MICHELI TONOLI CHIAMULERA

MANEJO CULTURAL E BIOLÓGICO PARA ESTRUTURAÇÃO DO SOLO E INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM SOJA E MILHO EM TANGARÁ DA SERRA - MT

TANGARÁ DA SERRA – MT, BRASIL

2019

MICHELI TONOLI CHIAMULERA

MANEJO CULTURAL E BIOLÓGICO PARA ESTRUTURAÇÃO DO SOLO E INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM SOJA E MILHO EM TANGARÁ DA SERRA - MT

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: D. Sc. Dejânia Vieira de Araújo
Coorientador: D. Sc. Ilio Fealho de Carvalho
Coorientador: D. Sc. Marcio Osvaldo Lima Magalhães

TANGARÁ DA SERRA – MT, BRASIL
2019

Luiz Kenji Umeno Alencar CRB 1/2037

C532m

CHIAMULERA, Micheli Tonoli.
Manejo Cultural e Biológico para Estruturação do Solo e Indução de Resistência em Soja e Milho em Tangará da Serra-MT / Micheli Tonoli Chiamulera – Tangará da Serra, 2019.
126 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)

Trabalho de Conclusão de Curso (Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu (Mestrado Acadêmico) Interdisciplinar em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola, Faculdade de Ciências Agrárias, Biológicas, Engenharia e da Saúde, Câmpus de Tangara da Serra, Universidade do Estado de Mato Grosso, 2019.
Orientador: Dejânia Vieira de Araújo

1. Glycine Max L.. 2. Zea Mays L.. 3. Manejo Sustentável do Solo. 4. Indução de Resistência. 5. Produtividade de Grãos. I. Micheli Tonoli Chiamulera. II. Manejo Cultural e Biológico para Estruturação do Solo e Indução de Resistência em Soja e Milho em Tangará da Serra-MT: .

CDU 631.434:633.1

MICHELI TONOLI CHIAMULERA

"MANEJO CULTURAL E BIOLÓGICO PARA ESTRUTURAÇÃO DO SOLO E INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM SOJA E MILHO EM TANGARÁ DA SERRA - MT"

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 01 de outubro de 2019.

Banca Examinadora

Profa. Dra. Dejânia Vieira de Araújo
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT
Orientadora

Profa. Dra. Alessandra Regina Butnariu
Coordenadora do Mestrado em Ambiente e Sistema de Produção Agrícola-PPGASP/UNEMAT
Atesta a participação de:

Profa. Dra. Beatriz Meireles Barguil
Universidade Estadual do Piauí – UESPI
(Membro Externo – Participação por Videoconferência)

Prof. Dr. Willian Krause
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT
Membro interno

TANGARÁ DA SERRA/MT- BRASIL

2019

DEDICATÓRIA

Primeiramente a Deus, ao meu esposo Guilherme Deijani Chiamulera por todo amor, carinho e compreensão, A minha família, em especial meus pais Clair Luiz Tonoli e Soeli Bernardi Tonoli, e a todos os envolvidos para que este sonho se concretizasse.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Virgem Maria por guiar meus passos, me iluminar ao longo da caminhada e por me dar forças para prosseguir independente das dificuldades.

Ao meu esposo Guilherme por todo amor, compreensão, apoio e incentivo em todas as decisões, me ajudando no que fosse necessário, o meu muito obrigado. A minha família por todo apoio e compreensão nos momentos em que precisei me ausentar para o desenvolvimento do trabalho.

A minha orientadora Dejânia Vieira de Araújo e aos meus co-orientadores Marcio Magalhães e Ílio de Carvalho por todos os ensinamentos e auxílio na execução do trabalho. Aos professores que contribuíram com a execução deste trabalho Alexandre F., Mônica B., Adley A. e Paulo R.

Aos técnicos Edilson O., Vanessa D., Mariana S., Anildo M., Rafael B. e André S., aos colaboradores responsáveis pela limpeza, deixando o ambiente agradável para os trabalhos.

A colega de mestrado Vanessa S. pelo companheirismo e por me ajudar ao longo da execução deste trabalho. Aos meus colegas de laboratório por me auxiliaram em todas as atividades sempre dedicados e responsáveis Fellipe B., Mayara C., Eveline Maria D., Gustavo F., Lucas L., Jhon W., Rodolfo T., Marcos L., Kerollen S., Marcia F., Andrielle B., Dayane S., Nayara N., João Victor A., Pedro S., Tamires S., Rafael P., Helena C., Hellen B., Thiago B., Renan P., Weverton P., Wilton R., Glaucia S., Valdenir S., André S., Wagner B., Jéssica N., Cheyla S., Beatriz R., Paulo R., Raian B. Ao colega João Paulo Ascari pelo auxílio durante a execução do trabalho e na estatística dos dados.

A empresa Microbiol pelo apoio financeiro nas análises químicas, microbiológicas e enzimáticas do solo. Aos senhores produtores, Volmar C., Valdecir C., Romeu J. C. e Luan C. pelas doações de insumos agrícolas para a implantação das duas safras. Ao Cleberson C. e Thiago B. da LG sementes, por disponibilizar as sementes de milho durante as duas safras. A EMPAER por nos auxiliar com a implantação da segunda safra. E por último e não menos importante, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa, essencial para que este trabalho se concretizasse.

“Nada me perturbe, nada me amedronte.
Tudo passa. A paciência tudo alcança.
A quem tem Deus nada falta. Só Deus basta”
Santa Tereza D'Ávila

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL 11

ARTIGO I - CULTIVO DA SOJA E EQUILÍBRIO AMBIENTAL: TÁTICAS PARA A REESTRUTURAÇÃO DO SOLO 15

INTRODUÇÃO 17

MATERIAL E MÉTODOS 18

RESULTADOS 24

DISCUSSÃO 39

CONCLUSÃO 46

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 47

ARTIGO II - TÁTICAS AGRÍCOLAS PARA REESTRUTURAÇÃO DE AMBIENTE CULTIVADO COM MILHO 53

INTRODUÇÃO 55

MATERIAL E MÉTODOS 56

RESULTADOS 62

DISCUSSÃO 79

CONCLUSÃO 85

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 86

ARTIGO III - INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA A DOENÇAS DE PLANTAS: ATIVIDADE ELICITORA DO ADUBO BIOLÓGICO EM SOJA E MILHO 92

INTRODUÇÃO 94

MATERIAL E MÉTODOS 95

RESULTADOS 104

DISCUSSÃO 114

CONCLUSÃO 118

APÊNDICES 119

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 120

CONSIDERAÇÕES FINAIS 126

RESUMO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do adubo biológico e plantas de cobertura sobre os indicadores de qualidade do solo cultivado com soja e milho na safra 2017/18 e 2018/19. Também avaliou-se o efeito do adubo biológico como indutor de resistência no controle da antracnose em milho (*Colletotrichum graminicola*) e antracnose (*Colletotrichum truncatum*) e ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi)* em soja. O experimento foi desenvolvido na área experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso em Tangará da Serra – MT em um latossolo vermelho distroférrico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados e os tratamentos consistiram em duas condições de adubo biológico (com e sem adubo) e três condições de cobertura de solo (*Crotalaria spectabilis* + *Crotalaria ochroleuca*, *Pennisetum glaucum* e pousio limpo) com quatro repetições e uma testemunha de fragmento de mata próximo ao local do experimento. As coberturas foram semeadas em outubro e a dessecação e plantio das culturas soja e milho na primeira quinzena de dezembro de 2017 e 2018. A variedade de milho utilizada foi LG 6036 P3 e para soja Brasmax Desafio RR. Foram avaliados indicadores químicos (MO, pH, P, K, Ca, Mg, H + Al, CTC, S, COT e V%), físicos (umidade volumétrica, umidade gravimétrica, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência a penetração), microbiológicos (C-BMS, qMIC, C-CO2, qCO2) e enzimáticos (Fosfatase ácida e Beta-glicosidase). Para análise química foram coletadas amostras deformadas de solo na camada de 0-20 cm e para análise microbiológica e enzimática na camada de 0-10cm com o auxílio de um trado holandês. Para análise física do solo foram coletadas amostras de solo na camada de 0-10 cm e 10-20 cm com anel volumétrico e para resistência à penetração utilizado o penetrômetro de impacto. Foram marcadas seis plantas por parcela e avaliado as características vegetativas e produtivas da soja e milho. Para avaliar o efeito indutor do adubo biológico na atividade de peroxidase e β-1,3 glucanase, foi realizada a aplicação do adubo biológico (3%) e a coleta das folhas nos tempos 72, 96, 120 e 144 horas após aplicação na safra 2017/18 e 24, 48, 72 e 96 horas na safra 2018/19. Para determinação da produtividade foram colhidas as quatro linhas centrais de cada parcela de soja e milho e os valores extrapolados para kg ha^{-1}. O uso de plantas de cobertura e adubo biológico foi benéfico para a qualidade física, química e microbiológica do solo, principalmente na segunda safra, em quarto ano utilizando estas táticas de manejo, com efeito das coberturas sobre a produtividade da soja na safra 2017/18 e efeito do adubo biológico na produtividade do milho na safra 2018/19. Quanto à atividade enzimática do solo, o adubo biológico com a palhada de crotalária contribuiu para a atividade de Fosfatase e Beta-glicosidase em solo cultivado com soja. Em solo cultivado com milho, o uso de crotalária aumentou a atividade de Beta-glicosidase, no entanto não foi observado efeito do adubo biológico sobre as enzimas do solo. O adubo biológico induziu a atividade de β-1,3 glucanase em plantas de soja e a atividade de peroxidase e β-1,3 glucanase em plantas de milho nas duas safras em estudo. Não foi observado efeito do adubo biológico na severidade da antracnose e ferrugem asiática em soja e antracnose em milho.

Palavras-chave: *Glycine Max* L., *Zea Mays* L., manejo sustentável do solo, indução de resistência, produtividade de grãos.

GENERAL ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the effect of biological fertilizer and cover plants on soil quality indicators where soybean and corn were cultivated in the 2017/18 and 2018/19 harvests. The effect of biological fertilizer as resistance inducer in the control of anthracnose in corn (*Colletotrichum graminicola*) and anthracnose (*Colletotrichum truncatum*) and Asian rust (*Phakopsora pachyrhizi*) in soybean was also evaluated. The experiment was led in the experimental area of the Mato Grosso State University in Tangará da Serra - MT in a dystroferric red latosol. The experimental design was in randomized blocks and the treatments consisted of two conditions of biological fertilizer (with and without) and three conditions of soil cover (*Crotalaria spectabilis* + *Crotalaria ochroleuca, Pennisetum glaucum* and clean fallow) with four replications and one control forest fragment near the place of the experiment. Soil cover was sown in October and desiccation and planting of soybean and corn crops in the first half of December 2017 and 2018. The corn variety used was LG 6036 P3 and the soybean was Brasmax Desafio RR. Chemical (OM, pH, P, K, Ca, Mg, H + Al, CTC, S, TOC and V%), physical (volumetric moisture, gravimetric moisture, soil density, macroporosity, microporosity, total porosity and resistance to penetration), microbiological (SMBC, qMIC, C-CO2, qCO2) and enzymatic (Acid Phosphatase and Beta-glucosidase) indicators were evaluated. For chemical analysis, deformed soil samples were collected in the 0-20 cm layer and for microbiological and enzymatic analysis, in the 0-10 cm layer with the aid of a Dutch auger. For the physical analysis of the soil, samples were collected in the 0-10 and 10-20 cm layers with volumetric ring, and for penetration resistance the impact penetrometer was used. Six plants were marked per plot and the vegetative and productive features of soybean and corn were evaluated. To evaluate the inducing effect of biological fertilizer on peroxidase and β-1,3 glucanase activity, biological fertilizer (3%) was applied and leaves were collected at 72, 96, 120 and 144 h after application in 2017/18 harvest and 24, 48, 72 and 96 h in 2018/19 harvest. To determine yield, the four central lines of each plot of soybean and corn were harvested, and the values extrapolated to kg ha^{-1}. The use of cover plants and biological fertilizer was beneficial for physical, chemical and microbiological soil quality, especially in the second harvest, in the fourth year using these management tactics, with effect of the cover on soybean yield in the 2017/18 harvest, and effect of biological fertilizer on corn yield in the 2018/19 harvest. As for the enzymatic activity of the soil, the biological fertilizer with the crotalaria straw contributed to the activity of Phosphatase and Beta-glucosidase in soybean soil. In corn cultivated soil, the use of crotalaria increased the activity of Beta-glucosidase, however, no effect of biological fertilizer on soil enzymes was observed. Biological fertilizer induced β-1,3 glucanase activity in soybean plants and peroxidase and β-1,3 glucanase activity in corn plants in the two harvests studied. No effect of biological fertilizer on the severity of anthracnose and Asian rust in soybean and anthracnose in corn was observed.

KEYWORDS: *Glycine Max* L.*, Zea Mays* L., sustainable soil management, resistance induction, grain yield.

INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max* L.) é uma das mais importantes culturas agrícolas do Brasil. Na safra 2018/2019 a cultura ocupou uma área de 35,87 milhões de hectares, o que totalizou uma produção de 115 milhões de toneladas com uma produtividade média de 3.206 kg por hectare. O Estado de Mato Grosso é o maior produtor nacional de soja com 32,4 milhões de toneladas e uma produtividade de 3.346 kg por hectare (CONAB, 2019).

O milho (*Zea mays* L.) encontra-se entre os principais cereais cultivados no mundo, sendo o Brasil o terceiro maior produtor mundial. A produção de milho para a safra 2018/2019 para a primeira e segunda safra foi de 26,2 milhões de toneladas e 73,8 milhões de toneladas respectivamente, sendo o Estado de Mato Grosso o maior produtor nacional, com 31,30 milhões de toneladas (CONAB, 2019).

Estas culturas são de grande importância para o agronegócio. No entanto, em muitas áreas cultivadas o sistema de produção utilizado é o convencional, causando alterações nas propriedades do solo e comprometendo a sustentabilidade ambiental e econômica da atividade agrícola (NIERO et al., 2010; FREDDI et al., 2017). Assim, a adoção de táticas conservacionistas torna-se importante para a manutenção e recuperação da capacidade produtiva dos solos (ZOTARELLI et al., 2012; SANTOS et al., 2014).

A palhada na superfície serve de substrato para a atividade microbiana, com maior aporte de matéria orgânica, ação benéfica das raízes sobre a descompactação, infiltração e retenção de água, atua na ciclagem de nutrientes, podendo proporcionar economia com fertilizantes minerais (HERNANI et al., 1995; PERES et al., 2010; GUARESCHI et al., 2012; LIMA et al., 2013; CARDOSO et al., 2013).

Além do uso de plantas de cobertura, a sucessão de culturas tem efeito benéfico sobre o solo, com a alternância na extração e ciclagem de nutrientes e a quebra de ciclo de pragas e doenças, proporcionando maior rendimento para as culturas (SANTOS et al., 2014).

Entre os indicadores de qualidade física do solo mais utilizados, encontra-se a densidade, macro e microporosidade, resistência do solo à penetração, estabilidade dos agregados e conteúdo de água no solo, que variam de acordo com o sistema de manejo adotado (PRAGANA et al., 2012).

Os indicadores de qualidade química do solo podem ser separados em classes que indicam o comportamento do solo (pH e carbono Orgânico Total) as necessidades nutricionais das plantas (Ca, Mg, K, P, N e micronutrientes) e a capacidade do solo de resistir a capacidade de troca de cátions (CTC, tipo de argila, óxido de alumínio) (LIRA et al., 2012).

Os atributos microbianos do solo, como a respiração basal do solo e biomassa microbiana, atividade enzimática e diversidade de micro-organismos são indicadores sensíveis que podem ser utilizados para monitorar alterações ambientais decorrentes da atividade agrícola (FERREIRA et al., 2010; EPELDE et al., 2014) e podem servir para orientar a avaliação das práticas de manejo utilizadas (FERREIRA et al., 2017).

O uso de adubo biológico também se caracteriza como uma prática conservacionista, apresentando em sua composição algas, fungos filamentosos, proteínas, enzimas e antibióticos que quando pulverizados no solo e nas plantas, atuam no equilíbrio nutricional e no controle de pragas e doenças com a indução de resistência (MEDEIROS; LOPES, 2006) e ativação do metabolismo enzimático da planta (RODOLFO JÚNIOR et al., 2009).

A indução de resistência tem se tornado uma alternativa promissora e complementar ao controle químico, minimizando os impactos causados pelo uso excessivo de defensivos (GOMES; NASCIMENTO, 2018; XU et al., 2017). Os elicitores fazem com que as plantas ativem seus próprios mecanismos de defesa e quando expostas novamente a um fator de estresse respondam de maneira mais rápida e efetiva ao estímulo (DURRANT; DONG, 2004).

A aplicação de biofertilizante em plantas de inhame e no solo proporcionou ganhos em produtividade na cultura (SILVA et al., 2012). Em mudas de repolho, a aplicação de biofertilizante promoveu incrementos em clorofila, área foliar e volume radicular (RODER et al., 2015).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do adubo biológico e plantas de cobertura nos indicadores de qualidade do solo e na produtividade da soja e milho. Investigou-se também o efeito indutor do adubo biológico na atividade enzimática da planta e no controle de doença em soja e milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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***,* São Paulo, v. 70, n.4, p. 274-289, 2013.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos***:* décimo primeiro levantamento, Safra 2017/2018. Brasília: CONAB, v. 5, n. 11, 2018.

DURRANT, W.E.; DONG, X. Systemic Acquired Resistance. **Annual Review of Phytopathology**, v. 42, n.1, p.185-209, 2004.

EPELDE, L. et al. Microbial properties and attributes of ecological relevance for soil quality monitoring during a chemical stabilization field study. **Applied Soil Ecology**, v. 75, p. 1-12, 2014.

FERREIRA, E. P. B. et al. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.177-183, 2010.

FERREIRA, P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.

FREDDI, O. S. et al. Physical-chemical quality of a Latossol under direct seeding and soybean-corn succession in the Cerrado-Amazonian Ecotone. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 4, p. 991-1000, 2017.

GOMES, R. S. S; NASCIMENTO, L. C. Induction of resistance to *Colletotrichum truncatum* in lima bean. **Arquivos do Instituto Biológico**, v.85, p. 1-7, 2018.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 909-920, 2012.

HERNANI, L.C. et al. **Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa-CPAO, 1995. 93p.

LIMA A. C. R. et al. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology**, v. 64, p. 194-200, 2013.

LIRA, B. L. et al. Efeitos dos sistemas de cultivo e manejo da caatinga através da análise dos indicadores químicos de qualidade do solo na produção agrícola em Apodi, RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n.3, p. 18-24, 2012.

MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Bahia Agrícola**. v. 7, n. 3, p. 24-26, 2006.

NIERO, L. A. C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um latossolo vermelho distroférrico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.34, p. 1271-1282, 2010.

PERES, J. G.; SOUZA, C. F.; LAVORENTI, N. A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n.5, p. 875-886, 2010.

PRAGANA, R.B. et al. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1591-1600, 2012.

RODER, C. et al. Uso de biofertilizante na produção de mudas de repolho. **Revista Ceres**, v. 62, n.5, p. 502-505, 2015.

RODOLFO JÚNIOR, F.; CAVALCANTE, L.F.; BURITI, E.S. Crescimento e produção do maracujazeiro-amarelo em solo com biofertilizantes e adubação mineral com NPK. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.21, n.2, p.149-160, 2009.

SANTOS, I. L. et al. Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an oxisol under notillage in the cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 1874-1881, 2014.

SILVA, A. C. et al. Effectiveness of essential oils in the treatment of *Colletotrichum truncatum* infected soybean seeds. **Topical Plant Pathology**, v. 37, p. 305-313, 2012.

XU, Ting et al. Isolation and evaluation of endophytic Streptomyces endus OsiSh-2 with potential application for biocontrol of rice blast disease. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, p. 1149 - 1157, 2017.

ZOTARELLI, L. et al. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, v. 132, p. 185-195, 2012.

ARTIGO I

CULTIVO DA SOJA E EQUILÍBRIO AMBIENTAL: TÁTICAS PARA A REESTRUTURAÇÃO DO SOLO

[Applied and Enviromental Soil Science]

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade química, física e microbiológica, em solo cultivado com soja submetido ao manejo com plantas de cobertura e adubação biológica nas safras 2017/18 e 2018/19. O estudo foi conduzido no campo experimental da UNEMAT de Tangará da Serra – MT e os tratamentos consistiram em duas condições de adubo biológico (com e sem) e três condições de cobertura de solo (*Crotalaria spectabilis* + *Crotalaria ochroleuca*, *Pennisetum glaucum* e pousio limpo), com quatro repetições. Utilizou-se como referência um fragmento de mata localizado adjacente ao experimento. Foram avaliados indicadores químicos (MO, pH, P, K, Ca, Mg, H + Al, CTC, S, COT e V%), físicos (umidade volumétrica, umidade gravimétrica, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência a penetração), microbiológicos (C-BMS, *q*MIC, C-CO2, *q*CO2) e enzimáticos (Beta-glicosidase e Fosfatase ácida). Foram coletadas amostras de solo indeformadas (0-10 e 10-20 cm) para avaliar os indicadores físicos e amostras deformadas (0-10 cm) para indicadores microbiológicos e para indicadores químicos (0-20 cm). Também foi avaliada resistência à penetração com o auxílio de um penetrômetro de impacto em dez camadas de 0,05m. Foi avaliado a produção de massa seca, taxa de decomposição e o tempo de meia vida da cobertura, e ao final o desempenho agronômico e produtividade da soja. O efeito do adubo biológico sobre a qualidade do solo foi mais expressivo na safra 2018/19, com acréscimo em umidade (Ug e Uv), porosidade do solo (MiP e Pt), menor densidade (Ds) e resistência a penetração da camada superficial do solo (0-5 cm). O adubo biológico contribuiu para a fertilidade do solo, com maior teor de matéria orgânica, Mg, CTC e COT. A comunidade microbiana do solo foi beneficiada pelo adubo biológico, com maior CBMS, COT e maior respiração basal ($C\text{-}CO_2$). O adubo biológico juntamente com a crotalária, contribuíram para atividade de Fosfatase ácida e Beta-glicosidase. Não foi observado efeito do adubo biológico sobre os caracteres agronômicos e produtividade da soja nas duas safras em estudo. Para as plantas de cobertura, maior produtividade de palhada foi observado para o milheto bem como maior taxa de decomposição e menor tempo de meia vida na safra 2018/19. O milheto e crotalária contribuíram para a biomassa microbiana do solo (CBMS), servindo de substrato para estes micro-organismos, além de atuar sobre a umidade do solo (Uv) e na ciclagem de nutrientes (K, P e S). O milheto e crotalária melhoraram os caracteres agronômicos da soja na safra 2017/18 e 2018/19 e proporcionaram maior produtividade da soja na safra 2017/18. Comparando os indicadores da área cultivo com o fragmento de mata, observou-se efeito das táticas de manejo sobre a qualidade do solo, principalmente microbiológica e enzimática, que são indicadores sensíveis.

PALAVRAS-CHAVE: *Glycine max* L., adubo biológico, plantas de cobertura, indicadores de qualidade do solo.

SOY CULTURE AND ENVIRONMENTAL BALANCE: TACTICS FOR SOIL RESTRUCTURING

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the chemical, physical and microbiological quality in soybean soil submitted to management with cover plants and biological fertilization in the 2017/18 and 2018/19 harvests. The study was conducted in the experimental field of UNEMAT in Tangará da Serra – MT, and the treatments consisted of two conditions of biological fertilizer (with and without) and three conditions of soil cover (*Crotalaria spectabilis* + *Crotalaria ochroleuca, Pennisetum glaucum* and clean fallow), with four replications. A forest fragment located adjacent to the experiment was used as reference. Chemical (OM, pH, P, K, Ca, Mg, H + Al, CTC, S, TOC and V%), physical (volumetric moisture, gravimetric moisture, soil density, macroporosity, microporosity, total porosity and resistance to penetration), microbiological (SMBC, qMIC, C-CO2, qCO2) and enzymatic (Beta-glucosidase and acid phosphatase) indicators were analyzed. Undisturbed soil samples (0-10 cm and 10-20 cm) were collected to evaluate physical indicators, and deformed samples (0-10 cm) for microbiological indicators and chemical indicators (0-20 cm). Penetration resistance was also evaluated with the aid of an impact penetrometer on ten 0.05m layers. Dry matter production, decomposition rate and cover half-life time were evaluated, and, at the end, the agronomic performance and soybean yield were evaluated. The effect of biological fertilizer on soil quality was more significant in the 2018/19 harvest, with increase in moisture (Ug and Uv), soil porosity (MiP and Pt), lower density (Ds) and resistance to soil surface penetration (0-5 cm). The biological fertilizer contributed to the soil fertility, with higher content of organic matter, Mg, CTC and TOC. The soil microbial community benefited from the biological fertilizer, with higher SMBC, TOC and higher basal respiration (C-CO2). Biological fertilizer along with crotalaria contributed to the activity of acid phosphatase and beta-glucosidase. No effect of biological fertilizer on agronomic traits and soybean yield was observed in the two harvests under study. For cover plants, higher straw yield was observed for millet, as well as higher decomposition rate and shorter half-life time in the 2018/19 harvest. Millet and crotalaria contributed to the soil microbial biomass (SMBC), serving as substrate for these microorganisms, as well as acting on soil moisture (Uv) and nutrient cycling (K, P and S). Millet and crotalaria improved the agronomic traits of soybean in the 2017/18 and 2018/19 harvests, and provided higher soybean productivity in the 2017/18 harvest. Comparing the indicators of the cultivation area with the forest fragment, we observed an effect of management tactics on soil quality, mainly microbiological and enzymatic, which are sensitive indicators.

KEYWORDS: *Glycine max L*., biological fertilizer, cover plants, soil quality indicators.

INTRODUÇÃO

A soja [(*Glycine max* (L.) Merrill] é uma cultura de grande importância para o agronegócio, sendo o Brasil o segundo maior produtor mundial desta oleaginosa. Na safra 2018/2019 a produção nacional foi de 115 milhões de toneladas, ocupando 35,87 milhões de hectares, com produtividade média de 3.206 kg por hectare (CONAB, 2019).

Para manter os elevados níveis de produtividade torna-se necessário a adoção de práticas conservacionistas que proporcionem sustentabilidade ao sistema de produção agrícola. O uso de plantas de cobertura para o plantio na palha tem sido apontado como uma prática benéfica ao ecossistema agrícola reduzindo a erosão do solo, melhorando a infiltração de água, retenção de nutrientes e proporcionando maior quantidade de matéria orgânica (STEENWERTH & BELINA, 2008; LEITE et al., 2010).

A escolha das espécies de cobertura deve ser feita com base na quantidade e qualidade da biomassa produzida (ESPINDOLA et al., 2006; NUNES et al., 2006; BRESSAN et al., 2013). O uso de crotalária e milheto são opções de cobertura para melhoria do solo devido à alta produção de fitomassa tanto da parte aérea como raiz (PEREIRA et al., 2017) com capacidade de absorver nutrientes das camadas mais profundas do solo e liberá-los nas camadas superficiais por meio da decomposição e mineralização dos resíduos (TORRES et al., 2008) além da fixação biológica de nitrogênio por parte da crotalária.

Os resíduos vegetais melhoram a qualidade física do solo e aumentam a estabilidade dos agregados (VASCONCELOS et al., 2010) fornecendo substrato e energia para a atividade microbiana do solo. A maior quantidade de restos culturais em superfície elevam os teores de água no solo (PERES et al., 2010) e contribuem para a redução do banco de sementes, tornando-se importante no manejo de plantas daninhas (SODRÉ-FILHO et al., 2008).

O uso de adubo biológico também se caracteriza como uma prática conservacionista, sendo composto por algas, fungos filamentosos, proteínas, enzimas e antibióticos que quando pulverizados sobre o solo e nas culturas atuam na fertilização e contribuem para o equilíbrio nutricional da planta, desempenhando efeito sobre a produção de determinadas enzimas de defesa e, portanto,

ocasionando indução de resistência com a proteção de plantas ao ataque de pragas e/ou doenças (MEDEIROS & LOPES, 2006).

Em razão da complexidade do solo, a utilização de indicadores químicos, físicos e biológicos para avaliar o efeito das diferentes práticas de manejo sobre a qualidade do solo, torna-se fundamental, uma vez que indicadores isolados não são suficientes para explicar a perda ou ganho de potencial produtivo dos solos cultivados (CARNEIRO et al., 2009).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do adubo biológico e plantas de cobertura sobre os atributos químicos, físicos, microbiológicos e enzimáticos do solo e o desenvolvimento da cultura da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas safras 2017/2018 e 2018/2019, na área experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso em Tangará da Serra – MT (14°39’53”S e 57°25’46”W). Foi considerado como área de referência, um fragmento de mata localizado geograficamente a 14°39’07”S e 57°25’21”W, com a distância de 1 km do experimento. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (MOREIRA & VASCONCELOS, 2007) e clima Tropical Úmido Megatérmico (Aw) de acordo com a classificação de climática de Köppen.

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial duplo com testemunha adicional (2 x 3 + 1), sendo duas condições de adubo biológico (com e sem), três condições de cobertura do solo [milheto (*Pennisetum glaucum*); mistura de crotalária (50% *Crotalaria ochroleuca* e 50% *Crotalaria spectabilis*); pousio limpo] e fragmento de mata, com quatro repetições.

