences**, v. 8, n. 2, p. 13-13, 2022.

DIONÍSIO, J. A.; PIMENTEL, I. C.; SIGNOR, D. Biomassa microbiana. 2016.

ELEFThERIADIS, A.; TURRIÓN, M.B. Soil microbiological properties affected by land use, management, and time since deforestations and crop establishment. **European journal of soil biology**, v. 62, p. 138-144, 2014.

FACHINELLI, R. et al. Atividade enzimática do solo com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* nas sementes de soja e braquiária, 2018.

Fertilizante mineral e resíduo orgânico sobre características agronômicas da soja e nutrientes no solo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 930-939, 2011.

GOMES, D. S. S. et al. Bioindicadores de qualidade do solo cultivado com milho em sucessão a adubos verdes sob bases agroecológicas. **Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata**, v. 114, n. 3, p. 30-37, 2015.

GUESSER, V. P. et al. Adubação organomineral e mineral e resposta da soja em terras baixas. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 2376-2390, 2021.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 79, p. 9-16, 2000.

KAMALI, F. P. et al. Evaluation of the environmental, economic, and social performance of soybean farming systems in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, 142. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.135>. 2016

PENN, C. J.; CAMBERATO, J. J. A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. **Agriculture**, v. 9, p.120, 2019.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. Campinas, Instituto Agronômico, 285p. 2001

STOTT, D. E.; ANDREWS, S. S.; LIEBIG, M. A.; WIENHOLD, B. J.; KARLEN, D. L. Evaluation of  $\beta$ -glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework. **Soil Biology & Biochemistry**, v.74, p.107-119, 2010.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes, methods of soil 29 analysis. **Microbiological and Biochemical Properties**. p. 778-833, 1994.

THAKUR, M. P. et al. Functional diversity. **Encyclopedia of biodiversity**, p.109–120, 2001.

VANCE, E.D.; BOOKES, P.C.; JENKISON, D.S.; 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, 9(1), 703-707. DOI: 10.1016/0038-0717(87)90052-6