As parcelas foram constituídas de cinco metros de comprimento por cinco metros de largura, contendo dez linhas com espaçamento de 0,5 m entre linhas. A área de fragmento de mata nativa localizada nas proximidades do experimento, foi utilizada como referência para comparar os resultados do experimento. Para as características vegetativas e produtivas da cultura da soja, considerou-se os fatores adubo biológico e cobertura de solo.

Com este experimento, foi dada a continuidade no programa de manejo iniciado há quatro anos testando-se plantas de cobertura e adubo biológico (ASCARI, 2017). Os resultados da análise química das parcelas testemunha no

último ano do experimento (safra 2016/2017) realizado por Ascari (2017) foram utilizados para os cálculos de correção e adubação do solo para implantação da safra 2017/2018 (Tabela 1). De acordo com as recomendações de Sousa & Lobato (2004), não houve a necessidade de correção de acidez do solo.

Tabela 1. Análise química da camada de 0 a 0,20 m do solo, obtida nas parcelas testemunha e qualidade química do adubo biológico.

Qualidade química do solo em 2017 (Ascari, 2017)										
pH	P	K	Ca	Mg	Al	H	Al+H	T	V	MO
$CaCl_2$	mg dm^{-3}	---------- $cmol_c$ dm^{-3} ----------							%	g dm^{-3}
5,80	3,20	0,30	1,40	0,40	0,00	2,10	2,10	4,10	50,00	28,50
Qualidade química do adubo biológico em 2017 (Ascari, 2017)										
pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	B	MO
H_2O	---------- g L^{-1} ----------					---------- mg L^{-1} ----------					%
6,20	0,70	0,30	0,02	0,06	0,01	0,04	4,70	2,80	175	14,40	5,20
Qualidade química do adubo biológico em 2019 (Biofábrica nova)										
pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	B	MO
H_2O	---------- g L^{-1} ----------					---------- mg L^{-1} ----------					%
7,60	0,97	0,04	0,87	0,82	0,13	0,04	1,92	6,13	20	2,91	2,36

Potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), hidrogênio (H), capacidade de troca de cátions (T), saturação e bases (V), matéria orgânica (MO), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), enxofre (S) e nitrogênio (N).

Para implantação da safra 2018/2019 houve a necessidade de calagem e gessagem da área experimental na proporção de 300 kg ha^{-1} e 3.200 kg ha^{-1}, respectivamente. A aplicação de calcário (dolomítico - 85% de PRNT) e gesso foi realizada aos 90 e 60 dias antecedentes ao plantio, respectivamente.

Foi realizada análise granulométrica para área experimental da soja e para o fragmento de mata (Tabela 2) utilizando o método da pipeta conforme metodologia da Embrapa (2011).

Tabela 2. Distribuição granulométrica e classe textural da área experimental da soja e do solo sob mata na camada de 0-20 cm.

Área	Areia	Silte	Argila	Classe textural
		g kg^{-1}		
Área experimental	526	270	204	Franco argilo arenoso
Mata	317	535	218	Franco argiloso

A semeadura do *Pennisetum glaucum* (Cv. ADR 300 – 25 kg ha^{-1}), *Crotalaria ochroleuca* (Cv. Comum – 15 kg ha^{-1}) + *Crotalaria spectabilis* (Cv. Comum – 30 kg

ha^{-1}) foi realizada a lanço no dia 18 de outubro de 2017 e 12 de outubro de 2018 sendo incorporado com ferramenta manual. A dessecação foi realizada aos 50 dias após a semeadura aplicando-se herbicida Paraquate + Diurom (400 + 200 g i.a ha^{-1}) na safra 2017/18 e herbicida glifosato (720 g i.a ha^{-1}) na safra 2018/19.

Após a dessecação do milheto e crotalária, com auxílio de um quadrado de ferro de área 0,25 m^2, foi realizada uma amostragem em cada parcela. Todo o material vegetal compreendido na área do quadrado foi cortado rente ao solo, colocado em embalagens identificadas e acondicionadas em estufa de circulação forçada a 65 ºC até massa constante, em seguida, a produção de massa seca foi extrapolada para produtividade em kg ha^{-1} (BOER et al., 2008).

Para avaliar a taxa de decomposição das coberturas, foi colocado 0,02 kg de matéria seca de cada cobertura em bolsas confeccionadas em náilon (0,2 x 0,2 m) chamado de “Litter Bags” sendo retornadas quatro bolsas para as parcelas de origem as quais foram retiradas aos 30, 60, 90 e 120 dias após a dessecação das coberturas. A palha remanescente contida no interior das bolsas, foi submetida a secagem em estufa de circulação forçada a 65 ºC por 24 h, para determinação da massa remanescente dos resíduos. Com os resultados determinou-se a constante de decomposição K e o tempo de meia vida (t1/2) da palhada (TEIXEIRA et al., 2011).

A estimativa da taxa de decomposição dos resíduos vegetais foi determinada conforme um modelo matemático exponencial proposto por Wider e Lang (1982). O tempo de meia vida (tempo necessário para a decomposição de 50 % dos restos vegetais) foi determinado conforme equação de Paul e Clark (1989).

Nas duas safras (2017/18 e 2018/19) foi realizada a sucessão entre soja e milho (Ex. na área cultivada com soja foi semeado o milho e feito o inverso na safra seguinte). A semeadura da soja foi realizada no dia 16 de dezembro de 2017 e 21 de dezembro de 2018, utilizando a cultivar BRASMAX Desafio RR 8473 RSF de ciclo indeterminado com espaçamento entre linhas de 0,5 m e densidade de 18 plantas por metro. Como área útil da parcela, utilizou-se as quatro linhas centrais, desconsiderando-se 0,5 m em cada extremidade.

A adubação de semeadura na safra 2017/2018 foi realizada na proporção de 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 50 kg ha^{-1} de K_2O, de acordo com a análise de solo. Aos 30 dias após a semeadura (DAS) foi aplicado em cobertura 50 kg ha^{-1} de K_2O, conforme as recomendações de Sousa & Lobato (2004). As fontes de nutrientes

foram Mono-amônio fosfato (52% de P_2O_5 + 9% N) e Cloreto de potássio (60% de K_2O).

A adubação de semeadura na safra 2018/2019 foi realizada na proporção de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 70 kg ha^{-1} de K_2O, de acordo com a análise de solo da safra anterior. As fontes de nutrientes foram fosfato (28% de P_2O_5 + 2% N) e Cloreto de potássio (60% de K_2O). Foi realizado adubação foliar nas duas safras com macronutrientes (P_2O_5, K_2O, Mg) e micronutrientes (S, B, Cu, Mn, Mo, Zn) aos 50 DAS.

O adubo biológico (Microgeo®) é comercializado pela empresa Microbiol Indústria & Comércio Ltda. Seu preparo foi realizado na proporção de 20 L de água, 4 L de esterco bovino e 1 kg de composto biológico enriquecido com minerais em um tambor de 100L (ASCARI, 2017). Para a segunda safra, foi instalada uma nova biofábrica com capacidade de 1.000 L preparado na proporção de 15 kg de conteúdo ruminal, 5 kg de composto biológico (Microgeo®) e 80 L de água. Ambas biofábricas apresentaram em sua composição macronutrientes, micronutrientes e matéria orgânica que estão especificados na Tabela 1.

O adubo biológico foi pulverizado sobre as plantas na dessecação das coberturas e sobre o solo no estádio fenológico V1 e V4 da soja, na proporção de 30 L ha^{-1}, 60 L ha^{-1} e 60 L ha^{-1}, respectivamente, totalizando a dose recomendada para culturas anuais de 150 L ha^{-1}. Em todas as aplicações de produtos químicos (fungicida, inseticida e herbicida) foi adicionado 3% de adubo biológico na calda (20L ha^{-1}), com o intuito de avaliar a indução de resistência das plantas.

Em relação às características vegetativas da soja, considerou-se a área foliar medida no estádio fenológico R_1 (ADAMI et al., 2008). No estádio fenológico R_9 foram marcadas 6 plantas aleatórias na área útil de cada parcela e determinadas a altura da planta (mensuradas da base ao ápice da planta), altura de inserção da primeira vagem (medida na base da planta até a altura onde está inserida a primeira vagem), número de nós (contagem de todos os nós da planta a partir do nó cotiledonar) (SOUZA et al., 2010) e diâmetro da haste principal (medido ao nível do solo) (SCHUCH et al., 2009).

Para as características produtivas, considerou-se o número de vagens com um, dois, três e quatro grãos, massa de mil grãos e produtividade. Foram colhidas e trilhadas todas as plantas presentes em uma área de 8m^2 no centro da parcela e a

umidade dos grãos corrigida para 13% para os cálculos de massa de mil grãos e a produtividade em kg ha^{-1} (SOUZA et al., 2010).

Os indicadores de qualidade do solo foram determinados no período reprodutivo da soja (R1-R8) e também no fragmento de mata. Para análise química e microbiológica foram coletadas amostras de solo em cinco pontos por parcela com o auxílio de um trado Holandês que constituíram uma amostra composta por parcela (ASCARI et al., 2018).

As características químicas foram determinadas na camada de 0 a 0,20 m de profundidade, considerando a matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio (H), alumínio (Al), enxofre (S), Capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por base (V%) e Carbono Orgânico Total (COT) (EMBRAPA, 2011).

As análises microbiológicas foram determinadas em cada parcela na camada de 0 a 10 cm de profundidade, coletadas e armazenadas sob refrigeração (4ºC). Foi avaliado o carbono da biomassa microbiana do solo pelo método fumigação-extração (VANCE et al., 1987); respiração basal do solo obtido através da evolução do CO_2 capturado pelo NaOH a partir das amostras de solo incubadas por 72 horas, em ambiente hermeticamente fechado (JENKINSON & POWLSON, 1976); quociente microbiano obtido pela relação entre o carbono da biomassa microbiana do solo e o carbono orgânico total e o quociente metabólico foi obtido pela relação entre a respiração basal e o carbono da biomassa microbiana (ANDERSON & DOMSCH, 1993).

A avaliação enzimática do solo foi realizada no estádio de pleno florescimento da soja com a coleta de solo em três pontos por parcela próximo a linha de plantio e no fragmento de mata na profundidade de 0 a 10 cm, que constituíram uma amostra composta. As amostras foram identificadas e encaminhadas ao laboratório especializado para quantificação da Fosfatase ácida e eta-glicosidase utilizando o método proposto por Tabatabai (1994).

A avaliação dos indicadores de qualidade física do solo foi feito no período reprodutivo da soja (R1-R8). Para isso, foram coletados dois pontos por parcela da área experimental e também no fragmento de mata, amostras indeformadas de solo com anel volumétrico (Anel de Kopecky), considerando as camadas de 0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m de profundidade. Os indicadores físicos avaliados foram: umidade

volumétrica, umidade gravimétrica, densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo (EMBRAPA, 2011).

A resistência do solo a penetração foi determinada com auxílio do equipamento penetrômetro de impacto Stolf (STOLF, 1991; SÁ & SANTOS JUNIOR, 2007), na profundidade de 0,50 m a cada 0,05 m, totalizando dez camadas de solo avaliadas. As amostragens foram realizadas em cinco pontos por parcela conforme Ascari (2017).

Foi realizado o monitoramento dos dados climáticos durante o desenvolvimento do estudo em uma estação Meteorológica automática instalada a 300 metros da área experimental (Figura 1). Os dados foram fornecidos pelo Laboratório de Agrometeorologia do Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - CETEGEO – SR, da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT.

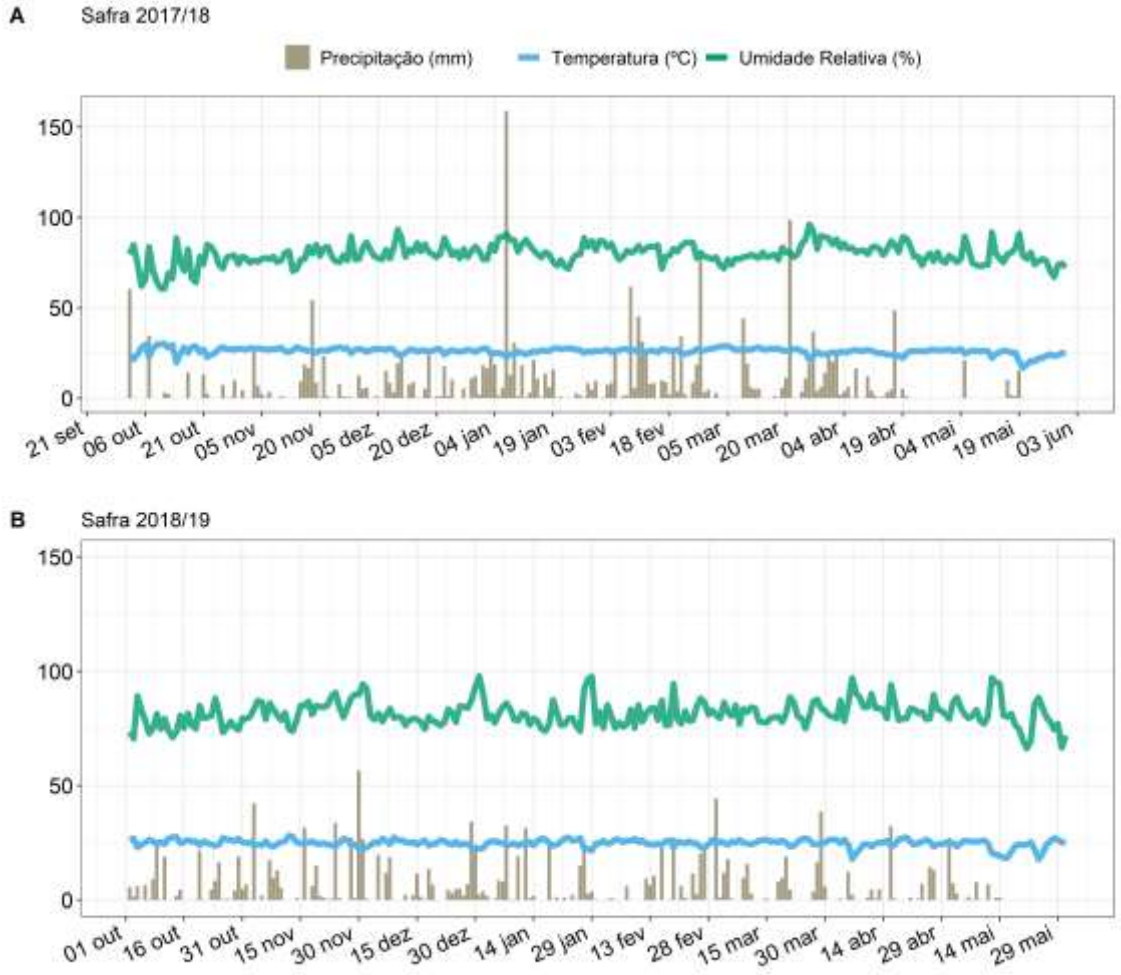


Figura 1. Precipitação (mm), Temperatura Média (ºC) e Umidade Relativa do Ar (%) monitoradas na safra 2017/2018 (A) e 2018/2019 (B).

Foram aplicados o teste de normalidade (Shapiro Wilk) e homogeneidade dos dados (teste Bartlett) para todas as variáveis. Tendo as premissas atendidas, foi feita análise de variância pelo teste F e as características químicas, físicas, microbiológicas e enzimáticas do solo foram submetidas ao teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e Dunnett ($p \leq 0,05$), com a parcela adicional no fragmento de mata. As características vegetativas e produtivas da soja foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R (R COER TEAM, 2018).

Na aplicação do teste de Dunnett, foi necessária a transformação de algumas variáveis para poderem apresentar normalidade e homogeneidade. Na safra 2017/18 as variáveis P ($\log x$), MO ($1/x^2$), COT ($1/x^2$), C-CO_2 ($1/\sqrt{x}$), $q$$CO_2$ ($\sqrt{x}$) , Ug 0-10 cm (x^2), Uv 0-10 cm (x^2), Pt 0-10 cm (x^2) e Mip 10-20 cm ($1/\sqrt{x}$) foram transformadas. Na safra 2018/19 as variáveis P ($\sqrt{x}$), Ca ($\sqrt{x}$), H+Al ($1/x^2$), CTC ($1/x^2$), Map 0-10 cm (x^2), Pt 0-10 cm ($1/x^2$), resistência a penetração de 0-5 cm (x^2) e C-CO_2 ($\log x$) passaram por transformação.

No teste de Tukey, para a safra 2017/18 foi necessário a transformação das variáveis P ($1/\sqrt{x}$), C-CO_2 ($1/x$), DC ($1/x^2$) e P1000 ($1/x^2$). Na safra 2018/19 as variáveis DC ($1/x^2$) e NN ($1/x^2$) foram transformadas.

As variáveis MO, COT, Ug (0-10 cm) e Pt (0-10 cm) referente a safra 2017/18 não apresentaram normalidade e homogeneidade mesmo após transformação, fazendo-se necessário aplicação do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Na safra 2018/19 foi aplicado o teste não paramétrico nas variáveis Ca, H+Al, CTC, $q$$CO_2$ e resistência a penetração (0 - 5 cm).

RESULTADOS

Desempenho agronômico da soja

Não houve interação entre adubo biológico e cobertura de solo para os caracteres agronômicos e produtividade da soja na safra 2017/18 e 2018/19. Na primeira safra obteve-se maior produtividade da soja cultivada sobre a palhada de milheto e crotalária em relação ao solo em pousio, bem como maior altura da planta para a soja cultivada sobre os restos culturais de crotalária (Tabela 3).

Na segunda safra, maior número de caracteres agronômicos foram influenciados pelas coberturas de solo, entretanto, não foi observado efeito sobre a produtividade da soja. O plantio sob milheto promoveu maior altura de inserção da primeira vagem, enquanto que a crotalária proporcionou maior diâmetro do colo, área foliar e vagens com um e três grãos. Maior número de nós foi obtido em solo com milheto e crotalária em relação ao solo em pousio. Nas duas safras em estudo, não foi observado efeito do adubo biológico sobre os caracteres agronômicos e produtividade da soja (Tabela 3).

Tabela 3. Caracteres vegetativos e produtivos da cultura da soja em resposta ao adubo biológico (AB) e cobertura de solo (COB), safra 2017/18 e 2018/19.

AB	AP	APV	DC	AF	NN	VG1	VG2	VG3	VG4	PMG	PROD
	---------cm---------			cm^2	---------- un ----------					g	kg ha^{-1}
Safra 2017/18											
Com	49,29	8,59	0,58	1.175,90	10,32	6,58	18,55	17,18	1,08	134,54	2.838,97
Sem	49,04	8,84	0,56	1.269,20	10,73	6,65	19,02	15,50	0,83	137,68	2.912,26
COB											
Milheto	47,50b	8,14	0,53	1.241,73	10,33	6,92	17,52	15,27	0,77	136,76	2.931,82a
Crotalária	53,39a	8,59	0,65	1.262,32	10,83	7,52	20,89	18,87	1,29	137,45	3.001,86a
Pousio limpo	46,61b	9,42	0,53	1.163,59	10,42	5,42	17,96	14,87	0,81	134,13	2.693,17b
CV (%)	7,53	25,95	29,38	26,01	7,58	26,36	15,00	19,27	57,15	6,44	6,10
AB	Safra 2018/19										
Com	57,52	9,80	0,63	1.254,08	15,07	3,82	17,94	23,43	1,35	114,61	2.894,11
Sem	57,66	9,81	0,62	1.236,69	15,35	3,39	16,08	25,15	1,42	112,76	2.622,45
COB											
Milheto	58,75	10,56a	0,59b	1.205,94ab	16,35a	3,81ab	17,08	23,04b	1,50	115,41	2.998,64
Crotalária	58,43	8,80b	0,71a	1.456,84a	16,02a	4,25a	18,81	29,49a	1,50	109,73	2.772,53
Pousio limpo	55,59	10,05ab	0,58b	1.073,37b	13,25b	2,75b	15,14	20,35b	1,14	115,90	2.503,67
CV (%)	5,09	11,41	18,86	16,36	19,68	28,94	16,25	14,28	49,38	5,20	13,85

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Altura de planta (AP), altura de inserção da primeira vagem (APV), diâmetro do caule (DC), número de nós (NN), vagens com 1, 2, 3 e 4 grãos (VG), área foliar (AF), massa de mil grãos (PMG) e produtividade (PROD).

Indicadores de qualidade química

Houve interação entre adubo biológico e coberturas de solo para a capacidade de troca de cátions e teor de magnésio na safra 2017/18 e no teor de matéria orgânica na safra 2018/19 (Tabelas 4 e 5). Houve acréscimo de 34% no teor de Mg em solo de crotalária com adubo biológico em comparação a crotalária sem a presença do adubo. Não houve diferença estatística entre as coberturas para o teor de Mg tanto com, como sem adubo biológico (Tabela 4).

Na CTC do solo, o uso de crotalária com adubo biológico elevou esta variável em 15% em relação ao solo de crotalária sem a presença do adubo biológico. Entre as coberturas, a crotalária na presença do adubo biológico proporcionou maior CTC. Não houve diferença entre as coberturas para a CTC do solo sem adubo biológico (Tabela 4).

Tabela 4. Desdobramento da interação entre adubo biológico e cobertura de solo para o teor de magnésio e capacidade de troca de cátions em solo cultivado com soja, safra 2017/18.

Adubo biológico	Magnésio (Mg)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	0,46aA	0,50aA	0,43aA
Sem	0,40aA	0,33bA	0,43aA
CV (%)		12,88	
Adubo biológico	Capacidade de Troca de Cátions (CTC)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	3,94aAB	4,22aA	3,71aB
Sem	3,92aA	3,58bA	3,70aA
CV (%)		5,59	

Médias em minúsculo na coluna e em maiúsculo na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Mg (cmolc dm^{-3}) e CTC (cmolc dm^{-3}).

Maior teor de MO foi verificado em solo com aplicação de adubo biológico na presença das coberturas milheto, crotalária e para o solo em pousio limpo. Entre as coberturas, a crotalária com adubo biológico proporcionou maior teor de MO. Não houve diferença estatística entre as coberturas sem a presença do adubo biológico para o teor de MO (Tabela 5).

Tabela 5. Desdobramento da interação entre adubo biológico e cobertura de solo para o teor de matéria orgânica em solo cultivado com soja, safra 2018/19.

Adubo biológico	Matéria Orgânica (MO)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	32,67aB	35,00aA	32,67aB
Sem	31,33bA	31,33bA	30,33bA
CV (%)		2,60	

Médias em minúsculo na coluna e em maiúsculo na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Não foi observado efeito do adubo biológico sobre os indicadores de qualidade química do solo na safra 2017/18, diferente da safra 2018/19, em que se obteve maior capacidade de troca de cátions (CTC), carbono orgânico total (COT) e teor de magnésio (Mg) em 6%, 9% e 22%, respectivamente (Tabelas 6 e 7).

Nas duas safras em estudo foi observado efeito das plantas de cobertura sobre a qualidade química do solo. Na safra 2017/18, maior teor de enxofre (S) e potássio (K) foram observados em solo com milheto, bem como maior teor de fósforo (P) para o solo com crotalária (Tabela 6). Na safra 2018/19, maior teor de potássio (K) foi constatado para os tratamentos milheto e crotalária, e maior teor de cálcio (Ca), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por base (V%) para o solo em pousio limpo (Tabela 7).

Tendo o fragmento de mata como referência, foi observado maiores teores de Fósforo (P), Potássio (K), saturação por base (V%) e pH em solo cultivado com soja nas safras 2017/18 e 2018/19. Na safra 2017/18, o teor de enxofre (S) e magnésio (Mg) da área de cultivo se igualaram ao fragmento de mata. Comportamento diferente ocorreu na safra 2018/19, em que os valores de S e Mg foram maiores em área cultivada com soja. Maior teor de matéria orgânica (MO), capacidade de troca de cátions (CTC), carbono orgânico total (COT) e acidez potencial (H+Al) foram observados em solo de mata nas duas safras em estudo (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6. Qualidade química do solo em função do adubo biológico (AB) e cobertura de solo (COB), correspondente a camada de 0 a 0,20 m de profundidade, safra 2017/2018.

					Teste de Tukey (p≤0,05)						
AB		pH	MO	S	P	K	Ca	H+Al		COT	V
		$CaCl_2$	g kg^{-1}	------mg dm^{-3}------		----------$cmol_c$ dm^{-3} ----------				%	%
Com		5,44	30,78	1,79b	3,37	0,20	1,25	2,03		1,17	48,78
Sem		5,44	31,33	2,32a	2,81	0,20	1,13	2,01		1,17	46,33
COB											
Milheto		5,38	30,00b	2,79a	3,12ab	0,23a	1,20	2,07		1,18	47,50
Crotalária		5,41	31,00ab	1,77b	3,93a	0,20ab	1,17	2,12		1,20	46,00
Pousio limpo		5,53	32,17a	1,61b	2,22b	0,17b	1,22	1,88		1,13	49,17
CV (%)		2,89	7,15	12,52	17,52	12,66	13,48	11,27		4,76	8,58
					Teste de Dunnett (p≤0,05)						
AB	COB	pH	MO	S	P	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	COT	V
		$CaCl_2$	g kg^{-1}	----mg dm^{-3}---		----------$cmol_c$ dm^{-3} ----------					%	%
	Milheto	5,40a	29,67b	2,24a	3,77a	0,24a	1,17a	0,47a	2,07b	3,94b	1,15b	47,33a
Com	Crotalária	5,33a	31,67b	1,40a	4,07a	0,19b	1,30a	0,50a	2,23b	4,22b	1,22b	47,67a
	Pousio	5,60a	31,00b	1,73a	2,27a	0,18b	1,30a	0,43a	1,80b	3,71b	1,15b	51,33a
	Milheto	5,43a	30,33b	3,33a	2,47a	0,22a	1,23a	0,40a	2,07b	3,92b	1,22b	47,67a
Sem	Crotalária	5,43a	30,33b	2,14a	3,80a	0,22a	1,03b	0,33b	2,00b	3,58b	1,18b	44,33a
	Pousio	5,47a	33,33b	1,49a	2,17a	0,17b	1,13b	0,43a	1,97b	3,70b	1,10b	47,00a
Frag. de mata		4,80b	51,33a	1,88a	0,63b	0,14b	1,53a	0,47a	5,10a	7,24a	1,84a	29,33b
CV (%)		5,85	28,02	17,76	78,43	21,44	18,74	18,01	45,73	28,73	27,85	17,15

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05) e pelo teste de Dunnett (p≤0,05). Matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H + Al), capacidade de troca de cátions (CTC), enxofre (S), carbono orgânico total (COT) e saturação por base (V%).

Tabela 7. Qualidade química do solo em função do adubo biológico (AB) e cobertura de solo (COB), correspondente a camada de 0 a 0,20 m de profundidade, safra 2018/2019.

						Teste de Tukey (p≤0,05)					
AB		pH	S	P	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	COT	V
		$CaCl_2$	mg dm^{-3}		----------$cmol_c$ dm^{-3} ----------					%	%
Com		5,62b	40,6	2,91	0,20	1,31	0,49a	3,67	5,67a	1,23a	35,22
Sem		5,74a	31,4	2,76	0,20	1,23	0,38b	3,52	5,33b	1,12b	34,00
COB											
Milheto		5,62	29,8	2,90	0,22a	1,13b	0,37	3,57	5,29b	1,16	32,33b
Crotalária		5,68	33,7	2,95	0,22a	1,30ab	0,47	3,60	5,58ab	1,22	35,67ab
Pousio limpo		5,75	44,4	2,65	0,17b	1,38a	0,47	3,62	5,63a	1,15	35,83a
CV (%)		2,27	31,8	25,29	15,58	13,68	21,76	5,57	6,86	4,77	7,72
						Teste de Dunnett (p≤0,05)					
AB	COB	pH	MO	S	P	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	COT	V
		$CaCl_2$	g kg^{-1}	----mg dm^{-3}---		----------$cmol_c$ dm^{-3} ----------					%	%
	Milheto	5,57a	32,67b	31,70a	2,37b	0,22a	1,13b	0,40b	3,57b	5,32b	1,20b	32,67a
Com	Crotalária	5,67a	35,00b	34,50a	3,27a	0,23a	1,33a	0,50b	3,63b	5,69b	1,27b	36,33a
	Pousio	5,63a	32,67b	55,50a	3,10a	0,17b	1,47a	0,57a	3,80b	6,00b	1,21b	36,67a
	Milheto	5,67a	31,33b	27,83a	3,43a	0,22a	1,13b	0,33b	3,57b	5,26b	1,12b	32,00a
Sem	Crotalária	5,70a	31,33b	32,97a	2,63b	0,21a	1,27a	0,43b	3,57b	5,47b	1,16b	35,00a
	Pousio	5,87a	30,33b	33,30a	2,20b	0,17b	1,30a	0,37b	3,43b	5,27b	1,10b	35,00a
Frag. de mata		4,93b	49,67a	1,14b	0,50b	0,15b	1,47a	0,37b	7,07a	9,05a	1,90a	22,00b
CV (%)		5,84	19,68	57,58	56,58	21,09	14,76	26,98	34,55	23,01	22,32	17,29

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05) e pelo teste de Dunnett (p≤0,05). Matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H + Al), capacidade de troca de cátions (CTC), enxofre (S), carbono orgânico total (COT), saturação por base (V%).

Indicadores de qualidade microbiológica

Houve interação significativa entre os fatores adubo biológico e coberturas de solo para os indicadores carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS), quociente microbiano (*q*MIC) e quociente metabólico (q-CO_2) na safra 2017/18. Os indicadores CBMS e *q*MIC tiveram comportamento semelhante na interação, não sendo observado efeito do adubo biológico sobre estas variáveis. Quanto ao efeito das coberturas de solo, houve diferença estatística nos valores de CBMS e *q*MIC

para as coberturas sem a presença do adubo biológico, com maiores valores para o milheto e pousio limpo. O adubo biológico juntamente com o milheto proporcionou maior *q*-CO_2. Não foi observado efeito das coberturas sobre os valores de *q*-CO_2 (Tabela 8).

Tabela 8. Desdobramento da interação entre adubo biológico e cobertura de solo para o carbono da biomassa microbiana do solo, quociente microbiano e quociente metabólico em solo cultivado com soja, safra 2017/2018.

Adubo biológico	Carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	129,01bA	161,94aA	139,50bA
Sem	301,49aA	115,67aB	319,46aA
CV (%)		31,50	
Adubo biológico	Quociente microbiano (*q*-MIC)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	0,74bA	0,87aA	0,81bA
Sem	1,73aA	0,66aB	1,69aA
CV (%)		30,17	
Adubo biológico	Quociente metabólico (*q*-CO_2)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	2,50aA	1,50aA	1,20aA
Sem	0,52bA	1,33aA	1,38aA
CV (%)		54,34	

Médias em minúsculo na coluna e em maiúsculo na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05). Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS – mg C microbiano kg^{-1} solo), quociente microbiano (*q*MIC – %), e quociente metabólico (*q*CO_2 – mg C-CO_2 g^{-1}BMS-C h^{-1}).

Na safra 2018/19 houve interação entre os fatores avaliados para o carbono orgânico total (COT) e a respiração basal do solo (C-CO_2), que foram maiores em solo com adubo biológico para todas as coberturas avaliadas. Entre as coberturas, a crotalária com a presença do adubo biológico proporcionou maior valor de COT e na ausência do adubo biológico não foi observado diferença estatística entre as coberturas para esta variável. Para os valores de C-CO_2, o solo em pousio na

presença do adubo biológico proporcionou maior respiração basal do solo e na ausência do adubo maior valor foi observado para o milheto (Tabela 9).

Tabela 9. Carbono Orgânico Total (COT) e Respiração basal do solo ($C\text{-}CO_2$) em solo cultivado com soja submetido ao adubo biológico (AB) e cobertura do solo (COB), safra 2018/2019.

Adubo biológico	Carbono Orgânico Total (COT)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	18,95aB	20,30aA	18,95aB
Sem	18,17bA	18,17bA	17,59bA
CV (%)		2,60	
Adubo biológico	Respiração basal do solo ($C\text{-}CO_2$)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	0,23aAB	0,19aB	0,28aA
Sem	0,16bA	0,11bAB	0,07bB
CV (%)		22,46	

Médias em minúsculo na coluna e em maiúsculo na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Carbono orgânico total (COT – g kg^{-1}), respiração basal do solo ($C\text{-}CO_2$ – mg de $C\text{-}CO_2$ kg^{-1} solo $hora^{-1}$).

Na safra 2017/18 não foi observado efeito do adubo biológico sobre os indicadores microbiológicos do solo, diferente da safra 2018/19, em que se obteve maior carbono da biomassa microbiana (C-BMS) em solo com adubo biológico, com acréscimo de 15%. Também foi observado maior quociente metabólico (qCO_2) em solo com a presença do adubo biológico (Tabela 10).

Para as coberturas de solo, na safra 2018/19 maior C-BMS foi observada em solo com crotalária e menor valor para o solo em pousio limpo. O C-BMS do solo com milheto se igualou estatisticamente ao solo com crotalária e pousio limpo. Maior valor de qCO_2 foi observado para o tratamento milheto, e menor valor para a crotalária, enquanto que o solo em pousio não diferiu estatisticamente de ambos. Não foi observado efeito do adubo biológico e coberturas de solo sobre o quociente microbiano em segunda safra (Tabela 10).

Comparando os indicadores da área de cultivo com a mata, na safra 2017/18, o teor de COT e C-BMS foram maiores para a mata, enquanto que o quociente

microbiano, respiração basal do solo e quociente metabólico da área de cultivo se igualaram estatisticamente à mata. Na safra 2018/19 todos os indicadores apresentaram valores maiores para a área da mata, com exceção do quociente metabólico (Tabela 10).

Tabela 10. Indicadores de qualidade microbiológica do solo submetido à adubação biológica (AB) e cobertura do solo (COB), safra 2017/18 e 2018/19.

		Teste de Tukey (p≤0,05)				
AB		---------- Safra 2017/2018 ----------			---------- Safra 2018/2019 ----------	
		COT	C-CO_2	C-BMS	*q*MIC	*q*CO_2
Com		17,66	0,21	249,63a	1,22	1,03a
Sem		18,11	0,18	211,15b	1,23	0,63b
COB						
Milheto		17,30	0,23	231,87ab	1,24	1,09a
Crotalária		18,98	0,16	263,71a	1,26	0,49b
Pousio limpo		18,37	0,20	195,59b	1,16	0,89ab
CV (%)		7,17	37,74	13,53	13,87	50,91

		Teste de Dunnett (p≤0,05)									
AB	COB	---------- Safra 2017/2018 ----------					---------- Safra 2018/2019 ----------				
		COT	C-BMS	*q*MIC	C-CO_2	*q*CO_2	COT	C-BMS	*q*MIC	C-CO_2	*q*CO_2
	Milheto	17,21b	129,01b	0,74b	0,30a	2,50a	18,85b	235,78b	1,25b	0,23b	1,19a
Com	Crotalária	18,37b	161,94b	0,87b	0,16b	1,50a	20,30b	302,67b	1,29b	0,19b	0,54b
	Pousio	17,40b	139,50b	0,81b	0,16b	1,20a	18,95b	210,43b	1,11b	0,28b	1,36a
	Milheto	17,40b	301,49b	1,73a	0,16b	0,52a	18,17b	227,96b	1,24b	0,17b	1,00a
Sem	Crotalária	17,59b	115,67b	0,66b	0,15b	1,33a	18,17b	224,74b	1,24b	0,11b	0,45b
	Pousio	19,33b	319,45b	1,69a	0,24b	1,38a	17,59b	180,76b	1,21b	0,07b	0,43b
Frag. de mata		29,78a	552,27a	1,86a	0,70a	1,28a	28,81a	531,16a	1,85a	0,46a	0,89b
CV (%)		16,43	65,07	49,33	27,33	29,13	18,64	43,33	22,27	61,12	47,33

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05) e pelo teste de Dunnett (p≤0,05). Carbono orgânico total (COT – g kg^{-1}), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS – mg C microbiano kg^{-1} solo), quociente microbiano (*q*MIC – %), respiração basal do solo (C-CO_2 – mg de C-CO_2 kg^{-1} solo $hora^{-1}$) e quociente metabólico (*q*CO_2 – mg C-CO_2 g^{-1}BMS-C h^{-1}).

Indicadores bioquímicos do solo

A avaliação da atividade enzimática do solo (Fosfatase ácida e Beta-glicosidase) foi realizada apenas na safra 2018/19, em quarto ano com uso do adubo biológico na área experimental. Houve interação significativa entre adubo biológico e plantas de cobertura para as enzimas do solo avaliadas (Tabela 11).

A crotalária juntamente com o adubo biológico proporcionou maior atividade de Fosfatase ácida e Beta-glicosidase. Entre as coberturas, na presença adubo biológico, a crotalária proporcionou maior atividade das duas enzimas. Para as coberturas sem o uso de adubo biológico, o milheto proporcionou maior atividade de Fosfatase ácida e o milheto e crotalária maior atividade de Beta-glicosidase em relação ao solo em pousio (Tabela 11).

Tabela 11. Desdobramento da interação entre adubo biológico e cobertura de solo para Fosfatase ácida e Beta-glicosidase em solo cultivado com soja, safra 2018/19.

Adubo biológico	Fosfatase ácida		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	325,25bB	377,60aA	332,60bB
Sem	452,45aA	294,15bC	371,45aB
CV (%)		4,38	
Adubo biológico	Beta-glicosidase		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	119,05bB	163,40aA	99,85bC
Sem	153,60aA	145,85bA	123,75aB
CV (%)		5,38	

Médias em minúsculo na coluna e em maiúsculo na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Fosfatase ácida (µg PNF.g^{-1} solo.$hora^{-1}$), Beta-glicosidase (µg PNG.g^{-1} solo.$hora^{-1}$).

Comparando a atividade de Fosfatase ácida e Beta-glicosidase da área de cultivo com o fragmento de mata, constatou-se maior atividade em solo de mata, indicando que as táticas de manejo adotadas alteram a atividade enzimática do solo. No entanto, alguns valores obtidos na área de cultivo se aproximam dos valores da mata (Tabela 12).

Tabela 12. Atividade de Fosfatase ácida e Beta-glicosidase em solo cultivado com soja submetido à adubação biológica (AB) e cobertura do solo (COB), safra 2018/2019.

		Teste de Dunnett (p≤0,05)	
AB	COB	Fosfatase ácida	Beta-glicosidase
		µg PNF.g^{-1} solo.hora^{-1}	µg PNG.g^{-1} solo.hora^{-1}
	Milheto	325,25b	119,05b
Com	Crotalária	377,60b	163,40b
	Pousio limpo	332,60b	99,85b
	Milheto	452,45b	153,60b
Sem	Crotalária	294,15b	145,85b
	Pousio limpo	371,45b	123,75b
Fragmento de Mata		697,80a	212,50a
CV (%)		32,63	25,86

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Dunnett (p≤0,05).

Indicadores de qualidade física

Não houve interação entre adubo biológico e coberturas de solo para os indicadores de qualidade física na safra 2017/18 e 2018/19, com exceção da resistência à penetração na camada de 5 a 10 cm, que será abordado mais a frente (Tabela 15).

Na safra 2017/18, foi observado efeito do adubo biológico apenas para umidade volumétrica (0-10 cm), diferente da safra 2018/19 em que se obteve maior umidade volumétrica (10-20 cm), umidade gravimétrica (0-10 e 10-20 cm), microporosidade (0-10 cm), porosidade total (0-10 cm) e menor densidade (0-10 e 10-20 cm). Quanto ao efeito das coberturas de solo sobre os indicadores físicos, na primeira safra o uso de crotalária promoveu maior umidade volumétrica (0-10 cm). Na segunda safra não foi observado efeito das coberturas de solo nos indicadores avaliados (Tabelas 13 e 14).

Considerando o solo de fragmento de mata como referência, nas duas safras em estudo os valores de umidade (Uv e Ug) obtidos na área de cultivo foram estatisticamente iguais ou superiores aos valores de solo de mata. Esses resultados evidenciam os benefícios das táticas de manejo preconizadas neste trabalho sobre estas variáveis físicas do solo. No entanto, maior densidade foi obtida na área de cultivo em comparação a mata nas duas safras em estudo. A macroporosidade,

microporosidade e porosidade total se igualaram à mata na safra 2017/18, enquanto que na safra 2018/19 maior microporosidade foi observado na área de cultivo (Tabelas 13 e 14).

Tabela 13. Qualidade física do solo cultivado com soja em função do adubo biológico (AB) e cobertura do solo (COB), safra 2017/18.

		Teste de Tukey (p≤0,05)											
		Uv[1]		Ug[2]		Ds[3]		MaP[4]		MiP[5]		Pt[6]	
Adubo biológico		0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
		---------- % ----------				---- g cm^{-3} ---		---------- cm^3 cm^{-3} ----------					
Com		30a	31	23	22	1,33	1,40	0,06	0,06	0,37	0,36	0,43	0,42
Sem		28b	29	21	21	1,31	1,40	0,07	0,06	0,36	0,35	0,43	0,41
Cobertura													
Milheto		29ab	30	23	21	1,28	1,39	0,08	0,06	0,36	0,35	0,45	0,41
Crotalária		30a	30	22	22	1,35	1,39	0,05	0,06	0,37	0,36	0,43	0,42
Pousio limpo		28b	30	21	21	1,34	1,43	0,06	0,05	0,36	0,36	0,43	0,41
CV (%)		5,86	9,02	16,06	8,06	4,76	3,63	43,82	20,85	5,36	2,93	7,08	4,26
AB	COB	Teste de Dunnett (p≤0,05)											
	Milheto	30a	31a	23b	22a	1,32a	1,41b	0,08a	0,06a	0,37a	0,35a	0,44a	0,41a
Com	Crotalária	32a	31a	24a	22a	1,35a	1,38b	0,05b	0,07a	0,38a	0,36a	0,43a	0,42a
	Pousio limpo	29b	30a	21b	21b	1,34a	1,42b	0,05b	0,05a	0,37a	0,37a	0,43a	0,42a
	Milheto	29b	29b	23b	21b	1,25b	1,38b	0,09a	0,06a	0,36a	0,34a	0,46a	0,40a
Sem	Crotalária	28b	29b	21b	21b	1,36a	1,39b	0,06a	0,06a	0,37a	0,36a	0,43a	0,41a
	Pousio limpo	27b	29b	20b	21b	1,33a	1,44a	0,07a	0,05a	0,36a	0,35a	0,43a	0,40a
Frag. de mata		19b	20b	17b	16b	1,17b	1,30b	0,12a	0,06a	0,35a	0,37a	0,47a	0,43a
CV (%)		21,42	20,01	34,07	8,78	6,75	4,96	48,42	31,03	6,17	2,87	13,02	5,46

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p≤0,05) e pelo Teste de Dunnett (p≤0,05). [1]Umidade volumétrica, [2]umidade gravimétrica, [3]densidade do solo, [4]macroporosidade [5]microporosidade e [6]porosidade total.

Tabela 14. Qualidade física do solo cultivado com soja em função do adubo biológico (AB) e cobertura do solo (COB), safra 2018/19.

Adubo biológico		Teste de Tukey (p≤0,05)											
		Uv[1]		Ug[2]		Ds[3]		MaP[4]		MiP[5]		Pt[6]	
		0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
		---------- % ----------				---- g cm^{-3} ---		---------- cm^3 cm^{-3} ----------					
Com		0,34	0,36a	0,26a	0,25a	1,30b	1,44b	0,03	0,02	0,41a	0,37	0,44a	0,39
Sem		0,34	0,35b	0,25b	0,24b	1,35a	1,46a	0,02	0,01	0,39b	0,37	0,41b	0,38
Cobertura													
Milheto		0,34	0,36	0,26	0,25	1,31	1,44	0,03	0,02	0,41	0,37	0,44	0,39
Crotalária		0,34	0,36	0,25	0,25	1,33	1,44	0,02	0,02	0,40	0,37	0,42	0,39
Pousio limpo		0,34	0,36	0,25	0,25	1,34	1,46	0,02	0,02	0,40	0,37	0,42	0,39
CV (%)		4,96	1,44	3,76	1,98	3,15	1,14	61,77	30,11	3,68	2,53	3,06	3,12
AB	COB	Teste de Dunnett (p≤0,05)											
	Milheto	0,35a	0,36a	0,27a	0,25a	1,29b	1,44a	0,03b	0,02a	0,42a	0,37b	0,43a	0,39a
Com	Crotalária	0,33b	0,36a	0,25a	0,26a	1,32b	1,43a	0,02b	0,02a	0,40a	0,38a	0,43a	0,40a
	Pousio limpo	0,35a	0,37a	0,27a	0,25a	1,30b	1,44a	0,03b	0,02a	0,40a	0,38a	0,43a	0,39a
	Milheto	0,34b	0,35a	0,25a	0,24b	1,33b	1,44a	0,03b	0,02a	0,40a	0,37a	0,42a	0,39a
Sem	Crotalária	0,34b	0,36a	0,25a	0,24b	1,35b	1,46a	0,02b	0,02a	0,39a	0,37a	0,42a	0,39a
	Pousio limpo	0,34b	0,35a	0,24a	0,24b	1,38a	1,48a	0,02b	0,02a	0,39a	0,37a	0,41b	0,39a
Frag. de mata		0,31b	0,31b	0,25a	0,23b	1,25b	1,37b	0,08a	0,03a	0,35b	0,36b	0,44a	0,39a
CV (%)		6,29	6,00	6,07	4,57	4,83	2,74	71,51	27,08	5,98	2,65	4,67	2,78

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p≤0,05) e pelo Teste de Dunnett (p≤0,05). [1]Umidade volumétrica, [2]umidade gravimétrica, [3]densidade do solo, [4]macroporosidade [5]microporosidade e [6]porosidade total.

Houve interação significativa entre os fatores avaliados para a resistência à penetração (RP) na camada de 5 a 10 cm. Menor RP foi observado para o solo em pousio sem aplicação de adubo biológico. Entre as coberturas com a presença de adubo biológico, o pousio limpo apresentou maior valor de RP. Na ausência do adubo biológico, não houve diferença entre as coberturas para os valores de RP (Tabela 15).

Tabela 15. Desdobramento da interação entre adubo biológico e cobertura de solo para resistência a penetração na profundidade de 5-10 cm em solo cultivado com soja, safra 2017/18.

Adubo biológico	Resistência à penetração (5 -10 cm)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	1,12aB	1,23aB	1,42aA
Sem	1,13aA	1,12aA	1,21bA
CV (%)		6,42	

Médias em minúsculo na coluna e em maiúsculo na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Na primeira safra, foi observado efeito do adubo biológico sobre os valores de RP apenas na camada de 40 a 45 cm. Quanto às plantas de cobertura, menor resistência à penetração foi observada em solo sob crotalária de 20 a 30 cm. Os maiores valores de RP podem ser observados na camada superficial do solo (0-5 cm) (Tabela 16).

Tabela 16. Resistência à penetração do solo cultivado com soja submetido ao adubo biológico (AB) e cobertura do solo (COB), safra 2017/18.

Adubação Biológica	Teste de Tukey (p≤0,05)								
	0-5	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
	---------- Resistência mecânica do solo a penetração (Mpa) ----------								
Com	2,19	1,02a	0,83	0,68	0,56	0,48	0,39	0,33b	0,29
Sem	2,20	0,91b	0,78	0,66	0,55	0,48	0,40	0,34a	0,29
Cobertura do solo									
Milheto	2,11	0,96	0,79	0,64b	0,54b	0,47	0,39	0,34	0,28
Crotalária	2,10	0,92	0,81	0,70a	0,58a	0,49	0,40	0,33	0,29
Pousio limpo	2,38	1,01	0,81	0,68ab	0,56ab	0,48	0,39	0,34	0,29
CV (%)	11,75	9,81	7,91	6,02	3,78	5,65	6,14	4,26	4,66

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Na safra 2018/19, houve influência do adubo biológico na camada superficial do solo (0 a 5 cm), com resistência à penetração menor em 5% para o solo com adubo biológico. Não houve influência das plantas de cobertura sobre esta variável nas camadas avaliadas. Comparando a resistência a penetração do solo cultivado

com soja e a mata, maior resistência foi observada em solo antropizado de 0 a 40 cm (Tabela 17).

Tabela 17. Resistência à penetração do solo cultivado com soja submetido à adubo biológico (AB) e cobertura do solo (COB), safra 2018/19.

		Teste de Tukey (p≤0,05)									
Adubação Biológica		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
		---------- Resistência mecânica do solo a penetração (Mpa) ----------									
Com		2,00b	1,25	0,96	0,76	0,61	0,51	0,44	0,37	0,32	0,28
Sem		2,11a	1,23	0,94	0,76	0,62	0,51	0,44	0,37	0,33	0,28
Cobertura do solo											
Milheto		2,04	1,22	0,92	0,73	0,61	0,50	0,43	0,37	0,33	0,28
Crotalária		2,00	1,21	0,94	0,78	0,61	0,51	0,44	0,37	0,32	0,28
Pousio limpo		2,12	1,28	0,99	0,78	0,63	0,52	0,44	0,37	0,32	0,28
CV (%)		7,16	6,73	7,75	7,58	4,71	4,93	6,05	4,13	3,00	4,37
AB	COB	Teste de Dunnett (p≤0,05)									
	Milheto	1,93a	1,19a	0,91a	0,72a	0,60a	0,50a	0,42b	0,37a	0,32a	0,27a
Com	Crotalária	1,99a	1,27a	0,98a	0,78a	0,60a	0,51a	0,45a	0,38a	0,32a	0,28a
	Pousio limpo	2,08a	1,28a	1,00a	0,78a	0,62a	0,52a	0,45a	0,37a	0,32a	0,28a
	Milheto	2,16a	1,25a	0,93a	0,7a	0,61a	0,51a	0,45a	0,38a	0,33a	0,28a
Sem	Crotalária	2,01a	1,16a	0,90a	0,78a	0,61a	0,51a	0,44b	0,36a	0,33a	0,27a
	Pousio limpo	2,16a	1,28a	0,98a	0,78a	0,64a	0,52a	0,43b	0,37a	0,32a	0,28a
Fragmento de mata		1,41b	0,93b	0,66b	0,48b	0,43b	0,40b	0,37b	0,32b	0,33a	0,28a
CV (%)		15,93	12,69	15,17	16,90	12,35	9,97	8,93	7,68	4,74	5,86

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p≤0,05) e pelo Teste de Dunnett (p≤0,05).

Produção de fitomassa e decomposição da cobertura

A velocidade de decomposição, tempo de meia vida e produtividade de massa seca das coberturas foi estatisticamente igual para os tratamentos com e sem aplicação de adubo biológico nas duas safras. Em relação às coberturas de solo, na safra 2018/19 maior constante de decomposição e menor tempo de meia vida foram observados para o milheto em relação à crotalária. Maior produtividade de massa seca foi constatada para o milheto na safra 2018/19 (Tabela 18).

Tabela 18. Produção de massa seca, constante de decomposição (K) e tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de massa seca remanescente da palha de crotalária e milheto, safra 2017/2018 e 2018/2019.

		Safra 2017/2018	
Adubo biológico	K	$T_{1/2}$	Massa Seca t ha^{-1}
Com	0,009a	80,17a	6,60a
Sem	0,011a	63,96a	6,75a
Cobertura			
Milheto	0,011a	67,21a	7,95a
Crotalária	0,010a	76,92a	5,41a
CV (%)	25,40	30,53	38,83
		Safra 2018/2019	
Adubo biológico	K	$T_{1/2}$	Massa Seca t ha^{-1}
Com	0,008a	96,22a	6,88a
Sem	0,008a	96,00a	6,80a
Cobertura			
Milheto	0,010a	75,84b	9,94a
Crotalária	0,006b	116,37a	3,74b
CV (%)	38,56	31,98	9,56

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p≤0,05).

DISCUSSÃO

Desempenho da cultura da soja

O incremento em produtividade da soja observado na safra 2017/18 com o uso das crotalárias e milheto se deve às características dessas coberturas. As crotalárias auxiliam na proteção do solo com potencial em produção de biomassa e possuem a capacidade de disponibilizar nitrogênio para as culturas em sucessão (LEAL et al., 2012), enquanto que o milheto (*Pennisetum glaucum* L.) se destaca pela alta produção de biomassa de maior relação C/N, disponibilizando os nutrientes de maneira mais lenta para a cultura posterior (PACHECO et al., 2011).

Resultados semelhantes em produtividade foram observados por Ascari et al. (2018) utilizando *Crotalaria Ochroleuca* e *Pennisetum glaucum* na mesma área experimental e por Oliveira et al. (2013) ao observarem que o uso de plantas de cobertura proporcionam melhores condições para o desenvolvimento e produtividade da soja, em especial com as palhadas de *Pennisetum glaucum* (4,772 Kg ha^{-1}).

Não foi observado efeito do adubo biológico sobre os caracteres agronômicos e produtividade da soja nas duas safras estudadas, o que se deve ao curto período de tempo (quatro anos) empregando-se esta tática de manejo. Resultados semelhantes foram constatados por Ascari et al. (2018) durante duas safras com aplicação do adubo biológico em solo (150 L ha^{-1}) no cultivo de soja.

Indicadores de qualidade química do solo

Os acréscimos em CTC, Mg e COT a partir do uso do adubo biológico se relaciona com o maior teor de matéria orgânica observado neste tratamento na safra 2018/19. Maiores teores de matéria orgânica elevam a CTC do solo, beneficiando a adsorção de cátions trocáveis (LOPES et al., 2004).

Além de apresentar em sua composição macro e micronutrientes e matéria orgânica (Tabela 1), o adubo biológico possui grande diversidade de micro-organismos (fungos, bactérias e leveduras), que utilizam da palhada sobre o solo como substrato na decomposição da matéria orgânica e mineralização de nutrientes (MEDEIROS & LOPES, 2006).

O maior teor de K em solo com milheto nas duas safras em estudo também foi constatado por alguns autores (SILVA et al., 2010; PACHECO et al., 2011; ARANTES et al., 2012; SORATTO et al., 2012) que observaram maior ciclagem de K com esta planta de cobertura. O milheto é uma espécie de alta capacidade na extração de nutrientes do solo, reduzindo os riscos de lixiviação (CRUSCIOL & SORATTO, 2009).

A maior concentração de P em solo com crotalária na safra 2017/18, também foi observado por Pereira et al. (2017) avaliando o teor e acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura de verão. A ciclagem e acúmulo de nutrientes na parte aérea das plantas contribui na redução do uso de fertilizantes químicos (AMADO et al., 2001; CALEGARI, 2012) colaborando com a sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola.

O solo cultivado com soja recebeu adubação mineral (NPK) durante as duas safras e calagem e gessagem na segunda safra, o que justifica maiores teores de P, K, V% e pH em segunda safra na área de cultivo em relação ao fragmento de mata. O maior teor de matéria orgânica observado em solo de mata nas duas safras

estudadas se deve a deposição contínua de material vegetal sobre o solo, servindo de substrato para os micro-organismos e elevando o teor de MO.

Indicadores de qualidade microbiológica do solo

A biomassa microbiana é um indicador sensível a mudanças no ecossistema, pois representa o destino inicial do C em transformação, e é uma das principais fontes de produção do CO_2 e das enzimas do solo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Maior carbono da biomassa microbiana (C-BMS) foi obtido com o uso do adubo biológico na safra 2018/19. Resultados semelhantes foram observados por Cherubin et al. (2015) utilizando dejeto líquido de suínos em plantio direto, favorecendo a diversidade da macrofauna e a atividade microbiana do solo.

Maiores valores de C-BMS também foram observados em solo com a palhada de crotalária, o que pode estar relacionado à sua menor relação C/N, estimulando a atividade microbiana sobre os restos culturais desta planta de cobertura. No sistema de plantio direto, a atividade microbiana do solo é beneficiada pelo não revolvimento do solo juntamente com o constante suprimento de carbono orgânico à biomassa microbiana, auxiliando na estabilidade dos agregados do solo (COSTA et al., 2006).

Maior quantidade de C da biomassa microbiana, baixo qCO_2 e incrementos no quociente microbiano foram observados por Carneiro et al. (2008) utilizando as coberturas feijão de porco (*Canavalia ensiformis.*), *Crotalaria juncea*, níger (*Guizotia abyssinica (L.F.) Cass.*) e aveia-preta (*Avena strigosa*) em comparação as demais espécies estudadas e ao solo com vegetação espontânea.

Maiores valores de C-BMS na área de mata nas duas safras estudadas também foram observados por Fonseca et al. (2007), Pôrto et al. (2009), Ferreira et al. (2010) e Cunha et al. (2012), que explicam este resultado como reflexo de uma microbiota estimulada pelo fornecimento contínuo de materiais orgânicos originados da mata, com diferentes níveis de decomposição.

Também se observou na área da mata maior respiração basal do solo (C-CO_2) na safra 2018/19. A liberação de CO_2 em solo de mata ocorre devido à constante incorporação de resíduos, promovendo o aumento da biomassa microbiana do solo e a atividade sobre esse material, resultando na liberação de CO_2 (KUZYAKOV, 2010).

Menores valores de qCO_2 indicam maior eficiência da atividade microbiana, com menor perca de CO_2 para o ambiente e maior fração de C incorporada ao tecido microbiano (GAMA-RODRIGUES, 1999). Os valores de qCO_2 da área de cultivo se igualaram estatisticamente à mata na safra 2017/18.

O quociente microbiano (*q*MIC) é obtido pela relação entre a biomassa microbiana e o carbono orgânico total do solo e indica a disponibilidade da matéria orgânica para os micro-organismos (SAMPAIO et al., 2008). Valores de *q*MIC maiores que 1% indicam acréscimos de carbono no solo ao longo do tempo (MARCHIORI JÚNIOR & MELO, 2000). Na safra 2018/19, todos os valores de *q*MIC na área experimental foram superiores a 1%, indicando incremento de C ao solo.

Indicadores bioquímicos do solo

A atividade de Beta-glicosidase está diretamente relacionada ao nível de matéria orgânica no solo e ao ciclo do carbono (EVANGELISTA et al., 2012) enquanto a Fosfatase ácida atua na mineralização do fósforo orgânico em fósforo assimilável pela planta (P inorgânico) (GATIBONI et al., 2008).

Maior atividade de Beta-glicosidase e Fosfatase ácida em solo com adubo biológico e a palhada de crotalária devem-se a elevada taxa de decomposição desta cobertura, com a disponibilização de nutrientes, entre eles o fósforo, de maneira mais rápida. Lisboa et al. (2012) também obtiveram maior atividade Beta-glicosidade em sistema de plantio direto em comparação plantio convencional.

A atividade de Fosfatase ácida maior em sistema de plantio direto está relacionada ao maior estoque de C no solo através da palhada sobre a superfície (LISBOA et al., 2012). Maior atividade de Fosfatase ácida e Beta-glicosidase foi obtido em fragmento de mata em comparação a área de cultivo devido à deposição constante de material vegetal sobre o solo, assim como, maior quantidade de P orgânico em área de mata, estimulando maior atividade de Fosfatase ácida e Beta-glicosidase.

Avaliando a atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste – MT, Matsuoka et al. (2003) obtiveram maior atividade de Fosfatase ácida em área sob vegetação nativa.

Indicadores de qualidade física do solo

A melhoria nos atributos físicos do solo com o uso do adubo biológico, principalmente em segunda safra, se deve ao incremento em matéria orgânica proporcionado pelo seu uso. A matéria orgânica melhora a qualidade física do solo através da redução na densidade e maior volume de poros, favorecendo a infiltração e aeração para o desenvolvimento das plantas (JORDAN et al., 2010; CUNHA et al., 2011).

A matéria orgânica presente no biofertilizante atua como agente cimentante entre as partículas, aumentando a capacidade de troca de cátions, disponibilizando mais nutrientes às plantas e serve de substrato para a biota do solo, mitigando os efeitos causados pela degradação dos solos (ALENCAR et al., 2015).

Em estudo avaliando o efeito da aplicação de biofertilizante, obtido a partir de esterco bovino, sobre a qualidade física de um cambissolo cultivado com figo Alencar et al. (2015), obteve melhor qualidade física do solo com melhor retenção de água. Resultados semelhantes foram observados por Zebarth et al. (1999) ao verificarem que o uso de resíduos orgânicos em solo aumentou o teor de matéria orgânica, reduziu a densidade do solo e aumentou quantidade de microporos, melhorando as propriedades físicas do solo.

Avaliando os atributos físicos do solo com a aplicação de dejeto líquido de suínos (DLS) durante 25 anos, Zhao et al. (2009) observaram melhoria da qualidade física do solo com este sistema de manejo. Os autores ressaltam que o uso de DLS está associado a um manejo de longo prazo e que a principal contribuição para a qualidade física do solo é o aumento da matéria orgânica, elevando a quantidade de poros, diminuindo a densidade do solo e melhorando sua estrutura, assim como observado neste trabalho, em que a aplicação de adubo biológico por um período de quatro anos resultou em melhorias na qualidade física do solo.

Maior umidade volumétrica foi observada em solo com a palhada de crotalária na safra 2017/18. A permanência dos resíduos culturais na superfície do solo reduz as perdas de água no solo, tanto pela redução da taxa de evaporação da água (PRASAD & POWER, 1991) como também por escoamento superficial (BRADY & BUCKMAN, 1983) com incremento em umidade e menor estresse hídrico da cultura em períodos de estiagem.

Não houve efeito das coberturas sobre os demais atributos físicos do solo avaliados nas duas safras. Resultados diferentes foram observados por Silva et al. (2017) com menores valores de densidade e maior porosidade para o solo com o

uso de milheto e Silva et al. (2009) ao obterem maior microporosidade (0-10 cm) e porosidade total do solo (20-40 cm) avaliando a influência da semeadura direta com o uso de cinco tipos de cobertura (*Mucuna aterrima*, *Pennisetum americanum*, *Crotalaria juncea*, *Cajanus cajan* e área de pousio) em solo cultivado com milho durante cinco anos.

A resistência à penetração (RP) é um dos indicadores de qualidade física do solo que está diretamente ligado ao crescimento radicular e desenvolvimento das plantas (VALICHESKI et al., 2012). Causada pelo trânsito de máquinas e implementos na área agrícola, dificulta a absorção de água e nutrientes pelas plantas.

Para o desempenho da soja, valores de resistência entre 2,24 e 2,97 MPa são considerados como impeditivo ao desenvolvimento radicular e prejudiciais à produtividade da cultura (BEUTLER et al., 2006), sendo observado valores de RP dentro deste intervalo apenas na primeira safra na camada de 0 a 5 cm para o solo em pousio (2,38 Mpa).

O uso de espécies de cobertura com sistema radicular vigoroso auxilia na descompactação do solo e as raízes, ao se decomporem formam canais, promovendo a movimentação de água e gases (MÜLLER et al., 2001). A palhada sobre a superfície do solo é capaz de dissipar até 30% da energia de compactação à qual o solo é submetido (BRAIDA et al., 2006), sendo inúmeros os benefícios promovidos com o uso de plantas de cobertura na qualidade física do solo.

Além do efeito das táticas de manejo sobre a resistência à penetração, outro fator que pode ter contribuído para os valores obtidos durante as duas safras foi o volume pluviométrico na época de avaliação (Figura 1). Este indicador é diretamente influenciado pelo teor de umidade em que o solo se encontra, de forma que solos mais úmidos apresentam menores valores de resistência à penetração (BEUTLER & CENTURION, 2003).

Avaliando o uso de plantas de cobertura e adubo biológico sobre a resistência à penetração em solo cultivado com soja durante duas safras (2015/16 e 2016/17) na mesma área experimental, Ascari (2017) obteve valores de RP variando de 4,94 a 1,81 Mpa da camada superficial para as camadas mais profundas do solo, valores estes, maiores que os observados neste terceiro e quarto ano utilizando estas táticas de manejo.

O menor valor de RP observado na camada superficial do solo (0-5 cm) na safra 2018/19 com adubo biológico pode estar relacionado ao maior teor de matéria orgânica proporcionada com o seu uso. A matéria orgânica tem influência direta na densidade do solo e resistência do solo à penetração (BRADY & BUCKMAN, 1983). Além disso, o não revolvimento do solo, juntamente com a palhada sobre a superfície aumenta o teor de matéria orgânica na camada superficial do solo (AMADO et al., 2001).

Comparando os indicadores de qualidade física do solo cultivado com soja com o fragmento de mata, maior densidade e resistência à penetração foram obtidos em solo cultivado, sendo observado comportamento semelhante por Oliveira et al. (2015) para a densidade do solo avaliando diferentes sistemas de manejo e o uso de dejetos líquidos de suínos.

A macroporosidade, microporosidade e porosidade total da área de cultivo semelhante ao fragmento de mata nas duas safras em estudo indicam que as táticas de manejo adotadas foram benéficas à qualidade física do solo. O maior volume de poros indica que o solo sofreu poucas alterações pelo tráfego de máquinas agrícolas (OLIVEIRA et al., 2015). Resultados diferentes foram observados por Oliveira et al. (2015) e Rossetti & Centurion (2013) ao constatarem redução na porosidade total de solo cultivado em comparação com o solo de floresta nativa.

Produção de fitomassa

A palhada sobre a superfície do solo contribui para a manutenção da umidade e protege contra a erosão, sendo importante a compreensão do tempo de permanência dessa palhada na superfície, bem como a velocidade de liberação desses nutrientes (BOER et al., 2007).

A constante de decomposição K e o tempo de meia vida da fitomassa T1/2 iguais estatisticamente para o consórcio de crotalárias e milheto na safra 2017/18 também foi observado por Carneiro et al. (2008) avaliando estas mesmas variáveis para gramíneas e leguminosas.

Maior produtividade de massa seca foi obtida para o milheto na safra 2018/19. Resultados semelhantes foram observados por Carneiro et al. (2008) ao constatarem maior rendimento de fitomassa para o milheto em comparação com *Crotalaria spectabilis* e *Crotalaria juncea*. Garcia & Rosolem (2010) também

obtiveram maior produtividade de fitomassa para o milheto em comparação a *Crotalaria juncea*.

Avaliando a produtividade de massa seca do milheto em período de entre safra em condições de cerrado Boer et al. (2007) obtiveram valores superiores a 10 t ha^{-1}, sendo obtido valores próximos a este para a palhada de milheto em segunda safra. Diferente deste, Pivetta et al. (2011) obtiveram rendimento de fitomassa de milheto inferior ao obtido neste trabalho durante as duas safras (3,28 t ha^{-1}).

Diante de tudo isso, verificou-se no presente trabalho que os atributos químicos, físicos, microbiológicos e enzimáticos do solo foram influenciados de maneira positiva pela presença do adubo biológico e plantas de cobertura, que são táticas de manejo voltadas para a reestruturação do solo, recomendando-se o seu uso. De modo geral, esses atributos tiveram efeito no desenvolvimento da planta e produtividade da cultura da soja.

CONCLUSÃO

O uso de adubo biológico e plantas de cobertura tiveram efeito benéfico sobre os atributos físicos, químicos, microbiológicos e enzimáticos em solo cultivado com soja. O milheto e a crotalária contribuíram para maior produtividade da soja na safra 2017/18.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONAB. *Acompanhamento da safra brasileira de grãos:* décimo segundo levantamento, Safra 2018/2019. Brasília: CONAB, vol.6, no.12, 2019.

K. Steenwerth and K.M. Belina, “Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem,” *Applied Soil Ecology*, vol.40, pp.359-369, 2008.

L.F.C. Leite, R.C.A. Freitas, E. Sagrilo, S.R.S. Galvão, “Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo amarelo no cerrado maranhense,” *Revista Ciência Agronômica*, vol.41,no.1, pp. 29-35, 2010.

J.A.A. Espindola, J.G.M. Guerra, D.L. Almeida, M.G. Teixeira, S. Urquiaga, “Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeiras,” *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.30, pp.321-328, 2006.

U.R. Nunes, V.C. Andrade Júnior, E.B. Silva, N.F. Santos, H.A.O. Costa, C.A. Ferreira, “Covering crops straw production and common bean productivity in no-tillage system,” *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol.41, no.6, pp.943-948, 2006.

S.B. Bressan, J.C.A. Nóbrega, R.S.A Nóbrega, R.S. Barbosa, L.B. Souza, “Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense,” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.17, no.4, pp.371-378, 2013.

A.P. Pereira, A. Schoffel, J. Koefender, J.N. Camera, D.P. Golle, R.C. Horn, “Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão,” *Revista de Ciências Agrárias*, vol.40, no.4, pp.799-807, 2017.

J.L.R. Torres, M.G. Pereira, A.J. Fabian, “Produção de fitomassa por plantas de cobertura e mineralização de seus resíduos em plantio direto,” *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol.43, no.3, pp.421-428, 2008.

R.F.B. Vasconcelos, J.R.B. Cantalice, V.S. Oliveira, Y.D.J. Costa, D.M. Cavalcante, “Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar,” *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 34, pp. 309-316, 2010.

J.G. Peres, C.F. Souza, N.A. Lavorenti, “Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo,” *Engenharia Agrícola*, vol.30, no.5, pp.875-886, 2010.

J. Sodré Filho, R. Carmona, A.N. Cardoso, A.M. Carvalho, “Culturas de sucessão ao milho na dinâmica populacional de plantas daninhas,” *Scientia Agraria*, vol.9, no.1, pp.7-14, 2008.

M.B. Medeiros, J.S. Lopes, “Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola,” *Bahia Agrícola*, vol.7, no.3, pp.24-26, 2006.

M.A.C. Carneiro, E.D.S. Souza, H.S. Pereira, W.R. Azevedo, “Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo,” *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.33, pp.147-157, 2009.

M.L.C. Moreira e T.N.N. Vasconcelos. *Mato Grosso solos e paisagens*. Cuiabá: entrelinhas, 2007.

J.P. Ascari. *Indicadores de qualidade do solo e táticas de manejo para uma agricultura sustentável*. 2017.94p. Dissertação (Mestrado em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola), Universidade do Estado de Mato Grosso, Tangará da Serra, 2017.

D.M.G. Sousa e E. Lobato (2004). *Cerrado:* correção do solo e adubação. Brasília: Embrapa Cerrados .

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de métodos de análise de solo*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos, 132).

C.A. Boer, R.L Assis, J.P Silva et al., “Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do brasil,” *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 32, pp. 843-851, 2008.

M.B. Teixeira, A. Loss, M.G. Pereira, C. Pimentel, “Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milheto e sorgo,” *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.35, no.1, pp.867-876, 2011.

R.K. Wider and G.E. Lang, “Critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags,” *Ecology*, vol. 63, no.6, pp.1636-1642, 1982.

E.A Paul and F.E. Clark. *Soil microbiology and biochemistry*. San Diego: Academic Press, 1989. 275 p.

M. Adami, F.A. Hastenreiter, D.L Flumignan, R.T. Faria, “Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares,” *Bragantia*, vol.67, no.4, pp. 1053-1058, 2008.

F.R. Souza, E.J.R. Junior, C.R. Fietz, A.C. Bergamin, L.R. Venturoso, Y.B.C.J. Rosa, “Atributos físicos e desempenho agronômico da cultura da soja em um Latossolo Vermelho Distroférrico submetido a dois sistemas de manejos,” *Ciência Agrotecnica*, vol.34, no.6, pp.1357-1364, 2010.

L.O.B. Schuch, E.M. Kolchinski, J.A. Finatto, “Qualidade fisiológica da semente e desempenho de plantas isoladas em soja,” *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 31, no.1, pp.144-149. 2009.

J.P. Ascari, D.V. Araújo, I.R.N. Mendes et al., “Quality of Soil in the function of biological fertilization and plant covering,” *African Journal of Agricultural Research*, vol.13, no.15, pp.733-741, 2018.

E.D. Vance, P.C. Brookes, D.S. Jenkinson, “An extraction method for mesuring soil microbial biomass-C,” *Soil Biology & Biochemistry*, vol.19, no.6, pp.703-707, 1987.

D.S Jenkinson and D.S. Powlson, “The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - V: A method for measuring soil biomass,” *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 8, pp. 209-213, 1976.

J.P.E Anderson, K.H. Domsch, “The metabolic quotient (qCO2) as specific activity parameters to assess the effects of environment conditions, such as pH, on microbial biomass of forest soils,” *Soil Biology and Biochemistry*, vol.25, no.3, pp.393-395, 1993.

M.A. Tabatabai. Soil enzymes. In: R. W. Weaver et al. (ed.). *Methods of soil analysis. Part* 2. Microbiological and biochemical properties. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison. pp.778–833, 1994.

F. Stolf, “Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo,” *Revista Brasileira de Ciência do solo*, vol.15, pp. 229-235, 1991.

M.A.C. Sá e J.D.G. Santos Junior. *Considerações teóricas sobre o calculo de resistência mecânica do solo a penetração determinada com penetrômetros dinâmicos*. 1ª ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2007. 25 p. (Documentos, 200).

R Core Team (2018). *R*: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

M.A.A. Leal, J.G.M. Guerra, R.T.G. Peixoto, D.L. Almeida, “Desempenho de crotalária cultivada em diferentes épocas de semeadura e de corte,” Revista Ceres, vol.59, no.3, pp.386-391, 2012.

L.P. Pacheco, W.M. Leandro, P.L.O.A. Machado et al., “Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha,” *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol.46, no.1, pp.17-25, 2011.

P. Oliveira, S.A. Nascente, J. Kluthcouski, “Soybean growth and yield under cover crops,” *Revista Ceres*, vol.60, no.2, pp.249-256, 2013.

A.S. Lopes, S. Wiethölter, L.R.G. Guilherme, C.A. Silva. *Sistema plantio direto:* Bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA; 2004.

R.R. Silva, M.L.N. Silva, E.L. Cardoso, F.M.S. Moreira, N. Curi, A.M.T. Alovisi, “Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes – MG,” *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.34, pp.1585-1592, 2010.

E.M. Arantes, C. Cremon, M.A.C Luiz, “Alterações dos atributos químicos do solo cultivado no sistema orgânico com plantio direto sob diferentes cobertura vegetais,” *Revista Agrarian*, vol.5, no.15, pp.47-54, 2012.

R.P. Soratto, C.A.C. Crusciol, C.H.M. Costa, J. Ferrari Neto, G.S.A. Castro, “Produção, decomposição e ciclagem de nutrientes em resíduos de crotalária e milheto, cultivados solteiros e consorciados,” *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol.47, no. 10, pp.1462-1470, 2012.

C.A.C. Crusciol and R.P. Soratto. Nitrogen supply for cover crops and effects on peanut grown in succession under a no-till system. *Agronomy Journal*, vol.101, pp.40-46, 2009

T.J.C. Amado, C. Bayer, F.L.F. Eltz, A.C.R. Brum, “Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental,” *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.25, pp.189-197, 2001.

A. Calegari. “plantas de cobertura em sistema plantio direto de qualidade,” *Revista a Granja*, vol.68, pp.67-69, 2012.

F.M.S. Moreira, J.O. Siqueira. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2.ed. Lavras: UFLA, 2006.

M.R. Cherubin, T.E. Mateus, C. Fabbris et al., “Qualidade física, química e biológica de um latossolo com diferentes manejos e fertilizantes,” *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.39, pp.615-625, 2015.

E.A. Costa, W.J. Goedert, D.M.G. Souza, “Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto”, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol.41, no.7, pp.1185-1191, 2006.

M.A.C. Carneiro, M.A.S. Cordeiro, P.C.R. Assis et al., “Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. *Bragantia*, Campinas, vol.67, no.2, pp.455-462, 2008.

G.C. Fonseca, M.A.C. Carneiro, A.R. Costa, G.C. Oliveira, L.C. Balbino, “Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura,” *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol.37, no.1, pp.22-30, 2007.

M.L. Pôrto, J.C. Alves, A.A. Diniz, A.P. Souza, D. Santos, “Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no Brejo Paraibano,” *Ciência e Agrotecnologia*, vol.33, no.4, pp.1011-1017, 2009.

E.P.B. Ferreira, H.P. Santos, J.R Costa, H. De-Polli, N.G. Rumjanek, “Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage managements,” *Revista Ciência Agronômica*, vol.41, no.2, pp.177-183, 2010.

E.Q. Cunha, L.F. Stone, E.P.B. Ferreira, A.D. Didonet, J.A.A. Moreira, “Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo,” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 16, no.1, pp.56-63, 2012.

Y. Kuzyakov, “Priming effects: Interactions between living and dead organic matter,”*Soil Biology and Biochemistry*, vol.42, pp.1363-1371, 2010.

E.F. Gama-Rodrigues. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: G.A. Santos, F.A.O. Camargo. *Fundamentos da matéria orgânica do solo:* ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênesis, 1999. pp. 227-243.

D.B. Sampaio, A.S.F. Araújo, V.B. Santos, “Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas,” *Ciência e Agrotecnologia*, vol.32, no.2, pp.353-359, 2008.

M. Marchiori Júnior e W.J. Melo, “Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos,” *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol.35, no.6, pp.1177- 1182, 2000.

R.E. Evangelista, F.L. Partelli, E.P.B. Ferreira, V. Correchel, “Atividade enzimática do solo sob sistema de produção orgânica e convencional na cultura da cana-de-açúcar em Goiás,” *Semina: Ciências Agrárias*, vol.33, no.4, pp.1251-1262, 2012.

L.C. Gatiboni, J. Kaminski, D.S. Rheinheimer, G. Brunetto, “Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatases ácidas durante a diminuição do fósforo disponível no solo,” *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol.43, no.8, pp.1085-1091, 2008.

B.B. Lisboa, L.K. Vargas, A.O. Silveira, A.F. Martins, P.A. Selbach, “Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo,” *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.36, pp.45-55, 2012.

M. Matsuoka, I.C. Mendes, M.F. Loureiro, “Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT),” *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, vol. 27, pp.425-433, 2003.

A. Jordan, L.M. Zavala, J. Gil, “Effects of mulching on soil physical properties and runoff under semi-arid conditions in southern Spain,” *Catena,* vol.81, pp.77-85, 2010.

E.Q. Cunha, L.F. Stone, A.D. Didonet, E.P.B. Ferreira, J.A.A. Moreira, W.M. Leandro, “Atributos químicos de solo sob produção orgânica influenciados pelo preparo e por plantas de cobertura,” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.15, no.10, pp.1021–1029, 2011.

L.A. Alencar, A.F. Chaves, C.L.A. Santos, R.N. Assis Junior, J.C.A. Mota, “Atributos Físicos de um Cambissolo Cultivado e Tratado com Biofertilizante na Chapada do Apodi, Ceará,” *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.39, pp.737-749, 2015.

B.J. Zebarth, G. H. Neilsen, E. Hogue, D. Neilsen, “Influence of organic waste amendments on selected soil physical and chemical properties,” *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 79, pp. 501-504, 1999.

Y. Zhao, P. Wang, J. Li, Y. Chene, X. Yingf, S. Liu, “The effects of two organic manures on soil properties and crop yields on a temperate calcareous soil under a wheat–maize cropping system,” *European Journal of Agronomy*, vol.31, pp.36-42, 2009.

R. Prasad and J.F. Power, “Crop residue managment,” *Advences in Soil Science*, vol.15, pp.205-251, 1991.

N.C. Brady, H.O. Buckman. *Natureza e propriedades dos solos*. 6. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983.

M.P. Silva, O. Arf, M.E. Sá, F.L. Abrantes, C.L.F. Berti, L.C.D. Souza, “Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto,” *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol.12, no.1, pp.60-67, 2017.

M.M. Silva, M.C. Alves, A.P. Sousa, F.C.S. Fernandes, “Plantas de cobertura e sistemas de preparo: impactos na qualidade física de um solo de Cerrado,” *Revista Ceres*, vol.56, no.1, pp.103-111, 2009.

R.R. Valicheski, F. Grossklaus, S.L.K. Stumer, A.L. Tramontin, E.S.A.S. Baade. “Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado,” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.16, no.9, pp.969-977, 2012.

A.N. Beutler, J.F. Centurion, M.A.P.C. Centurion, A.P. Silva, “Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em latossolo vermelho,” *Revista Brasileira Ciência do Solo,* vol.30, pp.787-794, 2006.

M.M.L. Müller, G. Ceccon, C.A. Rosolem, “Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento radicular de plantas de adubação verde de inverno”, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.25, pp.531-538, 2001.

J.Á. Braida, J.M. Reichert, M. Veiga, D.J. Reinert, “Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor,” *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol.30, pp.605-614, 2006.

N.A. Beutler and J.F. Centurion, “Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja,” *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol.38, no.7, pp.849-856, 2003.

D.M.S. Oliveira, R.P. Lima, E.E.J. Verburg, “Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejeto líquido suíno,” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.19, no.3, pp.280-285, 2015.

K.V. Rossetti, J.F. Centurion, “Sistemas de manejo e atributos físicohídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho,” *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.17, pp.472-479, 2013.

C.A. Boer, R.L. Assis, G.P. Silva et al., “Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado,” *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol.42, no.9, pp.1269-1276, 2007.

R.A. Garcia e C.A. Rosolem, “Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas,” *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol.45, no.12, pp.1489-1498, 2010.

L.A. Pivetta, G. Castoldi, G.P. Santos, C.A. Rosolem, “Crescimento e atividade de raízes de soja em função do sistema de produção,” *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol.46, no.11, pp.1547-1554, 2011.

ARTIGO II

TÁTICAS AGRÍCOLAS PARA REESTRUTURAÇÃO DE AMBIENTE CULTIVADO COM MILHO

[Pesquisa Agropecuária Brasileira]

RESUMO

Os sistemas de cultivo podem modificar alguns atributos dos solos sendo importante avaliar estratégias de manejo capazes de manter ou melhorar a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Neste sentido, o trabalho teve como objetivo avaliar a influência de adubo biológico e plantas de cobertura nos atributos químicos (MO, pH, P, K, Ca, Mg, H + Al, CTC, S, COT e V%), físicos (umidade volumétrica, umidade gravimétrica, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência à penetração), microbiológicos (C-BMS, *q*MIC, C-CO2, *q*CO2) e enzimáticos (Fosfatase ácida e Beta-glicosidase) em um Latossolo Vermelho cultivado com milho. O estudo foi conduzido em Tangará da Serra – MT sob três condições de cobertura de solo (*Crotalaria spectabilis* + *Crotalaria ochroleuca*, *Pennisetum glaucum* e pousio limpo) e duas condições de adubo biológico (com e sem), em quatro repetições. Utilizou-se como referência um fragmento de mata adjacente ao experimento. Foram coletadas amostras de solo indeformadas de 0-10 e 10-20 cm, para avaliar os indicadores físicos e amostras deformadas de 0-10 cm, para indicadores microbiológicos e enzimáticos e de 0-20 cm, para indicadores químicos. Também foi avaliada resistência à penetração considerando dez camadas de 0,05m com o auxílio de um penetrômetro de impacto. Foi determinada a produção de massa seca, taxa de decomposição e tempo de meia vida das coberturas e ao final, avaliado os caracteres vegetativos e produtivos do milho e produtividade. O efeito do adubo biológico sobre os indicadores de qualidade do solo foi mais expressivo na safra 2018/19, com maior teor de matéria orgânica, pH, teor de cálcio e menor acidez potencial (H+Al). Houve interação entre adubo biológico + crotalária com elevação no teor de P, adubo biológico + milheto, com elevação no teor de Mg e adubo biológico + pousio limpo com elevação no V%, COT e Mg. Maior carbono orgânico total e respiração basal do solo foram obtidos em solo com adubo biológico na interação do milheto + adubo biológico, elevando a biomassa microbiana (CBMS) e quociente microbiano (*q*MIC). Os indicadores físicos umidade (Uv e Ug), densidade (Ds) e porosidade (MiP e Pt) foram influenciados positivamente pelo uso do adubo biológico na safra 2017/18 e 2018/19. Não foi verificado efeito do adubo biológico sobre a atividade de Fosfatase e Beta-glicosidase e resistência do solo à penetração. Quanto às plantas de cobertura, foi obtido maior produtividade de massa seca no cultivo do milheto. O uso de plantas de cobertura influenciou positivamente a qualidade química, física e microbiológica do solo, com a ciclagem de K pelo milheto e maior retenção de umidade em solo sob palhada. A maior produtividade do milho foi obtida na interação adubo biológico + crotalária na safra 2018/19. Comparando a área de cultivo com o fragmento de mata, o manejo adotado alterou a qualidade do solo, com exceção da umidade (Uv e Ug), que foi maior em área cultivada.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays* L., plantas de cobertura, ciclagem de nutrientes, adubo biológico, indicadores de qualidade do solo.

AGRICULTURAL TACTICS FOR RESTRUCTURING ENVIRONMENT CULTIVATED WITH CORN

ABSTRACT

Crop systems can modify some soil attributes, and it is important to evaluate management strategies that can maintain or improve the sustainability of agricultural systems. In this sense, the objective of this work was to evaluate the influence of biological fertilizer and cover plants on chemical (OM, pH, P, K, Ca, Mg, H + Al, CTC, S, TOC and V%), physical (volumetric moisture, gravimetric moisture, soil density, macroporosity, microporosity, total porosity and penetration resistance), microbiological (SMBC, qMIC, C-CO2, qCO2) and enzymatic (Acid Phosphatase and Beta-glucosidase) attributes in a Red Latosol cultivated with corn. The study was conducted in Tangará da Serra - MT under three soil cover conditions (*Crotalaria spectabilis* + *Crotalaria ochroleuca, Pennisetum glaucum* and clean fallow) and two biological fertilizer conditions (with and without), in four replications. A forest fragment adjacent to the experiment was used as reference. Undisturbed 0-10 cm and 10-20 cm soil samples were collected to evaluate the physical indicators, and 0-10 cm deformed samples were collected for microbiological and enzymatic indicators and 0-20 cm for chemical indicators. Penetration resistance was also evaluated considering ten 0.05m layers with the aid of an impact penetrometer. Dry matter production, decomposition rate and half-life time of the cover were determined and, at the end, the vegetative and productive traits of corn and yield were evaluated. The effect of biological fertilizer on soil quality indicators was more significant in the 2018/19 harvest, with higher organic matter content, pH, calcium content and lower potential acidity (H + Al). There was interaction between biological fertilizer + crotalaria with increase in P content, biological fertilizer + millet, with increase in Mg content and biological fertilizer + clean fallow with increase in V%, TOC and Mg. Higher total organic carbon and soil basal respiration were obtained in soil with biological fertilizer in the interaction of millet + biological fertilizer, increasing microbial biomass (SMBC) and microbial quotient (*q*MIC). Physical indicators Moisture (Uv and Ug), density (Ds) and porosity (MiP and Pt) were positively influenced by the use of biological fertilizer in the 2017/18 and 2018/19 harvests. No effect of biological fertilizer was observed on Phosphatase and Beta-glucosidase activity and soil penetration resistance. As for cover plants, higher dry mass yield was obtained in millet cultivation. The use of cover plants positively influenced the chemical, physical and microbiological quality of the soil, with K cycling by millet and higher soil moisture retention under straw. The highest corn yield was obtained in the biological fertilizer + crotalaria interaction in the 2018/19 harvest. Comparing the cultivation area with the forest fragment, the adopted management changed the soil quality, except for the moisture (Uv and Ug), which was higher in cultivated area.

KEYWORDS: *Zea mays L*., cover plants, nutrient cycling, biological fertilizer, soil quality indicators.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) encontra-se entre os principais cereais cultivados, sendo o Brasil, o terceiro maior produtor mundial. A produção nacional na safra 2018/2019 foi de 99,98 milhões de toneladas, com 26,2 milhões de toneladas para o milho safra e 73,8 milhões de toneladas para o milho safrinha, sendo mais expressivo principalmente na região do cerrado (Conab, 2019).

As práticas agrícolas podem contribuir para reduzir, manter ou melhorar a qualidade do solo (Araújo Neto et al., 2014). A transformação de ambientes naturais, como o cerrado em sistemas agrícolas tem provocado alterações químicas, físicas e biológicas no solo como consequência de sua exploração inadequada (Souza & Lobato, 2004).

Assim, técnicas de manejo e conservação do solo devem ser planejadas e executadas para manter ou melhorar os atributos do solo e sustentar uma produtividade competitiva e conservacionista (Stefanoski et al., 2013). Uma das técnicas utilizadas é a adição de cobertura morta sobre a superfície do solo, contribuindo na melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo (Azevedo et al., 2007; Aratani et al., 2008; Carneiro et al., 2009; Freitas et al., 2011).

Entre as plantas de cobertura a serem utilizadas, as leguminosas se destacam por formarem associação simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio, aumentando os níveis deste nutriente no solo e substituindo de maneira parcial ou total a adubação nitrogenada da cultura em sucessão. No entanto, possuem maior taxa de decomposição dos resíduos devido à baixa relação C/N (Cardoso et al., 2013) permanecendo sobre o solo por menos tempo quando comparado as gramíneas.

As gramíneas se destacam pela alta produção de biomassa e rápido crescimento, com elevada relação C/N contribuindo para a menor taxa de decomposição e liberação mais lenta de nutrientes no solo (Cardoso et al., 2013).

A produção e manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo contribuem para minimizar as perdas por erosão, além da dinâmica de decomposição dos resíduos mantidos na superfície do solo, funcionando como reservatórios de nutrientes, liberados lentamente pela ação de micro-organismos, aumentando o teor de matéria orgânica do solo (Guimarães et al., 2006).

Quanto maior o índice de cobertura melhor a proteção da superfície do solo (Cardoso et al., 2013), devendo-se levar em conta o tempo de manejo para avaliação do seu efeito sobre a qualidade do solo (Costa et al., 2003; Reinert et al., 2008).

Outra alternativa que tem se destacado é a utilização de adubo biológico, que possui grande potencial por conter princípios ativos capazes de atuar sobre toda a parte das plantas cultivadas, elevando sua produtividade e agindo como indutores de resistência, promotores de crescimento e protetores da planta (Alves et al., 2001).

O seu emprego no setor agrícola tem proporcionado inúmeros benefícios, como melhor crescimento e desenvolvimento das plantas, estabelecimento de equilíbrio nutricional, preservação das interações biológicas tornando o ambiente favorável ao desenvolvimento de organismos benéficos do solo, proporcionando maior produtividade e qualidade dos cultivos (Moraes, 2015).

Diante do exposto, o trabalho teve por objetivo avaliar as alterações nos atributos físicos, químicos, microbiológicos e enzimáticos do solo, decorrentes do uso de adubo biológico e plantas de cobertura e o desenvolvimento da cultura do milho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na safra 2017/2018 e 2018/19, na área experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso, em Tangará da Serra – MT (14°39’53”S e 57°25’46”W). Foi considerado como área de referência, um fragmento de mata localizado geograficamente a 14°39’07”S e 57°25’21”W, distante 1 km da área experimental. O solo de ambos os locais foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (Moreira & Vasconcelos, 2007) e clima Tropical Úmido Megatérmico (Aw) de acordo com a classificação climática de Köppen.

A precipitação, temperatura e umidade foram monitoradas durante a condução do experimento e estão apresentadas na Figura 1. Os dados foram fornecidos pelo Laboratório de Agrometeorologia do Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - CETEGEO – SR, da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT.

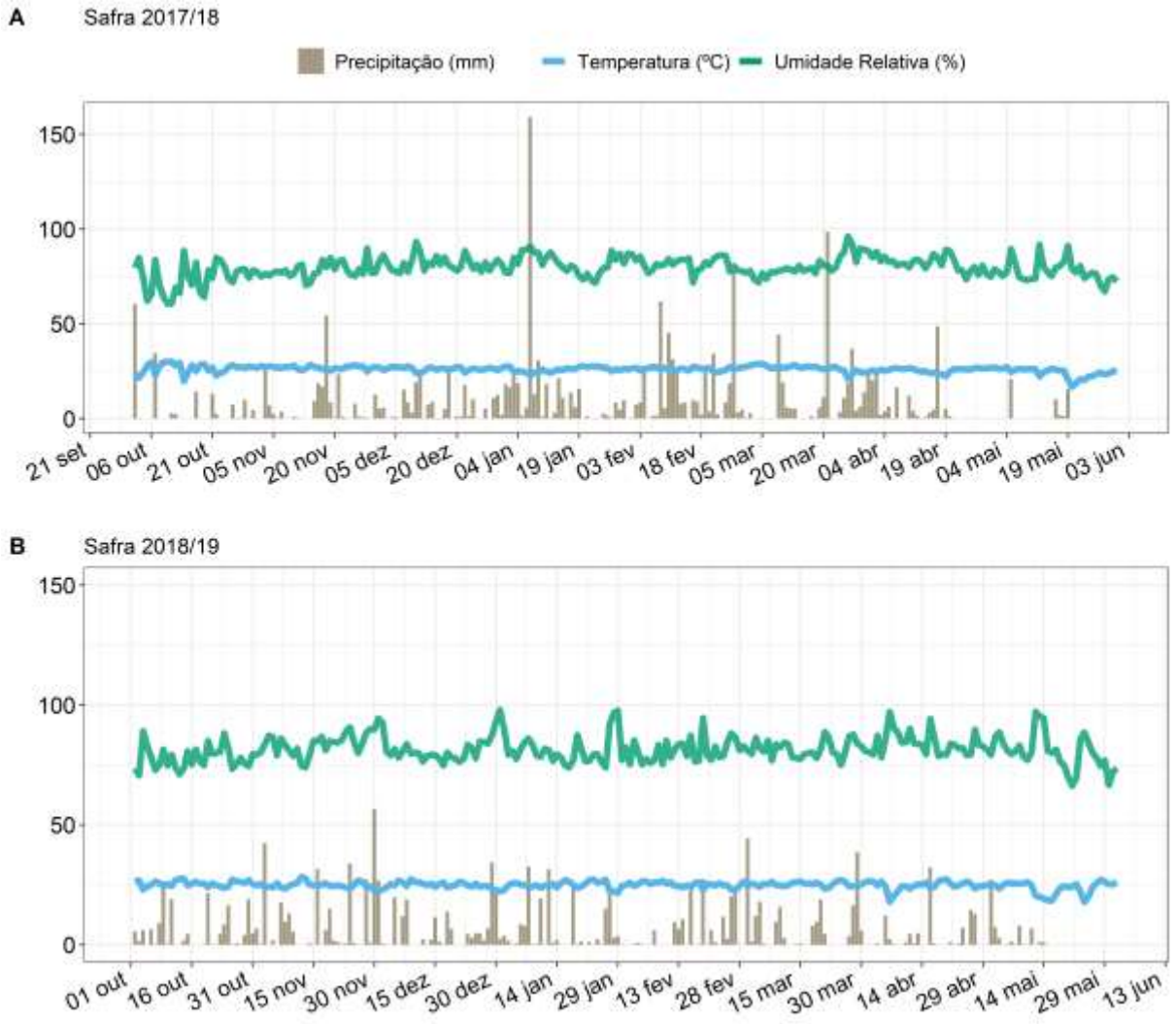


Figura 1. Precipitação (mm), Temperatura Média (°C) e Umidade Relativa do Ar (%) monitoradas na safra 2017/2018 (A) e 2018/2019 (B).

Para as características químicas, físicas e microbiológicas do solo, foi utilizado o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial duplo com testemunha adicional (2 x 3 + 1), sendo duas condições de adubo biológico (com e sem), três condições de cobertura do solo [milheto (*Pennisetum glaucum*); mistura de crotalária (50% *Crotalaria ochroleuca e* 50% *Crotalaria spectabilis*); pousio limpo] e uma testemunha adicional de fragmento de mata, com quatro repetições.

Com este experimento foi dada continuidade ao programa de manejo iniciado há quatro anos, testando-se plantas de cobertura e adubo biológico (Ascari, 2017). Os resultados da análise química das parcelas testemunha no último ano de experimento (safra 2016/2017) realizado por Ascari (2017) foram utilizados para os

cálculos de correção e adubação do solo para implantação da safra 2017/18 (Tabela 1). Não houve a necessidade de correção de acidez do solo (Souza & Lobato, 2004).

Tabela 1. Análise química da camada de 0 a 0,20 m do solo obtida das parcelas testemunhas e do adubo biológico.

Qualidade química do solo em 2017 (Ascari, 2017)										
pH	P	K	Ca	Mg	Al	H	Al+H	T	V	MO
$CaCl_2$	mg dm^{-3}	---------- $cmol_c$ dm^{-3} ----------							%	g dm^{-3}
5,75	3,18	0,28	1,35	0,37	0,00	2,08	2,08	4,08	50,00	28,50

Qualidade química do adubo biológico em 2017 (Ascari, 2017)											
pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	B	MO
H_2O	----------	---------- g L^{-1} ----------				----------	---------- mg L^{-1} ----------				%
6,2	0,71	0,3	0,02	0,06	0,01	0,04	4,7	2,8	175	14,4	5,2

Qualidade química do adubo biológico em 2019 (Biofábrica nova)											
pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	B	MO
H_2O	----------	---------- g L^{-1} ----------				----------	---------- mg L^{-1} ----------				%
7,60	0,97	0,04	0,87	0,82	0,13	0,04	1,92	6,13	20	2,91	2,36

Potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), hidrogênio (H), capacidade de troca de cátions (T), saturação e bases (V), matéria orgânica (MO), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), boro (B), enxofre (S) e nitrogênio (N).

Na safra 2018/2019 houve a necessidade de calagem e gessagem da área experimental na proporção de 300 kg ha^{-1} e 3,2 t ha^{-1}, respectivamente. O calcário utilizado foi o dolomítico (85% de PRNT) aplicado sobre a superfície aos 90 dias antes da semeadura do milho e o gesso 60 dias antes do milho.

Foi realizada análise granulométrica para área experimental do milho e para o fragmento de mata (Tabela 2) utilizando o método da pipeta conforme metodologia da Embrapa (2011). Esta análise foi realizada com o intuito de verificar se os dois solos possuem classe textural semelhante e podem ser comparados quanto aos atributos de qualidade do solo que serão expressos mais a frente.

Tabela 2. Distribuição granulométrica e classe textural da área experimental do milho e do solo sob mata na camada de 0-20 cm.

Área	Areia	Silte	Argila	Classe textural
		g Kg^{-1}		
Área experimental	357	410	233	Franco
Mata	317	535	218	Franco

As parcelas foram constituídas de cinco metros de comprimento por cinco metros de largura. A semeadura do milheto (Cv. ADR 300 – 25 kg ha^{-1}), *Crotalaria ochroleuca* (Cv. Comum – 15 kg ha^{-1}) e *Crotalaria spectabilis* (Cv. Comum – 30 kg

ha^{-1}), foi realizada a lanço no dia 18 de outubro de 2017 e 12 de outubro de 2018, incorporado com ferramenta manual. A dessecação foi realizada aos 50 dias após a semeadura aplicando-se o herbicida Paraquate + Diurom (400 + 200 g i.a ha^{-1}) na safra 2017/18 e herbicida glifosato (720 g i.a ha^{-1}) na safra 2018/19.

Após a dessecação do milheto e crotalária, com auxílio de um quadrado de área 0,25 m^2, foi realizada uma amostragem em cada parcela. Todo o material vegetal compreendido na área do quadrado foi cortado rente ao solo e colocado em estufa a 65 ºC até massa constante, em seguida, a produção de massa seca foi extrapolada para produtividade em kg ha^{-1} (Boer et al., 2008).

Para avaliar a taxa de decomposição da cobertura, foi colocado 20g de matéria seca de cada cobertura em bolsas de náilon (0,2 x 0,2 m), denominadas de *Litter Bags*. Cada parcela contou com quatro bolsas que foram retiradas aos 30, 60, 90 e 120 dias após a dessecação da cobertura. O material contido no interior das bolsas foi submetido à secagem em estufa a 65 ºC por 24 h. Com os resultados determinou-se a constante de decomposição K e o tempo de meia vida (t1/2) da palhada (Teixeira et al., 2011).

A estimativa da taxa de decomposição dos resíduos vegetais foi determinada conforme um modelo matemático exponencial proposto por Wider e Lang (1982). O tempo de meia vida (tempo necessário para a decomposição de 50% dos restos vegetais) foi determinado conforme equação de Paul & Clark (1989).

O plantio do milho foi realizado no dia 16 de dezembro de 2017 e 21 de dezembro de 2018, utilizando a cultivar LG 6036 P3, com espaçamento entre linhas de 0,5 m e densidade de 4 plantas por metro. Nas duas safras (2017/18 e 2018/19) foi realizada a sucessão entre milho e soja (Ex. na área cultivada com soja foi semeado o milho e feito o inverso na safra seguinte). Como área útil da parcela, utilizou-se as quatro linhas centrais, desconsiderando-se 0,5 m em cada extremidade.

A adubação de semeadura na safra 2017/2018 foi aplicada no sulco, correspondendo a 165 kg ha^{-1} de MAP (51% P_2O_5 + 9% N), 10 kg ha^{-1} de N (suprido pelo MAP), 20 kg ha^{-1} de N suprido pela ureia (45% N) e 65 kg ha^{-1} de KCl (60% de K_2O). A adubação de cobertura ocorreu aos 30 dias após a semeadura (DAS) com 155 kg ha^{-1} de ureia (45% N) e 30 kg ha^{-1} de KCl, conforme recomendações de Sousa & Lobato (2004).

A adubação de semeadura na safra 2018/2019 correspondeu a 250 kg ha^{-1} de MAP (48% P_2O_5 + 10% N), 15 kg ha^{-1} de N (suprido pelo MAP), 25 kg ha^{-1} de N suprido pela ureia (45% N) e 100 kg ha^{-1} de KCl (60% de K_2O). A adubação de cobertura ocorreu aos 30 dias após a semeadura (DAS) com 288 kg ha^{-1} de ureia (45% N) e 100 kg ha^{-1} de KCl (Sousa & Lobato, 2004). Foi realizado adubação foliar nas duas safras com macronutrientes (P_2O_5, K_2O, Mg) e micronutrientes (S, B, Cu, Mn, Mo, Zn) aplicados via foliar aos 50 DAS.

O adubo biológico (Microgeo®) é comercializado pela empresa Microbiol Ind. & Com. Ltda. Na primeira safra foi preparado em um tambor de 100 L na proporção de 20 L de água, 4 L de esterco bovino e 1 kg de composto biológico enriquecido com minerais (Ascari, 2017). Para a segunda safra, foi instalada uma nova biofábrica com capacidade de 1.000 L preparado na proporção de 15 kg de conteúdo ruminal, 5 kg de composto biológico (Microgeo®) e 80 L de água.

O adubo foi pulverizado sobre as plantas na dessecação das coberturas e sobre o solo no estádio fenológico V1 e V4 do milho, na proporção de 30 L ha^{-1}, 60 L ha^{-1} e 60 L ha^{-1}, respectivamente, totalizando 150 L ha^{-1}. Em todas as aplicações de produtos químicos (fungicida, inseticida e herbicida) foi adicionado 3% de adubo biológico na calda (20L ha^{-1}) com o intuito de avaliar a indução de resistência das plantas.

Foram marcadas seis plantas aleatórias da área útil de cada parcela que foi determinada a área foliar no estádio fenológico R1 (Tollenaar, 1992), enquanto a altura da planta, diâmetro do colo, número de folhas, comprimento da espiga, diâmetro da espiga, número de fileiras de grãos e número de grãos por fileira foram avaliados no estádio R6. Foi considerada como área útil as quatro linhas centrais de cada parcela, que foram colhidas e determinada a massa de mil grãos e produtividade do milho (kg ha^{-1}) (Teixeira & Costa, 2010).

Os indicadores de qualidade do solo foram determinados no período reprodutivo do milho (R1-R6) e também no fragmento de mata. O solo foi coletado em cinco pontos por parcela com auxílio de um trado Holandês, tendo uma amostra composta por parcela (Ascari, 2017).

As características químicas foram determinadas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, considerando a matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial

(H+Al), enxofre (S), capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por base (V%) e Carbono Orgânico Total (COT) (Embrapa, 2011).

Nas análises microbiológicas do solo, camada de 0 a 10 cm de profundidade, foram avaliados o carbono da biomassa microbiana do solo pelo método fumigação-extração (Vance et al., 1987), respiração basal do solo estimada através da quantidade de CO_2 liberado após incubação do solo em local hermeticamente fechado (Jenkinson & Powlson, 1976), quociente microbiano determinada pela relação entre o carbono da biomassa microbiana do solo e o carbono orgânico total, o quociente metabólico obtido pela relação entre a respiração basal do solo e o carbono da biomassa microbiana do solo (Anderson & Domsch, 1993).

A avaliação enzimática do solo foi realizada no estádio de pleno florescimento da soja. Com o auxílio de um trado holandês foram coletados três pontos por parcela na linha de plantio e no fragmento de mata, na profundidade de 0 a 10 cm que constituíram uma amostra composta. As amostras foram acondicionadas em embalagens identificadas e encaminhadas ao laboratório para quantificação da Fosfatase ácida e Beta-glicosidase utilizando o método proposto por Tabatabai (1994).

A avaliação dos indicadores de qualidade física do solo foi feita no período reprodutivo do milho (R1-R6). Para isso, foram coletados dois pontos por parcela da área experimental e também no fragmento de mata, amostras indeformadas de solo com anel volumétrico (Anel de Kopecky), considerando as camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade. Foi avaliada a umidade volumétrica, umidade gravimétrica, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total do solo conforme metodologia da Embrapa (2011).

A resistência do solo à penetração foi determinada com auxílio do equipamento penetrômetro de impacto Stolf (Stolf, 1991; Sá & Santos Junior, 2007), na profundidade de 0,50 m a cada 0,05 m, totalizando dez camadas de solo avaliadas. As amostragens foram realizadas em cinco pontos por parcela conforme Ascari (2017).

Foram realizados os testes de normalidade de Shapiro Wilk e homogeneidade pelo teste Bartlett. Tendo as premissas atendidas, foi feita análise de variância pelo teste F e as características químicas, físicas, microbiológicas e enzimáticas do solo foram submetidas ao teste de Tukey ($p \leq 0,05$) e Dunnett ($p \leq 0,05$) considerando uma

parcela adicional no fragmento de mata. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R (R Core Team, 2018).

Na aplicação do teste de dunnett, foi necessária a transformação de algumas variáveis para poderem apresentar normalidade e homogeneidade. Na safra 2017/18 as variáveis COT ($1/x^2$), C-CO_2 ($1/\sqrt{x}$), *q*CO_2 ($\sqrt{x}$) e Mip 10-20 cm (x^2) foram transformadas. Na safra 2018/19 as variáveis pH$CaCl_2$ ($1/x^2$), P ($\sqrt{x}$), Ca ($1/x^2$), H+Al ($1/x^2$), S ($\sqrt{x}$), resistência à penetração (RP) de 0-5 cm ($1/\sqrt{x}$), RP de 35-40 cm ($1/\sqrt{x}$), RP de 45-50 cm ($1/x^2$), Uv 10-20 cm ($1/x^2$), e C-CO_2 ($1/\sqrt{x}$) passaram por transformação.

No teste de Tukey, para a safra 2017/18 foi necessário a transformação apenas para resistência à penetração de 25-30 cm ($1/x$). Na safra 2018/19, as variáveis Ca ($1/x^2$), C-CO_2 ($1/x$) e Beta-glicosidase ($1/x^2$) foram transformadas.

Para as variáveis que não atenderam as premissas dos testes paramétricos, foi realizado o teste de Kruskal-Wallis. As variáveis *q*CO_2, K, S, Ug (0-10 cm) e resistência à penetração (5-10 cm, 10-15 cm, 30-35 cm, 35-40 cm e 45-50 cm) passaram pelo teste na safra 2017/18. Para a safra 2018/19 foi realizado o teste de Kruskal-Wallis para as variáveis diâmetro da espiga (DE), pH$CaCl_2$, H+Al e resistência à penetração (45-50 cm).

RESULTADOS

Desempenho agronômico do milho

Houve interação significativa entre adubo biológico e coberturas de solo na safra 2017/18 para o diâmetro da espiga (DE), que foi maior em 9% para o tratamento pousio limpo com adubo biológico em comparação ao pousio sem a presença do adubo. Entre as coberturas, não houve diferença estatística para o DE com o uso milheto, crotalária e o solo em pousio com e sem a presença do adubo biológico (Tabela 4).

Tabela 4. Desdobramento da interação cobertura de solo e adubo biológico referente ao diâmetro da espiga da cultivar de milho LG 6036, safra 2017/2018.

Adubação Biológica	Diâmetro da espiga (cm)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	4,57aA	4,47aA	4,77aA
Sem	4,60aA	4,49aA	4,32bA
CV (%)		3,75	

Médias com letras iguais na coluna e na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Na safra 2018/19, houve interação entre os fatores avaliados para a produtividade, onde o adubo biológico com a palhada de crotalária proporcionou um acréscimo de 22% nesta variável. Entre as coberturas, a crotalária na presença do adubo biológico proporcionou maior produtividade do milho e na ausência do adubo maior produtividade foi observada para o milheto (Tabela 5).

Tabela 5. Desdobramento da interação cobertura de solo e adubo biológico referente à produtividade da cultivar de milho LG 6036, safra 2018/2019.

Adubação Biológica	Produtividade (kg ha^{-1})		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	12.633,66aAB	14.827,11aA	10.945,22aB
Sem	14.132,41aA	11.435,09bAB	10.896,99aB
CV (%)		14,10	

Médias em minúsculo na coluna e em maiúsculo na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Na safra 2017/18 não foi observado efeito do adubo biológico sobre os caracteres agronômicos avaliados, diferente da safra 2018/19 em que se obteve um acréscimo de 4% no peso de mil grãos com o uso do adubo. Foi constatado efeito das plantas de cobertura sobre o desenvolvimento do milho apenas na safra 2018/19. O milheto e a crotalária contribuíram de maneira igual para o maior diâmetro do colmo e diâmetro da espiga. Maior comprimento da espiga, número de grãos por fileira e peso de mil grãos foi obtido com o uso do milheto (Tabela 6).

Tabela 6. Respostas da cultura do milho a adubação biológica e condições de cobertura do solo na safra 2017/18 e 2018/19.

Adubo Biológico	Safra 2017/2018							
	AF	AP	DC	CE	NF	NGF	PMG	PROD
	cm^2	m	----- cm -----		------- un -------		g	kg ha^{-1}
Com	6.543,73	2,45	2,18	15,86	15,65b	33,86	320,11	10.635,43
Sem	6.443,15	2,51	2,22	16,38	16,12a	34,11	330,00	11.526,63
Cobertura do solo								
Milheto	6.571,71	2,50	2,14	16,28	15,71	33,57	327,26	11.298,26
Crotalária	6.438,41	2,51	2,30	16,44	16,08	35,09	331,02	11.606,14
Pousio limpo	6.470,20	2,44	2,16	15,65	15,85	33,30	316,89	10.338,68
CV (%)	11,86	4,08	6,89	5,12	2,88	6,24	8,18	14,05
Adubo Biológico	Safra 2018/2019							
	AF	AP	DC	DE	CE	NF	NGF	PMG
	cm^2	m	---------- cm ----------			------- un -------		G
Com	8.306,98	2,84	2,09	4,55	13,35	16,05	26,95	335,83a
Sem	8.377,96	2,80	2,13	4,52	13,40	15,82	27,90	321,54b
Cobertura do solo								
Milheto	8.409,59	2,80	2,19a	4,61a	13,92a	15,98	29,10a	339,64a
Crotalária	8.635,00	2,86	2,13a	4,59a	13,41ab	16,19	26,89ab	329,79ab
Pousio limpo	7.982,82	2,81	2,00b	4,41b	12,79b	15,64	26,29b	316,64b
CV (%)	9,23	3,71	4,71	2,88	5,56	4,28	7,34	3,28

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Área foliar (AF), altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), diâmetro da espiga (DE), comprimento da espiga (CE), número de fileiras por espiga (NF), número de grãos por fileira (NGF), massa de mil grãos (PMG) e produtividade (PROD).

Indicadores de qualidade química

Houve interação entre adubo biológico e plantas de cobertura apenas na safra 2018/19 para os teores de fósforo, magnésio, saturação por base e carbono orgânico total. O adubo biológico na presença da crotalária elevou o teor de fósforo em 50%. Entre as coberturas, a crotalária na presença do adubo biológico proporcionou maior teor de fósforo e na ausência do adubo maior teor foi obtido para o milheto e o solo em pousio (Tabela 7).

O adubo biológico proporcionou maior teor de magnésio em solo com milheto e solo em pousio (37% e 51%, respectivamente). Entre as coberturas na presença

do adubo biológico, o solo em pousio proporcionou maior teor de magnésio e na ausência do adubo não houve diferença entre as coberturas para esta variável. Para a saturação por base (V%), o adubo biológico proporcionou maior V% em solo em pousio. Não houve diferença entre as coberturas com e sem adubo biológico para a saturação por bases (Tabela 7).

O adubo biológico proporcionou maior carbono orgânico total (COT) em solo em pousio (11%). Não houve diferença entre as coberturas para os valores de COT na presença do adubo biológico. Na ausência do adubo, maior valor de COT foi observado para o milheto (Tabela 7).

Tabela 7. Desdobramento da interação cobertura de solo e adubo biológico referente ao teor de Fósforo (P), Magnésio (Mg), saturação por base (V%) e Carbono Orgânico Total (COT) em solo cultivado com milho, safra 2018/2019.

Adubo biológico	Fósforo (mg dm^{-3})		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	4,00bB	7,45aA	3,30bB
Sem	9,35aA	3,67bB	7,40aA
CV (%)		29,13	
Adubo biológico	Magnésio ($cmol_c$ dm^{-3})		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	0,37aAB	0,30aB	0,47aA
Sem	0,23bA	0,30aA	0,23bA
CV (%)		29,21	
Adubo biológico	Saturação por base (%)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	27,67aA	29,33aA	31,67aA
Sem	24,33aA	26,00aA	22,00bA
CV (%)		8,94	
Adubo biológico	Carbono Orgânico Total (%)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	1,06aA	1,10aA	1,05aA
Sem	1,12aA	1,03aAB	0,93bB
CV (%)		5,53	

Médias em minúsculo na coluna e em maiúsculo na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Não houve influência do adubo biológico sobre os indicadores químicos do solo na safra 2017/18. Comportamento diferente foi observado na safra 2018/19, com maior pH, teor de matéria orgânica (MO) e cálcio (Ca) em 3, 4 e 12%, respectivamente, em solo com adubo biológico, bem como menor acidez potencial (H+Al) (Tabelas 8 e 9).

Na safra 2017/18, o uso de milheto e crotalária proporcionou acréscimo no teor de enxofre (S) em 16 e 22%, respectivamente, em comparação ao solo em

pousio limpo. O teor de potássio (K) foi favorecido pelo uso do milheto nas duas safras em estudo (Tabelas 8 e 9).

Para verificar o efeito das táticas de manejo sobre a qualidade química do solo, foi utilizado o fragmento de mata como referência. Maior teor de matéria orgânica, acidez potencial e capacidade de troca de cátions foram observados em solo não antropizado na safra 2017/18. Em contrapartida, a área de cultivo apresentou maior pH, teor de fósforo e potássio e saturação por base. O teor de enxofre, cálcio, magnésio e carbono orgânico total da área de cultivo se igualaram ao fragmento de mata (Tabela 8).

Tabela 8. Qualidade química do solo em função do adubo biológico (AB) e cobertura de solo (COB) correspondente a camada de 0 a 0,20 m de profundidade, safra 2017/2018.

AB		Teste de Tukey (p≤0,05)										
		pH	MO	S	P	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	COT	V
		$CaCl_2$	g kg^{-1}	--mg dm^{-3}--		----------$cmol_c$ dm^{-3} ----------					%	%
Com		5,63	33,89	1,89	2,13	0,17	1,33	0,41	2,39	4,30b	1,41	44,55
Sem		5,67	31,44	1,89	2,63	0,17	1,37	0,47	2,44	4,46a	1,38	45,11
COB												
Milheto		5,65	32,50	2,09a	2,21	0,19a	1,28	0,45	2,45	4,37	1,43	44,00
Crotalária		5,63	33,50	1,95a	2,30	0,15b	1,42	0,43	2,47	4,47	1,41	44,83
Pousio limpo		5,67	32,00	1,63b	2,63	0,16b	1,36	0,43	2,33	4,30	1,35	45,67
CV (%)		1,85	8,91	18,91	28,21	15,65	12,23	17,87	6,50	3,78	7,24	6,90
AB	COB	Teste de Dunnett (p≤0,05)										
Com	Milheto	5,60a	33,67b	2,05a	1,73b	0,18a	1,23a	0,47a	2,40b	4,28b	1,45a	44,00a
	Crotalária	5,63a	34,33b	2,04a	2,10a	0,17b	1,40a	0,37a	2,43b	4,37b	1,43a	44,33a
	Pousio	5,67a	33,67b	1,59a	2,57a	0,16b	1,37a	0,40a	2,33b	4,26b	1,36b	45,33a
Sem	Milheto	5,70a	31,33b	2,14a	2,70a	0,21a	1,33a	0,43a	2,50b	4,48b	1,42b	44,00a
	Crotalária	5,63a	32,67b	1,86a	2,50a	0,14b	1,43a	0,50a	2,50b	4,57b	1,40b	45,33a
	Pousio	5,67a	30,33b	1,67a	2,70a	0,16b	1,37a	0,47a	2,33b	4,33b	1,33b	46,00a
Frag. de mata		4,80b	51,33a	1,88a	0,63b	0,14b	1,53a	0,47a	5,10a	7,24a	1,84a	29,33b
CV (%)		5,75	20,46	19,10	40,75	17,07	13,24	19,63	34,82	21,69	21,53	14,72

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05) e pelo teste de Dunnett (p≤0,05). Matéria orgânica (MO), potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H + Al), capacidade de troca de cátions (CTC), enxofre (S), carbono orgânico total (COT), saturação por base (V%).

Na safra 2018/19 maior teor de enxofre foi observado na área de cultivo em comparação ao fragmento de mata devido à gessagem realizada na área. O teor de potássio da área de cultivo se igualou estatisticamente ao fragmento de mata, enquanto o percentual de carbono orgânico total foi maior para o fragmento de mata (Tabela 9).

Tabela 9. Qualidade química do solo em função da adubação biológica (AB) e cobertura de solo (COB) correspondente a camada de 0 a 0,20 m de profundidade, safra 2018/2019.

		Teste de Tukey (p≤0,05)						
AB		pH	MO	S	K	Ca	H+Al	CTC
		$CaCl_2$	g kg^{-1}	mg dm^{-3}	$cmol_c$ dm^{-3}			
Com		5,38a	30,89a	42,58	0,12	1,23a	4,14b	5,87
Sem		5,19b	29,44b	34,50	0,11	1,08b	4,55a	6,00
COB								
Milheto		5,20	30,83	32,77	0,15a	1,12	4,50	6,06
Crotalária		5,25	29,50	40,58	0,11b	1,20	4,22	5,83
Pousio limpo		5,40	30,17	42,27	0,08c	1,15	4,33	5,92
CV (%)		3,80	3,60	40,60	17,96	17,3	8,61	3,99

		Teste de Dunnett (p≤0,05)										
AB	COB	pH	MO	S	P	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	COT	V
		$CaCl_2$	g kg^{-1}	--mg dm^{-3}--		$cmol_c$ dm^{-3}					%	%
Com	Milheto	5,30a	31,00b	42,47a	4,00a	0,14a	1,13b	0,37a	4,33b	5,97b	1,06b	27,67a
	Crotalária	5,23a	30,00b	52,23a	7,45a	0,13a	1,30a	0,30a	4,17b	5,90b	1,10b	29,33a
	Pousio	5,60a	31,70b	33,03a	3,30b	0,09b	1,27a	0,47a	3,93b	5,76b	1,05b	31,67a
Sem	Milheto	5,10b	30,70b	23,07a	9,35a	0,15a	1,10b	0,23a	4,67b	6,15b	1,12b	24,33b
	Crotalária	5,27a	29,00b	28,93a	3,67b	0,10a	1,10b	0,30a	4,27b	5,76b	1,03b	26,00b
	Pousio	5,20a	28,70b	51,50a	7,40a	0,08b	1,03b	0,23a	4,73b	6,08b	0,93b	22,00b
Frag. de mata		4,93b	49,67a	1,14b	0,50b	0,15a	1,47a	0,37a	7,07a	9,05a	1,90a	22,00b
CV (%)		4,28	22,90	39,91	67,48	29,08	26,07	30,82	22,80	19,00	26,99	15,53

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05) e pelo teste de Dunnett (p≤0,05). Potencial hidrogeniônico (pH), Matéria orgânica (MO), enxofre (S) fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), hidrogênio + alumínio (H + Al), capacidade de troca de cátions (CTC), carbono orgânico total (COT), saturação por base (V%).

Indicadores de qualidade microbiológica

Houve interação entre adubo biológico e coberturas de solo apenas na safra 2018/19 para o carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e quociente microbiano do solo (*q*MIC) (Tabela 10). O adubo biológico juntamente com o milheto elevou a biomassa microbiana em 56%. Entre as coberturas com a presença do adubo, maior CBMS foi obtido em solo com crotalária e milheto. Na ausência do adubo biológico, a crotalária elevou teor de CBMS (Tabela 10).

Para o quociente microbiano, o adubo biológico juntamente com o milheto elevou em 57% seu valor. Entre as coberturas com adubo biológico, a crotalária e milheto elevaram o percentual de *q*MIC e na ausência do adubo, apenas a crotalária proporcionou acréscimos nesta variável (Tabela 10).

Tabela 10. Desdobramento da interação cobertura de solo e adubo biológico referente ao carbono da biomassa microbiana (CBMS) e quociente microbiano (*q*MIC) em solo cultivado com milho, safra 2018/2019.

Adubação biológica	Carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	81,46aA	67,88bA	38,18bB
Sem	35,28bC	90,63aA	51,52aB
CV (%)		12,75	
Adubação biológica	Quociente microbiano (*q*MIC)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	0,45aA	0,39bA	0,27aB
Sem	0,19bC	0,53aA	0,31aB
CV (%)		12,97	

Médias em minúsculo na coluna e em maiúsculo na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05). Carbono da biomassa microbiana do solo (mg C_{micro} kg^{-1} solo), quociente microbiano (%).

Quanto ao adubo biológico, foi observado efeito significativo deste sobre as variáveis microbiológicas estudadas apenas na safra 2018/19, com incrementos no carbono orgânico total e respiração basal em 4% e 44%, respectivamente. O adubo biológico também elevou o quociente metabólico do solo (Tabela 12).

No que se refere às coberturas de solo, na safra 2017/18 maior respiração basal (C-CO_2) foi observada em solo com milheto e pousio limpo e o menor valor

para a crotalária. Maior quociente metabólico foi observado em solo coberto com milheto (Tabela 11).

Tabela 11. Qualidade microbiológica do solo cultivado com milho submetido à adubação biológica (AB) e cobertura do solo (COB), safra 2017/2018.

		Teste de Tukey (p≤0,05)				
Adubo Biológico		COT	C-BMS	*q*MIC	C-CO_2	*q*CO_2
Com		19,65	122,00	0,62	0,18	1,59
Sem		18,56	151,14	0,81	0,21	1,26
Cobertura de solo						
Milheto		19,33	119,08	0,60	0,21a	2,11a
Crotalária		19,43	127,01	0,65	0,15b	1,18b
Pousio limpo		18,56	163,61	0,89	0,23a	1,00b
CV (%)		8,69	56,43	56,07	38,44	53,2
AB	COB	Teste de Dunnett (p≤0,05)				
Com	Milheto	19,53b	138,24b	0,69b	0,18b	1,97a
	Crotalária	19,91b	68,15b	0,34b	0,14b	1,45a
	Pousio limpo	19,53b	159,60b	0,83b	0,22b	1,37a
Sem	Milheto	19,14b	99,93b	0,52b	0,23b	2,26a
	Crotalária	18,95b	185,87b	0,96b	0,15b	0,91a
	Pousio limpo	17,59b	167,62b	0,95b	0,24b	0,63a
Fragmento de Mata		29,78a	552,27a	1,86a	0,70a	1,28a
CV (%)		19,97	84,15	63,27	25,75	24,73

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p≤0,05) e pelo Teste de Dunnett (p≤0,05). Carbono orgânico total (COT - g dm^{-1}), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS - mg C_{micro} kg^{-1} solo), quociente microbiano (*q*MIC - %), respiração basal do solo (C-CO2 - mg C-CO_2 kg^{-1} solo h^{-1}), quociente metabólico (*q*CO2 - mg CO_2 g^{-1} C-BMS h^{-1}).

Na safra 2018/19, foi observado efeito das coberturas de solo apenas para a respiração basal, que se sobressaiu em solo coberto com crotalária (0,25 mg C-CO2 kg^{-1} solo h^{-1}), enquanto que menor valor foi obtido para o solo em pousio (0,16 mg C-CO2 kg^{-1} solo h^{-1}). O C-CO_2 do solo com milheto não diferiu estatisticamente dos valores obtidos em solo com crotalária e pousio (Tabela 12).

Tabela 12. Qualidade microbiológica do solo cultivado com milho submetido ao adubo biológico (AB) e cobertura do solo (COB), safra 2018/2019.

		Teste de Tukey (p≤0,05)				
Adubo Biológico		COT		C-CO_2		qCO_2
Com		17,92a		0,25a		4,71a
Sem		17,08b		0,14b		2,76b
Cobertura de solo						
Milheto		17,88		0,18ab		4,05
Crotalária		17,11		0,25a		3,61
Pousio limpo		17,50		0,16b		3,54
CV (%)		3,60		18,50		31,11
AB	COB	Teste de Dunnett (p≤0,05)				
		COT	C-BMS	*q*MIC	C-CO_2	qCO_2
Com	Milheto	17,98b	81,46b	0,45b	0,21b	4,38a
	Crotalária	17,40b	67,88b	0,39b	0,34b	5,12a
	Pousio limpo	18,37b	38,18b	0,26b	0,21b	4,62a
Sem	Milheto	17,79b	35,28b	0,19b	0,15b	3,72b
	Crotalária	16,82b	90,63b	0,53b	0,16b	2,10b
	Pousio limpo	16,63b	51,52b	0,31b	0,11b	2,46b
Fragmento de Mata		28,81a	295,54a	1,02a	0,68a	2,34b
CV (%)		21,71	91,60	59,27	76,35	41,55

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p≤0,05) e pelo Teste de Dunnett (p≤0,05). Carbono orgânico total (COT - g dm^{-1}), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS - mg C_{micro} kg^{-1} solo), quociente microbiano (*q*MIC - %), respiração basal do solo (C-CO2 - mg C-CO_2 kg^{-1} solo h^{-1}), quociente metabólico (*q*CO2 - mg CO_2 g^{-1} C-BMS h^{-1}).

Comparando os indicadores microbiológicos da área de cultivo com o fragmento de mata, maiores valores de COT, CBMS, *q*MIC e C-CO_2 foram obtidos no solo de fragmento de mata durante as duas safras em estudo. O quociente metabólico (qCO_2) em área de cultivo se igualou estatisticamente ao fragmento de mata na safra 2017/18, enquanto que na safra 2018/19 valores maiores de qCO_2 foram obtidos em solo cultivado com milho sob as táticas de manejo preconizadas neste trabalho (Tabelas 11 e 12).

Na safra 2018/19 foi realizada análise enzimática do solo com o objetivo de complementar a análise microbiológica com a avaliação de Fosfatase ácida e Beta-glicosidase. Houve interação significativa entre adubo biológico e coberturas de solo para a atividade de Fosfatase ácida, que foi maior no solo em pousio com a

presença do adubo, enquanto que na ausência deste, o milheto elevou a atividade desta enzima do solo (Tabela 13).

Tabela 13. Desdobramento da interação cobertura de solo e adubo biológico referente à atividade de Fosfatase ácida em solo cultivado com milho, safra 2018/2019.

Adubação biológica	Fosfatase ácida		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	389,45bB	396,40aAB	422,20aA
Sem	439,75aA	407,45aB	409,10aB
CV (%)		3,98	

Médias em minúsculo na coluna e em maiúsculo na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Maior atividade de Beta-glicosidase foi obtida em solo sem adubo biológico, indicando que não houve influência deste sobre a atividade desta enzima. A cobertura que proporcionou maior atividade de Beta-glicosidase foi a crotalária (189,47 µg PNF.g^{-1} solo.$hora^{-1}$) e a menor atividade o milheto (142,35 µg PNF.g^{-1} solo.$hora^{-1)}$. O pousio limpo não diferiu estatisticamente da crotalária e milheto (Tabela 14).

Comparando os valores de atividade enzimática do solo cultivado com a mata, observou-se maior atividade de Fosfatase ácida em solo não antropizado. Diferente deste, a atividade de Beta-glicosidase da área cultivada se igualou estatisticamente a mata (Tabela 14).

Tabela 14. Atividade de Fosfatase ácida e Beta-glicosidase em solo cultivado com milho submetido à adubação biológica (AB) e cobertura do solo (COB), safra 2018/2019.

Adubação Biológica		Teste de Tukey (p≤0,05) Beta-glicosidase µg PNG.g^{-1} solo.hora^{-1}
Com		141,58b
Sem		188,08a
Cobertura do solo		
Milheto		142,35b
Crotalária		189,47a
Pousio limpo		162,67ab
CV (%)		31,29
		Teste de Dunnett (p≤0,05)
AB	COB	Fosfatase ácida µg PNF.g^{-1} solo.hora^{-1}	Beta-glicosidase µg PNG.g^{-1} solo.hora^{-1}
Com	Milheto	389,45b	132,55b
	Crotalária	396,40b	153,15b
	Pousio limpo	422,20b	139,05b
Sem	Milheto	439,75b	152,15b
	Crotalária	407,45b	225,80a
	Pousio limpo	409,10b	186,30b
Fragmento de Mata		764,50a	258,10a
CV (%)		27,91	28,26

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p≤0,05) e pelo Teste de Dunnett (p≤0,05).

Indicadores de qualidade física

Verificou-se efeito do adubo biológico sobre os indicadores de qualidade física do solo durante as duas safras. Na safra 2017/18 foi obtido maior umidade volumétrica na camada (10 a 20 cm), umidade gravimétrica (0 a 10 cm; 10 a 20 cm), menor densidade do solo (0 a 10 cm), maior microporosidade (0 a 10 cm) e porosidade total (10 a 20 cm) (Tabela 15).

Na safra 2018/19 o adubo biológico contribuiu para maior umidade volumétrica (10 a 20 cm), umidade gravimétrica (0 a 10 cm; 10 a 20 cm), menor

densidade do solo (0 a 10 cm; 10 a 20 cm) e maior microporosidade (0 a 10 cm; 10 a 20 cm) e porosidade total (0 a 10 cm) (Tabela 16).

Quanto ao efeito da cobertura sobre os indicadores de qualidade física do solo, na safra 2017/18 os percentuais de umidade volumétrica (0 a 10 cm) e umidade gravimétrica (10 a 20 cm) foram maiores em solo sob milheto e os menores percentuais observados em solo em pousio. Os valores de umidade para o solo com crotalária se igualaram estatisticamente ao milheto e pousio limpo (Tabela 15).

Na safra 2018/19, não foi observado efeito das coberturas sobre os percentuais de umidade. No entanto, menor densidade foi observada em solo com milheto e crotalária e maior densidade para o solo em pousio limpo na camada superficial (0 a 10 cm). O milheto proporcionou maior quantidade de macroporos (0 a 10 cm) em comparação ao pousio. A quantidade de macroporos no solo com crotalária foi estatisticamente igual ao milheto e pousio limpo (Tabela 16).

Comparando os indicadores físicos do solo cultivado com milho e fragmento de mata, na safra 2017/18 maior umidade gravimétrica e volumétrica foi observada na área de cultivo nas duas profundidades avaliadas. A porosidade total da área de cultivo se igualou ao fragmento de mata, enquanto que a densidade do solo foi maior em área cultivada (Tabela 15).

Tabela 15. Qualidade física do solo cultivado com milho em função da adubação biológica (AB) e cobertura do solo (COB), safra 2017/2018.

		Teste de Tukey (p≤0,05)											
		Uv[1]		Ug[2]		Ds[3]		MaP[4]		MiP[5]		Pt[6]	
Adubo biológico		0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
		---------- % ----------				----g cm^{-3} ---		---------- cm^3 cm^{-3} ----------					
Com		27	30a	21a	21a	1,26b	1,42	0,03	0,03	0,44a	0,40	0,47	0,43a
Sem		25	29b	19b	20b	1,29a	1,43	0,03	0,03	0,42b	0,39	0,45	0,42b
Cobertura													
Milheto		27a	30	21	21a	1,28	1,43	0,03	0,02	0,42	0,39	0,45	0,41
Crotalária		26ab	29	20	21ab	1,28	1,42	0,03	0,03	0,43	0,39	0,46	0,42
Pousio limpo		24b	29	19	20b	1,26	1,42	0,03	0,03	0,43	0,40	0,46	0,43
CV (%)		6,92	4,02	9,44	3,15	2,16	2,45	47,69	51,96	2,21	4,62	4,12	3,60
AB	COB	Teste de Dunnett (p≤0,05)											
	Milheto	27a	31a	21a	22a	1,26a	1,42a	0,02b	0,02a	0,44a	0,40a	0,44a	0,42a
Com	Crotalária	27a	30a	21a	21a	1,27a	1,42a	0,03b	0,02a	0,43a	0,39a	0,46a	0,41a
	Pousio limpo	26a	30a	21a	21a	1,24a	1,42a	0,03b	0,03a	0,44a	0,40a	0,46a	0,43a
	Milheto	27a	30a	21a	21a	1,30a	1,43a	0,04b	0,03a	0,40a	0,39a	0,43b	0,41a
Sem	Crotalária	26a	29a	20a	20a	1,28a	1,43a	0,02b	0,03a	0,43a	0,38a	0,45a	0,40a
	Pousio limpo	23b	27a	18b	19a	1,28a	1,42a	0,03b	0,02a	0,42a	0,39a	0,45a	0,41a
Fragmento mata		19b	20b	17b	16b	1,17b	1,30b	0,12a	0,06a	0,35b	0,37a	0,47a	0,43a
CV (%)		13,17	13,53	11,55	10,75	3,71	4,14	84,91	73,03	7,64	11,52	4,35	5,41

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p≤0,05) e pelo Teste de Dunnett (p≤0,05). [1]Umidade volumétrica, [2]umidade gravimétrica, [3]densidade do solo, [4]macroporosidade, [5]microporosidade e [6]porosidade total.

Na safra 2018/19, a umidade volumétrica da área de cultivo (0 a 10 cm; 10 a 20 cm) se igualou ao fragmento de mata, enquanto que a umidade gravimétrica foi maior na mata. A macroporosidade (0 a 10 cm; 10 a 20 cm) da área de cultivo se igualou ao fragmento de mata, enquanto que a microporosidade e porosidade total foi maior para a mata nas duas profundidades avaliadas (Tabela 16).

Tabela 16. Qualidade física do solo cultivado com milho em função da adubação biológica (AB) e cobertura do solo (COB), safra 2018/2019.

		Teste de Dunnett (p≤0,05)											
		Uv[1]		Ug[2]		Ds[3]		MaP[4]		MiP[5]		Pt[6]	
Adubo biológico		0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
		---------- % ----------				----g cm^{-3} ---		---------- cm^3 cm^{-3} ----------					
Com		32	36a	25a	25a	1,31b	1,46b	0,03	0,03	0,39a	0,35a	0,42a	0,38
Sem		32	34b	23b	23b	1,37a	1,49a	0,02	0,04	0,38b	0,34b	0,40b	0,38
Cobertura													
Milheto		32	35	24	24	1,33b	1,48	0,04a	0,04	0,38	0,34	0,42	0,38
Crotalária		32	35	24	24	1,33b	1,48	0,02ab	0,03	0,39	0,35	0,41	0,38
Pousio limpo		32	35	23	24	1,38a	1,48	0,01b	0,04	0,39	0,35	0,40	0,39
CV (%)		3,98	1,76	4,09	2,49	2,72	1,51	69,49	42,56	5,25	2,48	4,62	3,57
AB	COB	Teste de Dunnett (p≤0,05)											
Com	Milheto	33a	35b	25b	24b	1,30a	1,47a	0,06a	0,03a	0,39b	0,35b	0,45b	0,38b
	Crotalária	31a	36a	24b	25b	1,30a	1,47a	0,02a	0,03a	0,40b	0,36b	0,42b	0,39b
	Pousio limpo	33a	36a	25b	25b	1,35a	1,46a	0,01b	0,04a	0,40b	0,36b	0,41b	0,40b
Sem	Milheto	32a	34b	24b	23b	1,36a	1,49a	0,03a	0,04a	0,38b	0,34b	0,41b	0,38b
	Crotalária	32a	35b	24b	23b	1,36a	1,49a	0,03a	0,04a	0,38b	0,34b	0,41b	0,38b
	Pousio limpo	31a	34b	22b	23b	1,41a	1,51a	0,01b	0,04a	0,37b	0,33b	0,38b	0,37b
Fragmento mata		34a	38a	28a	27a	1,19b	1,39b	0,05a	0,02a	0,45a	0,41a	0,50a	0,43a
CV (%)		5,00	3,99	8,72	6,53	5,52	2,94	85,33	48,57	7,38	7,65	8,90	5,74

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p≤0,05) e pelo Teste de Dunnett (p≤0,05). [1]Umidade volumétrica, [2]umidade gravimétrica, [3]densidade do solo, [4]macroporosidade, [5]microporosidade e [6]porosidade total.

Houve interação significativa para a resistência do solo à penetração (40 a 45 cm) na safra 2017/18. O adubo biológico na presença do milheto proporcionou menor valor de RP. Entre as coberturas com adubo biológico, o milheto reduziu a RP e na ausência do adubo, menor valor de RP foi obtido no solo em pousio limpo (Tabela 17).

Tabela 17. Desdobramento da interação cobertura de solo e adubo biológico referente à resistência a penetração (RP) de 40-45 cm em solo cultivado com milho, safra 2017/2018.

Adubação biológica	Resistência à penetração (40-45cm)		
	Cobertura de solo		
	Milheto	Crotalária	Pousio Limpo
Com	0,33bB	0,37aA	0,35aAB
Sem	0,36aA	0,39aA	0,32aB
CV (%)		5,23	

Médias em minúsculo na coluna e em maiúsculo na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Nas safras 2017/18 e 2018/19, não se observou efeito do adubo biológico sobre a resistência à penetração nas profundidades avaliadas (Tabelas 18 e 19). Quanto ao efeito das coberturas de solo, na profundidade de 0 a 10 cm, menor resistência foi observa para os tratamentos milheto e crotalária na safra 2017/18. O efeito do milheto foi expressivo na redução da RP nas camadas de 15 a 20 cm, 25 a 30 cm e 35 a 40 cm. Na camada de 30 a 35 cm, o valor de RP no solo com milheto foi estatisticamente igual ao pousio e de 45 a 50 cm menor RP foi observado para o pousio limpo (Tabela 18).

Tabela 18. Resistência à penetração do solo cultivado com milho submetido à adubação biológica (AB) e cobertura do solo (COB), safra 2017/18.

Adubação Biológica	Teste de Tukey (p≤0,05)								
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	45-50
	---------- Resistência mecânica do solo a penetração (Mpa) ----------								
Com	3,29a	1,63	1,22a	0,92	0,75	0,61a	0,52	0,43	0,31
Sem	2,78b	1,50	1,09b	0,90	0,73	0,59b	0,52	0,43	0,33
Cobertura do solo									
Milheto	2,97b	1,49b	1,13	0,87b	0,73	0,58b	0,50b	0,44b	0,32ab
Crotalária	2,95b	1,51b	1,14	0,96a	0,74	0,61a	0,56a	0,47a	0,34a
Pousio limpo	3,19a	1,69a	1,19	0,91ab	0,74	0,61a	0,50b	0,39ab	0,30b
CV (%)	4,93	9,22	9,37	7,26	4,67	1,84	7,45	9,16	7,95

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Para a safra 2018/19, foi observado efeito do milheto sobre a descompactação do solo na camada de 45 a 50 cm, não sendo observado efeito das coberturas sobre as demais camadas do solo avaliadas. Comparando os valores de RP da área de cultivo com o solo de fragmento de mata, na camada superficial do solo (0-5 cm) apenas o pousio limpo com adubo biológico apresentou maior valor de RP. Na camada de 5 a 10 cm e na profundidade de 15 a 35 cm os valores de RP da área de cultivo se igualaram estatisticamente aos valores encontrados na mata (Tabela 19).

Tabela 19. Resistência à penetração do solo cultivado com milho submetido à adubação biológica (AB) e cobertura do solo (COB), safra 2018/19.

		Teste de Tukey (p≤0,05)									
Adubação Biológica		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50
		---------- Resistência mecânica do solo a penetração (Mpa) ----------									
Com		2,62	1,50	1,08	0,86	0,67	0,57a	0,49	0,42a	0,36	0,31
Sem		2,59	1,50	1,09	0,82	0,66	0,56b	0,47	0,40b	0,35	0,31
Cobertura do solo											
Milheto		2,43	1,43	1,03	0,82	0,67ab	0,57	0,47	0,40	0,34	0,30b
Crotalária		2,52	1,51	1,11	0,87	0,69a	0,57	0,50	0,42	0,37	0,32a
Pousio limpo		2,88	1,56	1,12	0,84	0,64b	0,55	0,47	0,41	0,36	0,31a
CV (%)		16,46	11,39	10,23	8,30	4,27	3,22	4,81	6,17	6,88	5,66
AB	COB	Teste de Dunnett (p≤0,05)									
	Milheto	2,31b	1,41a	1,03b	0,87a	0,69a	0,59a	0,48a	0,42b	0,35b	0,30b
Com	Crotalária	2,57b	1,55a	1,11b	0,87a	0,70a	0,58a	0,51a	0,44b	0,37b	0,32b
	Pousio limpo	2,99a	1,53a	1,11b	0,85a	0,63a	0,55a	0,47b	0,42b	0,36b	0,32b
	Milheto	2,55b	1,44a	1,04b	0,77a	0,66a	0,55a	0,46b	0,39b	0,34b	0,30b
Sem	Crotalária	2,48b	1,47a	1,11b	0,87a	0,68a	0,57a	0,49a	0,41b	0,37b	0,32b
	Pousio limpo	2,76b	1,59a	1,13a	0,83a	0,65a	0,56a	0,46b	0,41b	0,35b	0,31b
Fragmento de Mata		1,58b	1,15a	0,86b	0,71a	0,64a	0,61a	0,55a	0,53a	0,45a	0,39a
CV (%)		13,97	17,58	14,08	11,94	7,97	6,62	8,59	5,57	11,58	16,90

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey (p≤0,05) e pelo Teste de Dunnett (p≤0,05).

Avaliação de Fitomassa da cobertura

A velocidade de decomposição das coberturas e o tempo de meia vida não diferiram estatisticamente para as áreas com e sem adubo biológico e para as

parcelas de milheto e crotalária nas safras 2017/18 e 2018/19. O tempo de meia vida necessário para a decomposição da crotalária e milheto foi, em média, 95 dias, nas duas safras. Maior produtividade de massa seca foi obtida para o milheto em 34% na safra 2017/18 e 55% na safra 2018/19 em comparação ao consórcio de crotalárias (Tabela 20).

Tabela 20. Produtividade de palhada, constante de decomposição (K) e tempo de meia vida ($T_{1/2}$) de massa seca remanescente da palha de crotalária e milheto, safra 2017/2018 e 2018/2019.

		Safra 2017/2018	
Adubo biológico	K	$T_{1/2}$	Massa Seca t ha^{-1}
Com	0,008	93,25	9,32
Sem	0,007	95,62	7,29
Cobertura			
Milheto	0,007	93,72	10,02a
Crotalária	0,008	95,14	6,58b
CV (%)	21,57	18,31	27,43
		Safra 2018/2019	
Adubo biológico	K	$T_{1/2}$	Massa Seca t ha^{-1}
Com	0,007	99,11	5,69
Sem	0,008	91,86	5,80
Cobertura			
Milheto	0,007	94,48	7,94a
Crotalária	0,008	96,50	3,54b
CV (%)	22,65	25,48	8,99

Médias com letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

DISCUSSÃO

Desempenho agronômico do milho

O adubo biológico juntamente com a palhada de crotalária aumentou a produtividade do milho na safra 2018/19. Isto se deve a menor relação C/N desta cobertura, com a mineralização e fixação biológica de nitrogênio e rápida disponibilização de nutrientes para a cultura em sucessão (Cherubin et al., 2014), e a diversidade de micro-organismos presentes no adubo biológico trabalhando na mineralização e disponibilização dos nutrientes presentes na palhada de crotalária.

Maior produtividade do milho sobre os restos culturais de crotalária também foi observado por Carvalho et al. (2015) e Silva et al. (2006) utilizando *Crotalaria Juncea* em sistema de manejo com o uso de plantas de cobertura e Albuquerque et al. (2013) com o plantio de milho sobre a palhada de *Crotalaria spectabilis*.

O nitrogênio fornecido pela crotalária pode ter favorecido melhor desenvolvimento radicular, com maior aproveitamento de água e nutrientes (Jenkinson et al., 1985). É um dos nutrientes mais exigidos pelas culturas agrícolas, influenciando diretamente o rendimento de grãos (Albuquerque et al., 2013) e na cultura do milho é o nutriente absorvido em maior quantidade (Amado et al., 2002).

Indicadores de qualidade química solo

O maior disponibilização de potássio pela palhada de milheto nas duas safras estudadas também foi observado Boer et al. (2007) e Torres & Pereira (2008) que obtiveram maior acúmulo e liberação de K pelo milheto. Também foi obtido maior ciclagem e disponibilização de enxofre (S) com o uso de crotalária e milheto, em comparação ao solo em pousio na primeira safra.

O adubo biológico elevou o teor de matéria orgânica do solo na safra 2018/19, o que se deve a característica desse composto biológico, que apresenta em sua composição macro, micronutrientes (Tabela 1) e um conjunto de micro-organismos, entre eles fungos, bactérias e leveduras (Medeiros & Lopes, 2006) que irão atuar na decomposição da matéria orgânica enriquecendo o solo agrícola. O incremento em matéria orgânica obtido com o uso do adubo biológico, elevou o pH do solo, reduzindo a acidez potencial (H+Al) e aumentando a adsorção de cátions trocáveis, como o cálcio (Ca).

Resultados semelhantes foram obtidos por Cardoso et al. (2011) utilizando o composto orgânico Biomix® , ao observarem aumento nos teores de matéria orgânica, cálcio, magnésio, soma de bases, CTC e saturação por bases do solo. Damatto Júnior et al. (2006) também obtiveram incrementos em pH, matéria orgânica, fósforo, cálcio, soma de bases, CTC e saturação por bases utilizando compostos orgânicos no cultivo da bananeira.

No entanto, comparando com o solo de fragmento de mata, maior teor de matéria orgânica foi observado em solo não antropizado. Cherubin et al. (2015) também obtiveram maior teor de matéria orgânica em solo de mata nativa. Os teores

P e K maiores na área de cultivo em comparação à mata se deve adubação mineral com fósforo e potássio realizada na área de cultivo, assim como os maiores teores de enxofre disponibilizados pela gessagem em segunda safra.

Indicadores de qualidade microbiológica do solo

Os maiores valores de carbono orgânico total e respiração basal em solo com adubo biológico em segunda safra se devem à diversidade de micro-organismos presentes em sua composição (Medeiros & Lopes, 2006) que irão atuar na decomposição da matéria orgânica elevando o carbono orgânico total com maior liberação de CO_2.

O maior carbono da biomassa microbiana e quociente microbiano em solo com a palhada de milheto e na presença do adubo biológico se devem à diversidade de micro-organismos no adubo bem como a elevada produção de palhada por esta planta de cobertura (Timossi et al., 2007), disponibilizando maior quantidade de substrato para decomposição pela biomassa microbiana.

Os micro-organismos que compõe a biomassa microbiana têm grande importância no processo da decomposição dos resíduos orgânicos e na ciclagem de nutrientes atuando como catalisadores da matéria orgânica do solo (Moreira & Siqueira, 2002). Além disso, a própria biomassa microbiana constitui-se uma reserva lábil de nutrientes que são liberados rapidamente para o solo devido ao menor tempo de vida dos micro-organismos (Carneiro et al., 2008).

Incrementos em carbono da biomassa microbiana foram obtidos por Carneiro et al. (2008) utilizando as espécies de cobertura feijão-de-porco, crotalária juncea, níger e aveia, que produzem quantidade adequada de fitomassa. De acordo com os autores, a prática do solo em pousio deve ser evitada para reduzir os prejuízos no carbono da biomassa microbiana e carbono orgânico do solo.

A respiração basal é influenciada por diversos fatores do solo, entre eles a presença de resíduos orgânicos (Silva et al., 2010). Maior respiração basal foi observada no solo com crotalária em segunda safra, o que se deve a menor relação C/N desta leguminosa, com atividade microbiológica sobre este material e consequentemente maior liberação de CO_2.

A taxa de liberação de CO_2 por unidade de C da biomassa microbiana expressa maior eficiência da biomassa microbiana na utilização dos recursos do

ecossistema, menos CO_2 é perdido pela respiração e maior proporção de C é incorporada aos tecidos microbianos, reduzindo os valores de qCO_2 (Anderson & Domsch, 1993). O quociente metabólico da área de cultivo se igualou ao fragmento de mata na safra 2017/18, indicando que o ambiente cultivado se encontra em condições semelhantes ao ambiente em equilíbrio.

O quociente microbiano é obtido na relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total e indica a porcentagem de carbono imobilizado na biomassa microbiana. Considerando como nível de equilíbrio 2,20% (Jankinson & Ladd, 1981), todos os valores da área de cultivo se encontram abaixo deste, indicando perdas de carbono para o solo.

Nas duas safras em estudo, os indicadores COT, CBMS, *q*MIC e C-CO_2 foram maiores em solo de mata em relação ao solo cultivado com milho devido à constante incorporação de resíduos do ambiente natural, estimulando a biomassa microbiana e a atividade biológica, com maior liberação de CO_2 (Kuzyakov, 2010; Ferreira et al., 2010).

As enzimas do solo são indicadores sensíveis às táticas de manejo empregadas. A Beta-glicosidase atua no processo final de decomposição da celulose (Tabatabai, 1994) e está associada ao ciclo do carbono (Mendes et al., 2019) e a Fosfatase ácida na transformação do fósforo orgânico em fósforo assimilável pela planta (Freitas, 1995).

Não foi observado efeito do adubo biológico sobre a atividade de Beta-glicosidase, no entanto, maior atividade desta enzima foi obtida em solo com a palhada de crotalária, estando diretamente relacionado às características desta cobertura de solo, que possui elevada taxa de decomposição, com maior atividade desta enzima sobre este material.

Maior atividade de Fosfatase ácida foi observada em solo sem adubo biológico na presença da palhada de milheto, indicando maior teor de P orgânico neste tratamento. No período de coleta de solo (pendoamento), o fósforo contido na palhada de crotalária já havia sido mineralizado e absorvido pelas plantas de milho, enquanto o milheto, que possui taxa de decomposição mais lenta, apresentou maior teor de P orgânico na palhada, aumentando a atividade de Fosfatase ácida sobre estes resíduos.

Comparando a atividade enzimática do solo cultivado com o fragmento de mata, maior atividade de Fosfatase ácida foi observada na mata, enquanto que a

atividade de Beta-glicosidase da área de cultivo se igualou ao fragmento mata, indicando que as táticas de manejo empregadas foram benéficas para a qualidade do solo, refletindo em maior atividade Beta-glicosidase.

Indicadores de qualidade física do solo

O adubo biológico contribuiu para a melhoria dos atributos físicos do solo nas duas safras em estudo, estando diretamente relacionado ao conteúdo de matéria orgânica presente em sua composição (Tabela 1). Conforme relatado por Alencar et al. (2015) a matéria orgânica presente no biofertilizante atua como agente cimentante entre as partículas, aumentando a capacidade de troca de cátions, disponibilizando mais nutrientes para as plantas e servindo de substrato para a biota do solo.

Maior quantidade de microporos com o uso do adubo biológico também foi obtido por Alencar et al. (2015) com a aplicação de biofertilizante a partir de esterco bovino em um cambissolo cultivado com *Ficus carica* L. Maior umidade gravimétrica e volumétrica observada em solo com a palhada de milheto deve-se ao grande volume de fitomassa produzido por esta planta de cobertura, promovendo a manutenção de umidade no solo (Calvo et al., 2010). A palhada sobre a superfície do solo reduz a taxa de evaporação da água (Baver et al., 1972).

O milheto promoveu maior quantidade de macroporos em segunda safra, o que se deve ao elevado crescimento radicular desta cobertura, auxiliando na descompactação do solo, formação de canais para o escoamento de água e no desenvolvimento radicular das culturas em sucessão (Herrada et al., 2017). Além disso, os resíduos vegetais sobre a superfície do solo servem de substrato para os micro-organismos, promovendo a formação de agregados de maior estabilidade (Blainsk et al., 2012).

Também se observou menor densidade do solo na camada de 0-10 cm para o milheto e crotalária em comparação ao pousio, com efeito benéfico das plantas de cobertura na estruturação do solo. Conforme relatado por Cunha et al. (2011), um dos efeitos do uso de plantas de cobertura é o aumento no teor de matéria orgânica, favorecendo a agregação do solo.

Os menores valores de resistência à penetração para a segunda safra se devem ao quarto ano com a utilização destas táticas de manejo e também ao efeito

da sucessão entre soja e milho sobre a compactação do solo. Conforme Embrapa (2007), a sucessão de culturas permite redução de patógenos e doenças, aumenta o teor de matéria orgânica do solo, atua na estruturação e descompactação do solo.

Considerando o valor de 2Mpa como impeditivo ao crescimento das raízes (Taylor et al., 1966) foram observados valores de RP acima do proposto apenas para a camada superficial do solo (0-5 cm), decrescendo para profundidades maiores. Camadas superficiais mais adensadas são resultado do não revolvimento do solo associado ao tráfego de máquinas agrícolas (Cherubin et al., 2015) com influência direta sobre a resistência do solo à penetração.

Comparando os indicadores de qualidade física do solo cultivado com milho com o fragmento de mata, observou-se maior percentual de umidade na área cultivada na safra 2017/18, indicando efeito benéfico das táticas de manejo sobre a umidade do solo. No entanto, maior densidade do solo foi observada na área de cultivo em comparação ao solo de mata, devido ao trânsito de máquinas e equipamentos, corroborando com os resultados obtidos por Cunha et al. (2011).

Produção de fitomassa da cobertura de solo

A constante de decomposição e tempo de meia vida da crotalária foi estatisticamente igual ao milheto nas duas safras, sendo necessário em média 95 dias para decomposição de 50% da palhada e disponibilização dos nutrientes. Maior produção de massa seca foi observada para o milheto em comparação a crotalária nas duas safras em estudo. O maior volume de palhada permite maior proteção ao solo, favorecendo a manutenção da umidade, a biota do solo e a ciclagem de nutrientes (Calvo et al., 2010).

Avaliando a produção de fitomassa do milheto (*Pennisetum glaucum* var. ADR500) Boer et al. (2007) obteve produtividade de massa seca de 10.801 kg ha^{-1}, valor similar ao encontrado para este trabalho na primeira safra. Almeida et al. (2008) avaliando a produtividade de fitomassa de diferentes cobertura, também obteve produtividade de milheto próximo ao encontrado na primeira safra (10,709 t ha^{-1}).

Diante de tudo isso, verificou-se que as táticas de manejo empregadas no presente trabalho foram benéficas para a saúde do solo, contribuindo com a melhoria dos atributos químicos, físicos, microbiológicos e enzimáticos e com efeito

no desenvolvimento e produtividade do milho. Recomenda-se o uso destas táticas de manejo, haja vista que contribuem para um sistema de produção agrícola sustentável.

CONCLUSÃO

O uso de adubo biológico e plantas de cobertura contribuíram com a qualidade química, física e microbiológica do solo. Não foi observado efeito do adubo biológico na atividade enzimática, no entanto, a crotalária proporcionou maior atividade de Beta-glicosidase. O adubo biológico juntamente com a palhada de crotalária aumentou a produtividade do milho na safra 2018/19.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A.W. de; RAMOS, J.R.; MOURA FILHO, G.; REIS, L.S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p. 721-726, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000700005.

ALENCAR, L.A. de; CHAVES, A.F.; SANTOS, C.L.A. dos; ASSIS JÚNIOR, R.N. de; MOTA, J.C.A. Atributos Físicos de um Cambissolo Cultivado e Tratado com Biofertilizante na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v.39, p. 737-749, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbcs20140437

ALMEIDA, V. P. de; ALVES, M. C; SILVA, E. C. da; OLIVEIRA, S. A de. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1.227-1.237, 2008. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300031.

ALVES, S. B.; MEDEIROS, M.B. de; TAMAI, M. A.; LOPES, R.B. Trofobiose e micro-organismos na proteção de plantas. **Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento**, n. 21, p. 16-19, 2001.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.241-248, 2002. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000100025.

ANDERSON, J.P.E.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO_2 (qCO2) as a specific activity parameters to assess the effects of environment conditions, such as pH, on microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p.393-395, 1993. DOI: https://doi.org/10.1016/0038-0717(93)90140-7.

ARATANI, R.G.; LAZARINI, E.; MARQUES, R.R.; BACKES, C. Adubação nitrogenada em soja na implantação do sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, v. 30, p.31-38, 2008.

ARAÚJO NETO, S. E. de; SILVA, A. N. da; KUSDRA, J. F; KOLLN, F. T.; ANDRADE NETO, R. de C. Atividade biológica de solo sob cultivo múltiplo de maracujá, abacaxi, milho, mandioca e plantas de cobertura. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 650-658, 2014.

ASCARI, J. P. **Indicadores de qualidade do solo e táticas de manejo para uma agricultura sustentável**. 2017.94p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Tangará da Serra.

AZEVEDO, D. M. P.; LEITE, L. F. C.; TEIXEIRA NETO, M. L.; DANTAS, J. S. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo e distribuição do sistema radicular da soja sob diferentes sistemas de preparo no cerrado maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v.38, p.32-40, 2007.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. Soil structure: Evaluation and agricultural significance. In: BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. (ed). **Soil physics**. 4.ed. New York, 1972.

BLAINSKI, E.B.; TORMENA, C.A.; GUIMARÃES, R.M.L.; NANNI, M.R. Qualidade física de um latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.79-87, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000100009.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L. de; SILVA, G.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L. de L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 1269-1276, 2007. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000900008.

BOER, C.A.; ASSIS, R.L.; SILVA, J.P.; BRAZ, A.J.B.P.; BARROSO, A.L.L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F.R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 843-851, 2008. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000200038.

CALVO, C.L.; FOLONI, J.S.S.; BRANCALIÃO, S.R. Produtividade de fitomassa e relação c/n de monocultivos e consórcios de guandu-anão, milheto e sorgo em três épocas de corte. **Bragantia**, v.69, p.77-86, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000100011.

CARDOSO, A.I.I.; FERREIRA, K.P.; VIEIRA JÚNIOR, R.M.; ALCARDE, C. Alterações em propriedades do solo adubado com composto orgânico e efeito na qualidade das sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, v.29, p.594-599, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362011000400025.

CARDOSO, D.P.; SILVA, M.L.N. CARVALHO, G.J. de; FREITAS, D.A.F. de; AVANZI, J.C. Espécies de plantas de cobertura no recondicionamento químico e físico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, p.375-382, 2013. DOI:10.5039/agraria.v8i3a2421.

CARNEIRO, M.A.C.; CORDEIRO, M.A.S.; ASSIS, P.C.R.; MORAES, E.S.; PEREIRA, H.S.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D. de. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia**, v. 67, p. 455-462, 2008. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000200021.

CARNEIRO, M.A.C.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PEREIRA, H.S.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.1, p.147-157, 2009. DOI:10.5039/agraria.v8i3a2421.

CARVALHO, A.M. de; COSER, T.R.; REIN, T.A.; DANTAS, R.A.; SILVA, R.R.; SOUZA, K.W. Manejo de plantas de cobertura na floração e na maturação fisiológica e seu efeito na produtividade do milho. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, v.7, p.551-561, 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000700005.

CHERUBIN, M.R., MATEUS T.E., FABBRIS C., WEIRICK S.W., SILVA R.F.S., SILVA V.R., BASSO C.J. Qualidade física, química e biológica de um latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.615-625, 2015. DOI: 10.1590/01000683rbcs20140462.

CHERUBIN, M.R.; FABRIS, C.; WEIRICH, S.W.; ROCHA, E.M.T. da; BASSO, C.J.; SANTI, A.L.; LAMEGO, F.P. Desempenho agronômico do milho em sucessão a espécies de cobertura do solo sob sistema plantio direto no sul do Brasil. **Global Science and Technology**, v.7, p.76-85, 2014. DOI: 10.14688/1984-3801/gst.v7n1p76-85.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: décimo segundo levantamento, Safra 2018/2019**. Brasília: CONAB, v. 6, n. 12, 2019.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. & WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.527-535, 2003. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000300014.

CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; FERREIRA, E.P.B.; DIDONET, A.D.; LEANDRO, W.M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.589-602, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200029.

DAMATTO JUNIOR, E.R.; BOAS, R.L.; LEONEL, S.; FERNANDES, D.M. Alterações em propriedades de solo adubado com doses de composto orgânico sob cultivo de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.28, p.546-549, 2006. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452006000300048.

EMBRAPA. 2007. **Rotação de culturas**. Londrina: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Soja. Circular Técnica 45.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos, 132).

FERREIRA, E. P. de B.; SANTOS, H.P. dos; COSTA, H. de; RUMJANEK, N. G. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 177-183, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S1806-66902010000200002.

FREITAS, J.R. Atividade da enzima fosfatase ácida em folhas e raízes de feijoeiro *Phaseolus vulgaris*. Embrapa Arroz e Feijão, 1995. (Relatório interno).

FREITAS, N. de O.; YANO-MELO, A.M.; SILVA, F.S.B. da; MELO, N.F. de; MAIA, L.C. Soil biochemistry and microbial activity in vineyards under conventional and organic management at Northeast Brazil. **Scientia Agricola**, v. 68, p.223-229, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162011000200013.

GUIMARÃES, G.L.; BUZETTI, S.; LAZARINI, E.; SÁ, M.E. de; ARF, O.; ANDRADE, J.A. da C. Efeitos de culturas de verão e opções de inverno na cultura do milho e no solo na implantação do plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, p. 471-477, 2006. DOI: 10.4025/actasciagron.v28i4.778.

HERRADA, M.R.; LEANDRO, W.M.; FERREIRA, E.P.B. Leguminosas isoladas e consorciadas com milheto em diferentes sistemas de manejo do solo no feijão orgânico. **Terra Latinoamericana**, v.35, p.293-299, 2017.

JENKINSON, D.S. & LAD, J.N. Microbiol biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A. & LAD, J.N. (Eds) **Soil Biochemistry**. New York: Marcel Dekker, 1981.

JENKINSON, D.S. & POWLSON, D.S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil - V: A method for measuring soil biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 8, p. 209-213, 1976. DOI: https://doi.org/10.1016/0038-0717(76)90005-5.

JENKINSON, D.S.; FOX, R.H.; RAYNER, J.H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen – the so-called 'priming' effect. **Journal of Soil Science**. v.36, p. 425-444, 1985. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1985.tb00348.x.

KUZYAKOV, Y. Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, v.42, p.1363-1371, 2010. DOI:10.1016/j.soilbio.2010.04.003.

MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Bahia Agrícola**, v. 7, p. 24-26, 2006.

MENDES, I. de C.; BORIN, A.L.D.C.; OLIVEIRA, M.I.L.; REIS JÚNIOR, F.B. dos.; CHAER, G.M. Diagnóstico da saúde do solo nas áreas de produção de algodão no estado de Goiás. In: Congresso Brasileira de Algodão, Goiânia, GO. Anais...ABRAPA, EMBRAPA, 2019.

MORAES, J. G. V. **Biofertilizantes:** identificação das barreiras regulatórias e propostas para viabilizar esse insumo agrícola. 2015. 81 f. Tese (Mestrado) - Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, São Paulo.

MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2.ed. Lavras: Editora UFLA, 2002. 626p.

MOREIRA, M.L.C.; VASCONCELOS, T.N.N. **Mato Grosso solos e paisagens**. Cuiabá: entrelinhas, 2007.

PAUL, E.A.; CLARK, F.E. **Soil microbiology and biochemistry**. San Diego: Academic Press, 1989. 275 p.

R Core Team (2018). **R:** A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1805-1816, 2008. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000500002.

SÁ, M.A.C.; SANTOS JUNIOR, J.D.G. **Considerações teóricas sobre o calculo de resistência mecânica do solo a penetração determinada com penetrômetros dinâmicos**. 1ª ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2007. 25 p. (Documentos, 200).

SILVA, E.C. da; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; VELOSO, M.E. da C. & TRIVELIN, P.C.O. Aproveitamento do nitrogênio (15N) da crotalária e do milheto pelo milho sob plantio direto em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Ciência Rural**, v.36, p.739-746, 2006. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782006000300004.

SILVA, R.R. de.; SILVA, M.L.N.; CARDOSO, E.L.; MOREIRA, F.M. de S.; CURI, N.; ALOVISI, A.M.T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1585-1592, 2010. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000500011.

SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado:** correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2004, 416 p.

STEFANOSKI, D.C.; SANTOS, G.F.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L.P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1301–1309, 2013. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, n. 15, p. 229- 235, 1991.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: R. W. Weaver et al. (ed.). **Methods of soil analysis**. Part 2. Microbiological and biochemical properties. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison. p. 778–833, 1994.

TAYLOR, H.M.; ROBERSON, G.M.; PARKER JUNIOR, J.J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v.102, p.18-22, 1966.

TEIXEIRA, F.V.; COSTA, F.M. (2010) **Caracterização de Recursos Genéticos de Milho**. (ed. Embrapa), 10 p. Embrapa Milho e Sorgo, Brasília.

TEIXEIRA, M.B.; LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milheto e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p.867-876, 2011. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000300021.

TIMOSSI, P.C.; DURIGAN, J.C.; LEITE, G.J. Formação de palhada por braquiárias para adoção do sistema plantio direto. **Bragantia**, v.66, p.617-622. 2007. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052007000400012.

TOLLENAAR, M. Is low density a stress in maize?. **Maydica**, v.37, p.305-311, 1992.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1609-1618, 2008. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000400025.

VANCE, E.D.; BROOKS, P.C.; JENKINSON, D.S. An extraction method for mesuring soil microbial biomass C. **Soil Biology & Biochemistry**, v.19, p.703-707, 1987. DOI: https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6.

WIDER, R.K.; LANG, G.E. Critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. **Ecology**, v.63, p.1636-1642, 1982. DOI: https://www.jstor.org/stable/1940104.

ARTIGO III

INDUÇÃO DE RESISTÊNCIA EM PLANTAS: ATIVIDADE ELICITORA DE ADUBO BIOLÓGICO EM SOJA E MILHO

[Summa Phytopathologica]

RESUMO

Dentre as principais doenças da cultura da soja, destacam-se a antracnose (*Colletotrichum truncatum*) e ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e no milho a antracnose (*Colletotrichum graminicola*). Como alternativa de manejo tem-se a indução de resistência usando adubo biológico. Dessa forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficácia do adubo biológico no controle de doenças em soja e milho e determinar a ativação de enzimas relacionadas à patogênese. O estudo foi conduzido em condições de campo nas safras 2017/2018 e 2018/2019. O delineamento foi em blocos casualizados com dois tratamentos (com e sem adubo biológico) e três repetições. A variedade de soja utilizada foi Brasmax desafio e o milho LG 6036. Avaliou-se a severidade da ferrugem asiática na soja e antracnose na soja e no milho. O adubo biológico foi aplicado parcelado no solo (150L ha^{-1}) e sobre as plantas (20L ha^{-1}) sempre que feito o manejo de insetos-pragas e doenças. Foram retiradas amostras de tecido foliar às 72, 96, 120 e 144 h após o tratamento na primeira safra e às 24, 48, 72 e 96 h após o tratamento na segunda safra e avaliada a atividade das enzimas peroxidase e β-1,3 glucanase. O adubo biológico atuou como elicitor na atividade da peroxidase em soja e da peroxidase e β-1,3 glucanase em milho, no entanto não foi eficiente no controle das doenças. Maior produtividade de soja e milho foi observada na segunda safra.

PALAVRAS-CHAVE: Manejo de doenças de plantas, adubação biológica, enzimas relacionadas à patogênese, ativação de genes de resistência.

INDUCTION OF RESISTANCE IN PLANTS: ELICITORA ACTIVITY OF BIOLOGICAL FERTILIZER IN SOYBEAN AND CORN

ABSTRACT

Among the main diseases of soybean crops, anthracnose (*Colletotrichum truncatum*) and Asian rust (*Phakopsora pachyrhizi*) stand out, and anthracnose (*Colletotrichum graminicola*) stands out in corn crops. As an alternative of management, there is the induction of resistance using biological fertilizer. Thus, the present work aimed to evaluate the effectiveness of biological fertilizer in disease control in soybean and corn and to determine the activation of pathogenesis-related enzymes. The study was conducted under field conditions in the 2017/2018 and 2018/2019 harvests. The design was in randomized blocks with two treatments (with and without biological fertilizer) and three replications. We used the soybean variety Brasmax challenge and the corn LG 6036. We evaluated the severity of Asian rust in soybean and anthracnose in soybean and in corn. The biological fertilizer was applied in installments in the soil (150L ha^{-1}) and on the plants (20L ha^{-1}) whenever pest insects and diseases were managed. Leaf tissue samples were taken at 72, 96, 120 and 144 hours after treatment in the first harvest, and at 24, 48, 72 and 96 hours after treatment in the second harvest and the activity of peroxidase and β-1,3 glucanase enzymes was evaluated. The biological fertilizer acted as an elicitor in the activity of peroxidase in soybean and peroxidase and β-1,3 glucanase in corn, however, it was not efficient in disease control. Higher soybean and corn yields were observed in the second harvest.

KEYWORDS: Plant disease management, biological fertilization, pathogen-related enzymes, resistance gene activation.

INTRODUÇÃO

A ferrugem asiática da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & Sydow) é uma das doenças mais severas da cultura. O fungo é agressivo e em condições favoráveis, completa seu ciclo na cultura de 6 a 9 dias (Yorinori et al., 2004), sendo favorecida em condições de alta umidade e temperatura entre 18°C e 26,5°C (Henning et al., 2014). Outra doença de destaque na cultura da soja é a antracnose [*Colletotrichum truncatum* (Schwein) Andrus & Moore], cuja ocorrência é maior nas regiões de cerrado (Almeida et al., 1997). O patógeno é transmitido via semente, restos culturais e parte aérea da soja (Manandhar & Hartman, 2008) e é favorecido em condições de alta umidade (Galli et al., 2005).

No milho, a antracnose tem como agente etiológico *Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wils e os sintomas podem ser observados em todas as partes da planta, mas as folhas e caule são os mais afetados, comprometendo a produção e qualidade dos grãos (Bergstrom & Nicholson, 1999; Cota et al., 2012).

A pulverização com fungicidas tem sido o principal método de controle destas doenças, no entanto, isto gera preocupações quanto ao meio ambiente (Saeed et al., 2016) e a resistência dos fungos aos produtos químicos aplicados sucessivamente. Desta forma, a indução de resistência na planta hospedeira torna-se uma importante estratégia para reduzir a severidade da doença a baixos custos e sem efeitos adversos sobre o meio ambiente (Elsharkawy et al., 2012; Parada et al., 2018).

A resistência consiste na capacidade da planta em atrasar ou evitar a entrada ou posterior atividade de patógenos em seus tecidos. O sistema de defesa da planta atua de maneira dinâmica e coordenada, no momento e local apropriados e com a magnitude correta (Pascholati & Leite, 1995). A indução de resistência pode ocorrer tanto pela presença do patógeno virulento, como por tratamentos com compostos orgânicos e inorgânicos e micro-organismos vivos (Romeiro & Garcia, 2009).

A resistência sistêmica adquirida (RSA) envolve o acúmulo de proteínas relacionadas à patogenese (PRPs) como mecanismo de defesa da planta. A rota de sinalização é dependente do ácido salicílico, podendo resultar em alterações visuais na planta e, geralmente é induzida por patógenos ou ativadores químicos. Na resistência sistêmica induzida (RSI), não há o acúmulo de PRPs, o eliciador

geralmente é um micro-organismo não patogênico com rota de sinalização associada ao jasmonato e etileno (Métraux, 2001).

Dentre as PRPs, as peroxidases promovem o aumento da síntese de lignina que fortalece a parede celular das plantas contra a ação de enzimas líticas produzidas pelos patógenos (Kvaratskhelia et al., 1997). As β-1,3 glucanase também se destacam entre as proteínas de defesa das plantas, catalisando a hidrólise de carboidratos da parede celular dos fungos, como a Beta-1,3-glucano (Agrios, 1997).

Neste sentido, o adubo biológico na forma de fermentado microbiano, contribui para o aumento da resistência natural das plantas (Nunes & Leal et al., 2001). Por ser rico em diversidade biológica de micro-organismos possui grande atividade bioativa desencadeando tanto os mecanismos de RSA como os de RSI (Barbosa & Medeiros, 2007). Além disso, quando aplicados sobre o solo proporcionam melhorias na qualidade química, física e biológica, e quando pulverizados sobre as plantas fornecem macro e micronutrientes (Rodrigues et al., 2009) contribuindo para a produtividade das culturas.

Diante disto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficácia do adubo biológico no controle de doenças em soja e milho, bem como determinar a atividade de enzimas relacionadas à patogênese.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas safras 2017/18 e 2018/19, na área experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso, em Tangará da Serra – MT (14°39’53”S e 57°25’46”W). O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (Moreira & Vasconcelos, 2007) e clima Tropical Úmido Megatérmico (Aw) de acordo com a classificação climática de Köppen.

O delineamento experimental para os ensaios com soja e milho para as duas safras foi em blocos casualizados com duas condições de adubo biológico (com e sem adubo) e três repetições. As parcelas foram constituídas de 15 metros de comprimento por cinco metros de largura. Nas duas safras, foi realizada a sucessão de culturas entre soja e milho (na área de cultivo da soja na primeira safra, cultivou-se o milho na segunda safra). O plantio da soja (cultivar Brasmax Desafio RR 8473 RSF) e milho (cultivar LG 6036 P3) foi realizado no dia 16 de dezembro de 2017 (1º

safra) e no dia 21 de dezembro de 2018 (2º safra), com espaçamento de 0,5 m e densidade de 18 e quatro plantas por metro para soja e milho, respectivamente.

A adubação da soja na safra 2017/18 foi realizada em semeadura na proporção de 70 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 50 kg ha^{-1} de K_2O e aos 30 DAS em cobertura utilizando 50 kg ha^{-1} de K_2O. Para a segunda safra, houve a necessidade de calagem e gessagem na proporção de 300 kg ha^{-1} e 3.200 kg ha^{-1}, aplicados aos 90 e 60 dias antecedentes ao plantio, respectivamente. A adubação de semeadura foi realizada na proporção de 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 70 kg ha^{-1} de K_2O, conforme análise de solo da safra anterior (Sousa & Lobato, 2004).

No milho, para a safra 2017/18 a adubação de semeadura foi de 165 kg ha^{-1} de fosfato monoamônio MAP (51% P_2O_5 + 9% N), 10 kg ha^{-1} de N (suprido pelo MAP), 20 kg ha^{-1} de N suprido pela ureia (45% N) e 65 kg ha^{-1} de KCl (60% de K_2O). A adubação de cobertura foi aos DAS com 155 kg ha^{-1} de ureia (45% N) e 30 kg ha^{-1} de KCl.

Para a segunda safra, assim como na soja, houve a necessidade de calagem e gessagem, na proporção de 300 kg ha^{-1} e 3.200 kg ha^{-1}, respectivamente. A adubação de semeadura correspondeu a 250 kg ha^{-1} de MAP (48% P_2O_5 + 10% N), 15 kg ha^{-1} de N (suprido pelo MAP), 25 kg ha^{-1} de N suprido pela ureia (45% N) e 100 kg ha^{-1} de KCl (60% de K_2O). A adubação de cobertura foi aos 30 DAS com 288 kg ha^{-1} de ureia (45% N) e 100 kg ha^{-1} de KCl (60% de K_2O) (Sousa & Lobato, 2004). Foi realizada adubação foliar na soja e no milho com P_2O_5, K_2O, Mg, S, B, Cu, Mn, Mo, Zn aos 50 DAS para as duas safras.

O adubo biológico utilizado na primeira safra nos experimentos de soja e milho foi preparado por Ascari (2017) na proporção de 20 L de água, 4 L de esterco bovino e 1 kg de composto biológico enriquecido com minerais (Microgeo®). Para a segunda safra, foi instalada uma nova biofábrica com capacidade de 1.000 L preparado na proporção de 15 kg de conteúdo ruminal, 5 kg de composto biológico (Microgeo®) e 80 L de água.

De acordo com o fabricante, o adubo biológico apresenta uma grande diversidade de micro-organismos, como fungos e leveduras, podendo apresentar em sua composição até 89% de bactérias. Ambas as biofábricas apresentaram em sua composição macronutrientes, micronutrientes e matéria orgânica que estão especificados na Tabela 1.

Tabela 1. Qualidade química do adubo biológico produzido nas duas biofábricas usadas nos experimentos.

Qualidade química do adubo biológico em 2017 (Ascari, 2017)											
pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	B	MO
H_2O	---------- g L^{-1} ----------					---------- mg L^{-1} ----------					%
6,20	0,70	0,30	0,02	0,06	0,01	0,04	4,70	2,80	175	14,40	5,20
Qualidade química do adubo biológico em 2019 (Biofábrica nova)											
pH	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	B	MO
H_2O	---------- g L^{-1} ----------					---------- mg L^{-1} ----------					%
7,60	0,97	0,04	0,87	0,82	0,13	0,04	1,92	6,13	20	2,91	2,36

Potencial hidrogeniônico (pH), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), matéria orgânica (MO), zinco (Zn), cobre (Cu), ferro (Fe), boro (B), enxofre (S) e nitrogênio (N).

A aplicação de adubo biológico foi realizada de maneira parcelada seguindo as recomendações do fabricante para culturas anuais de 150L ha^{-1}, pulverizado sobre o solo (Tabela 2). A aplicação na parte aérea foi realizada juntamente com o manejo de pragas, doenças e plantas daninhas, com a adição de 3% de adubo biológico no volume total da calda, correspondendo a 20L ha^{-1}. Para os cálculos de aplicação, foi considerado o volume de 200L de calda por hectare.

Tabela 2. Época e volume de adubo biológico aplicado durante as safras 2017/18 e 2018/19.

Época	Volume aplicado
Pré-plantio	30L ha^{-1}
V1 soja e milho – Aplicação sobre o solo	60L ha^{-1}
V4 soja e milho – Aplicação sobre o solo	60L ha^{-1}
Aplicação na parte aérea das plantas	20L ha^{-1}

Nas safras de soja 2017/18 e 2018/19, foram realizadas três aplicações sobre o solo e sete aplicações na parte aérea das plantas com adubo biológico. Na safra de milho 2017/18, três aplicações sobre o solo e quatro sobre as plantas e na safra de milho 2018/19, três aplicações sobre o solo e cinco sobre as plantas.

Durante as duas safras foram realizadas avaliações de severidade da antracnose e da ferrugem asiática na soja e da antracnose no milho. Foram avaliadas 24 plantas por repetição, totalizando 72 plantas por tratamento nos experimentos com soja e milho. As avaliações ocorreram no terço médio das plantas marcadas, em que para a soja foi avaliado o folíolo central de dois trifólios por planta e para o milho duas folhas por planta. As avaliações ocorreram em intervalos de

sete dias, com início aos 60 DAS da soja e milho na safra 2017/18 e aos 74 DAS na safra 2018/19. A cultivar de soja utilizada é considerada resistente à ferrugem asiática e suscetível à antracnose e o híbrido de milho tolerante à antracnose foliar.

Severidade da antracnose em soja

A severidade da antracnose na soja foi avaliada com base na escala de notas de Costa et al. (2009) de 0 a 9 onde: 0 (sem sintomas); 0,1-1,0 (lesões < 1mm no pecíolo e/ou nervuras); 1,1-2,0 (poucas lesões < 3mm limitadas ao pecíolo); 2,1-3,0 (poucas lesões < 3mm limitadas às nervuras); 3,1-4,0 (numerosas lesões < 3mm limitadas às nervuras e/ou pecíolos); 4,1-5,0 (lesões no pecíolo e/ou nervuras > 3mm e < 5mm); 5,1-6,0 (lesões no pecíolo e/ou nervuras > 5mm e < 10mm); 6,1-7,0 (lesões > 10mm no pecíolo e/ou nervuras); 7,1-8,0 (lesões > 10mm no pecíolo e/ou nervuras, com esporulação) e 8,1-9,0 (folhas mortas).

Para ponderar a severidade por tratamento foi aplicado o índice de McKinney (1923) e montado os gráficos de severidade da doença para as safras 2017/18 e 2018/19.

Severidade da ferrugem asiática em soja

A severidade da ferrugem asiática foi realizada com base na escala diagramática proposta por Godoy et al. (2006) (Figura 1) e montado os gráficos de severidade da doença de acordo com os percentuais obtidos.

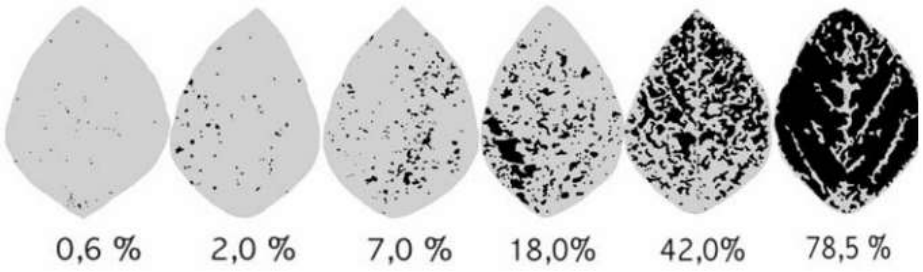


Figura 1. Escala diagramática para avaliação da severidade da ferrugem da soja (Godoy et al., 2006).

Severidade da antracnose no milho

A severidade da antracnose no milho foi obtida por meio da escala de notas variando de 1 a 5, elaborada por Ferreira & Casela (1986) onde: 1,0 (ausência de sintomas); 1,5 a 2,0 (infecção leve, presença de pequeno número de lesões alongadas sem esporulação, com até 10% da área foliar afetada); 2,1 a 2,5 (infecção leve a moderada, presença de lesões alongadas sem esporulação ou de reação de hipersensibilidade, com até 11% a 15% da área foliar afetada); 2,6 a 3,0 (infecção severa com grande número de lesões esporulantes e com alguma coalescência, de 16% a 20%); 3,1 a 4,9 (infecção severa com grande número de lesões esporulantes e com alguma coalescência, de 21% a 40% da área foliar afetada); 5,0 (Infecção muito severa, com lesões abundantes e coalescidas. Mais de 40% da área foliar afetada).

Para obter os valores de severidade por tratamento, foi aplicado o índice de McKinney (1923) e montado os gráficos de severidade da doença para as duas safras em estudo.

Coleta do material vegetal para análise enzimática

Para obtenção do material vegetal, cada repetição contou com quatro plantas, que foram marcadas no terço médio. A aplicação do adubo biológico aconteceu 72 horas antes da coleta na safra 2017/18 e às 24 horas antes da coleta na safra 2018/19, nos estádios fenológicos R5 da soja e R3 do milho. Na primeira safra realizaram-se as coletas nos tempos 72, 96, 120 e 144 horas após aplicação do adubo biológico e na segunda safra, às 24, 48, 72 e 96 horas após o tratamento com adubo. As coletas ocorreram às 6 horas da manhã em todos os dias, seguindo um padrão diário para evitar alterações no material.

Após a coleta, as folhas foram imediatamente colocadas em envelopes de papel alumínio e imersas em nitrogênio líquido e posteriormente armazenadas em deep freezer a -80 ºC até a realização do ensaio enzimático. As análises foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do CPEDA (Centro de Pesquisa, Estudos e Desenvolvimento Agro-Ambientais) na UNEMAT em Tangará da Serra - MT.

Determinação da atividade de peroxidase e β-1,3 glucanase em soja

Atividade de peroxidase em soja

O extrato enzimático para determinar a atividade de peroxidase foi obtido pela maceração de 0,2g de folhas em Nitrogênio líquido, seguido de homogeneização em 2 mL da solução de extração composto de tampão fosfato de potássio 0,1 M (pH 6,8), fenilmetilsulfonilflúor 1 mM (PMSF), ácido etilenodiamino tetra-acético 0,1 mM (EDTA) e 200mg de polivinilpolipirrolidona (PVPP). O homogeneizado foi centrifugado a 12.000 g por 15 min a temperatura ambiente e o sobrenadante foi utilizado no ensaio enzimático (adaptado de Guerra et al., 2013).

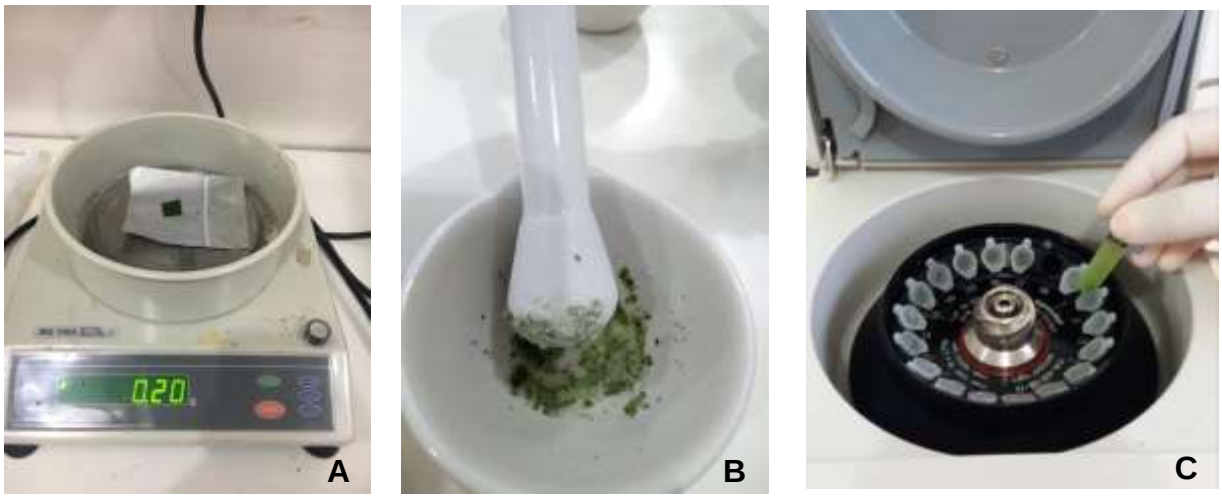


Figura 2. Pesagem de material vegetal (A), maceração em nitrogênio líquido (B) e centrifugação do homogeneizado (C) para obtenção do extrato enzimático.

Para determinação da atividade de peroxidase, foram adicionados em tubo de ensaio (triplicata) 340 uL de água destilada, 250 µL do tampão fosfato de potássio 100 mM (pH 6,8), 200 µL de pirogalol 100 mM e 200 µL de peróxido de hidrogênio 100 mM e 10 µL de extrato enzimático. Para o branco, o extrato enzimático foi substituído pelo mesmo volume de água destilada. As leituras de absorbância foram realizadas em espectrofotômetro FEMTO a 420 nm, a cada 10s durante um minuto (Chance & Maehley, 1955; Kar & Mishra, 1976). A atividade de peroxidase foi medida utilizando-se para os cálculos o coeficiente de extinção molar 2,47 Mm^{-1} cm^{-1} (Chance & Maehley, 1955).

Atividade de β-1,3 glucanase em soja

O extrato enzimático para determinar a atividade de β-1,3 glucanase foi obtido pela maceração de 0,2g de folhas em Nitrogênio líquido, após homogeneizado em 2 mL do meio de extração composto de 50 mM tampão fosfato de sódio (pH 6,5), 1 mM de PMSF e 200 mg de PVPP. O homogeneizado foi centrifugado a 20.000 g por 25 min a temperatura ambiente e o sobrenadante utilizado no ensaio enzimático (adaptado de Guerra et al., 2013).

A atividade foi determinada conforme metodologia descrita por Lever (1972). O meio de reação consistiu em 230 µL de tampão acetato de sódio 100 mM (pH 5,0), 250 µL da solução de substrato da laminarina (4 mg mL^{-1}) e 20 µL do extrato vegetal que foram adicionados em um tubo de ensaio e incubado em banho maria a 45°C por 30 min. Após, foi acrescentado 500 µL de HAPHB (0,5g de ácido p-hidroxibenzóico,10 mL de HCL 0,5M e adicionado 40 mL de NaOH 0,5 M) e a mistura foi aquecida a 100°C por 5 min. Após, os tubos de ensaio foram resfriados em banho de gelo até a temperatura de 30°C. As leituras de absorbância foram determinadas a 540 nm em espectrofotômetro.

A quantidade de açúcares redutores formada foi quantificada pela curva padrão de concentrações de glicose (Y= 0,0331x - 0,0001), onde Y é a absorbância a 540 nm e X a concentração de açucares redutores (mg) e os resultados expressos em mg de glicose.min^{-1} mg^{-1} de proteína.

Determinação da atividade de peroxidase e β-1,3 glucanase em milho

Obtenção do extrato enzimático

O extrato enzimático foi obtido pela maceração de 0,2 g de folhas em Nitrogênio líquido, seguida de homogeneização em 5 mL do meio de extração composto de tampão fosfato de potássio 50 mM e pH 7 + EDTA 0,1 mM. O homogeneizado foi transferido para dois microtubos (2 mL) e centrifugado a temperatura ambiente a 12.000 rpm por 30 minutos e o sobrenadante foi utilizado no ensaio enzimático de peroxidase, β-1,3 glucanase e proteína total (Suárez, 2017).

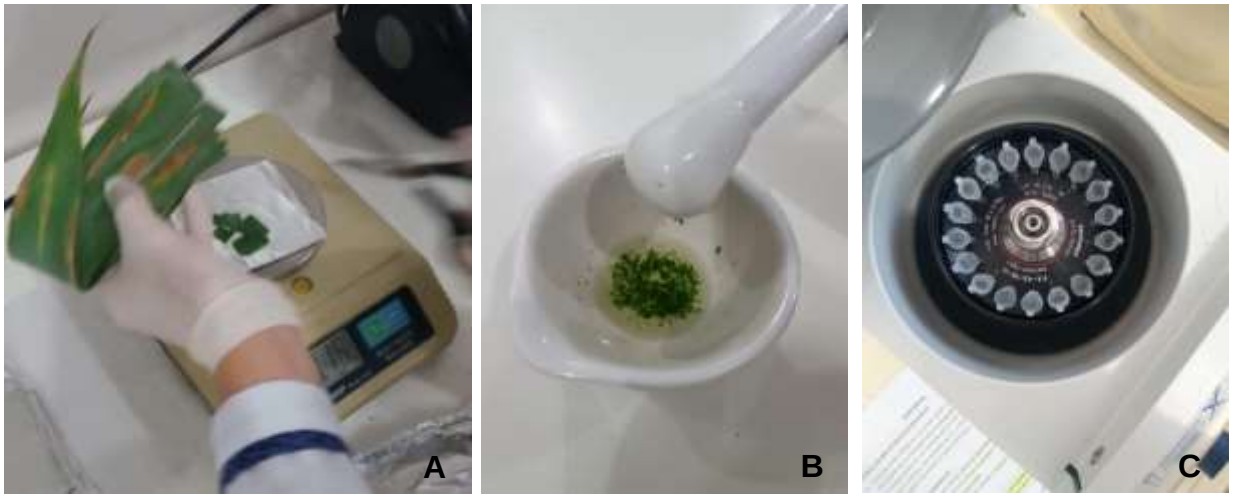


Figura 3. Pesagem (A), maceração em nitrogênio líquido (B) e centrifugação do homogeneizado (C) para obtenção dos extratos enzimáticos.

Atividade de peroxidase de guaiacol em milho

A atividade de peroxidase foi determinada a temperatura ambiente, através da conversão do guaiacol em tetraguaiacol. Para isto, 2,9 mL de meio de extração (306 µL de peróxido de hidrogênio, 250 µL de guaiacol a 2% e 87,5 mL de tampão fosfato 0,01M e pH 6,0), foi adicionado em tubo de ensaio (18 mL) (triplicata) e em seguida acrescentou-se 100 µL de extrato enzimático. Após dois minutos de incubação, foi realizada a leitura em espectrofotômetro U.V a 470 nm (Hammerschmidt et al., 1982; Lusso & Pascholati, 1999). A atividade da enzima, foi medida utilizando-se para os cálculos o coeficiente de extinção molar 2,47 Mm^{-1} cm^{-1} (Chance & Maehley, 1955) e a atividade de peroxidase foi expressa em µmols min^{-1} mg^{-1} de proteína.

Atividade de β-1,3 glucanase em milho

A atividade de β-1,3 glucanase foi determinada através dos açucares redutores liberados pela hidrolise da laminarina (Vogelsang & Barz, 1993). Para isto, adicionou-se aos tubos de ensaio (triplicata) 150µL de laminarina diluída em meio de extração (1,5 mg mL^{-1}) e 150 µL de extrato enzimático. Na amostra controle, foi adicionada água destilada no lugar do extrato enzimático. Os tubos foram incubados em banho maria por 60 minutos a 40 °C. Após este período, foi retirado alíquota de 30 µL dos tubos e adicionado em tubos de ensaio contendo 1,5 mL de PAHBAH (0,5 g de hidrazida do ácido 4-Hydroxybenhydrazide diluída em 20 mL de HCl 0,5M e

acrescentado com 80 mL de NaOH 0,5M), e, em seguida essa mistura foi aquecida a 100°C por 5 min. Posteriormente, foi resfriado em banho de gelo as amostras tiveram absorbância em 410 nm em espectrofotômetro (Lever, 1972). A quantidade de açúcares redutores formado foi quantificado pela curva padrão de concentrações de glicose (Y=0,1716X-0,0104), onde Y é a absorbância a 410 nm e X a concentração de açucares redutores (mg) e os resultados expressos em mg de glicose.min^{-1} mg^{-1} de proteína.

Proteína total

Para obtenção da proteína total em soja e milho utilizou-se o método de Bradford (1976). Adicionou-se aos tubos de ensaio (triplicata) 200 µL do extrato enzimático e 2 mL do reagente de Bradford. Foi incubado por 15 minutos a temperatura ambiente, fez-se a leitura a 595 nm em espectrofotômetro U.V. A curva-padrão utilizada foi proposta Silva (2018) através da equação: y = 15,05x + 0,0003 (R^2 = 0,9919) e os resultados da proteína expressos em miligramas por mL para as triplicatas.

Monitoramento dos dados climáticos

Foram monitorados os dados de Precipitação, Temperatura e Umidade Relativa durante as duas safras no período de avaliação de doença e coleta de material vegetal para análise enzimática (Figura 1).

Os dados foram obtidos da estação meteorológica localizada a 300 metros do experimento, fornecidos pelo Laboratório de Agrometeorologia do Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - CETEGEO – SR, da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT.

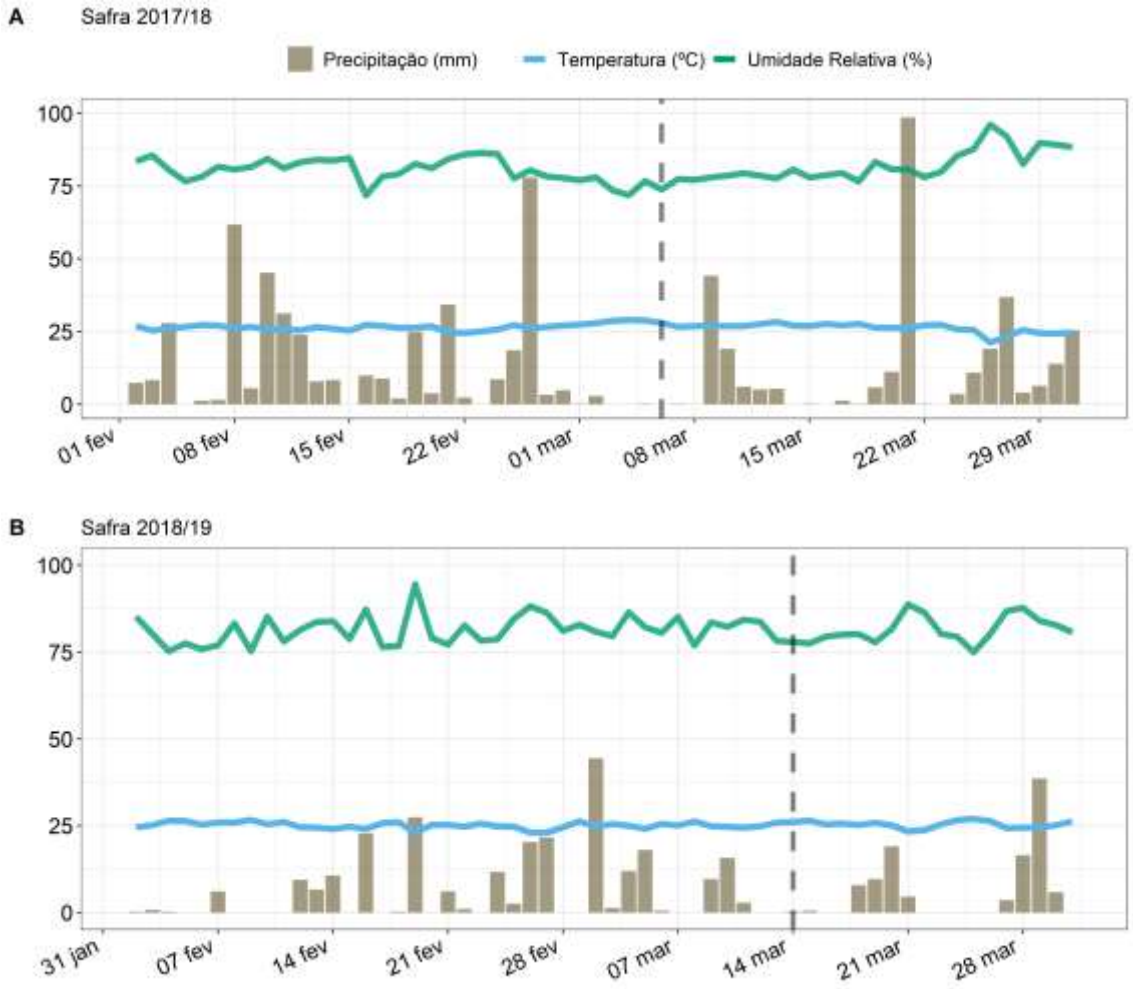


Figura 4. Precipitação (mm), Temperatura média (ºC) e Umidade Relativa (%) monitoradas durante a avaliação de doença e coleta de folhas para análise enzimática nas culturas soja e milho nas safras 2017/18 (A) e 2018/19 (B). A linha pontilhada indica o início da coleta do material vegetal para análise enzimática.

Produtividade de soja e milho

Foi realizada a colheita das quatro linhas centrais de cada bloco, desconsiderando 0,5 m como efeito de borda, correção de umidade para 13% e quantificado a produtividade em kg ha^{-1} em R8 na soja (Souza et al., 2010) e em R6 no milho (Teixeira & Costa , 2010).

RESULTADOS

Severidade da antracnose e ferrugem asiática, atividade enzimática e produtividade em soja

Não houve diferença na porcentagem de severidade da antracnose para as plantas tratadas com adubo biológico e plantas controle nas duas safras avaliadas. Há uma tendência de aumento da severidade ao longo das avaliações, sendo esta tendência mais acentuada na segunda safra, onde aos 95 DAS as plantas com adubo biológico e plantas controle alcançam 94% e 88% de severidade, respectivamente (Figuras 5A e 5B).

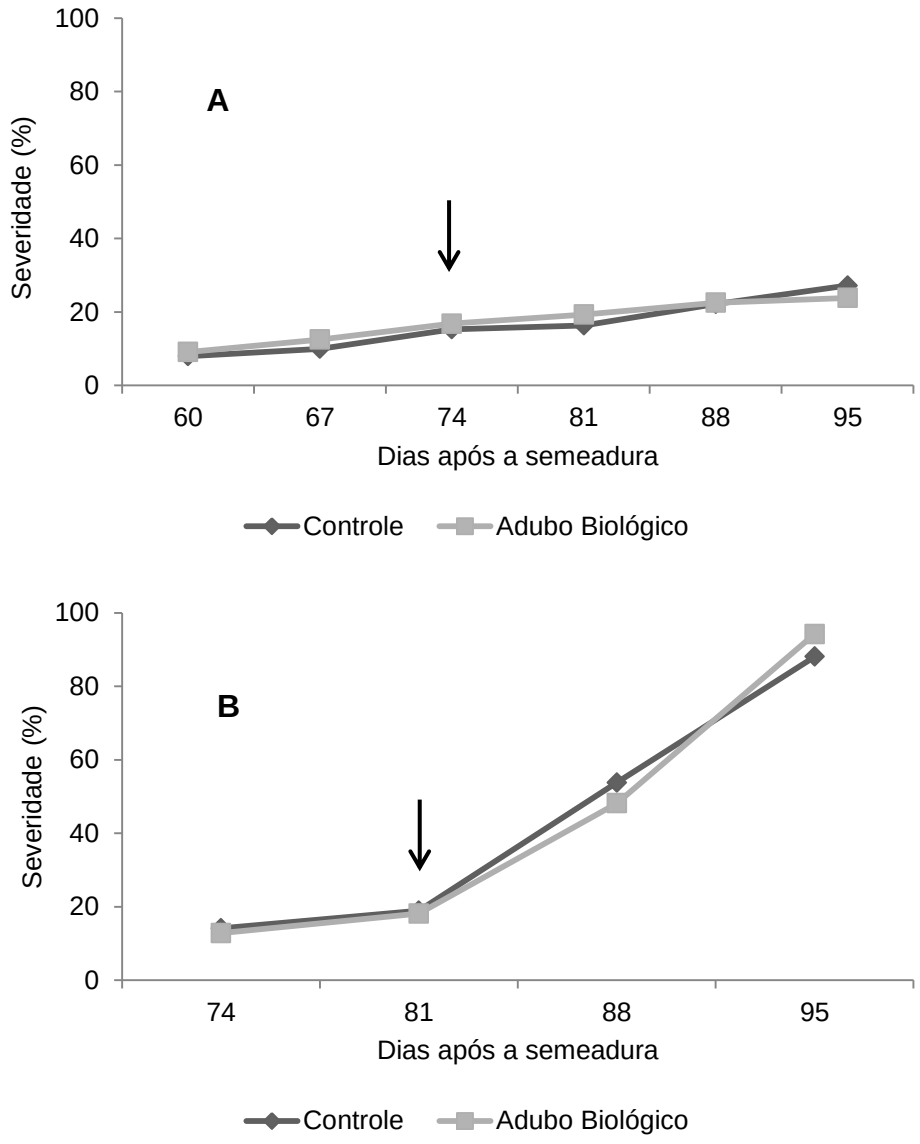


Figura 5. Severidade de antracnose em soja, observada em plantas tratadas com adubo biológico e plantas controle em experimento conduzido durante as safras 2017/18 (A) e 2018/19 (B). Setas indicam o momento de aplicação do adubo biológico na parte aérea.

Comportamento semelhante foi observado nos valores de severidade da ferrugem asiática da soja nas duas safras avaliadas, não havendo diferença de severidade para as plantas tratadas com adubo biológico e plantas controle ao longo das avaliações (Figuras 6A e 6B). Maiores valores de severidade da ferrugem asiática para os dois tratamentos podem ser observados na safra 2018/19 (Figura 6B).

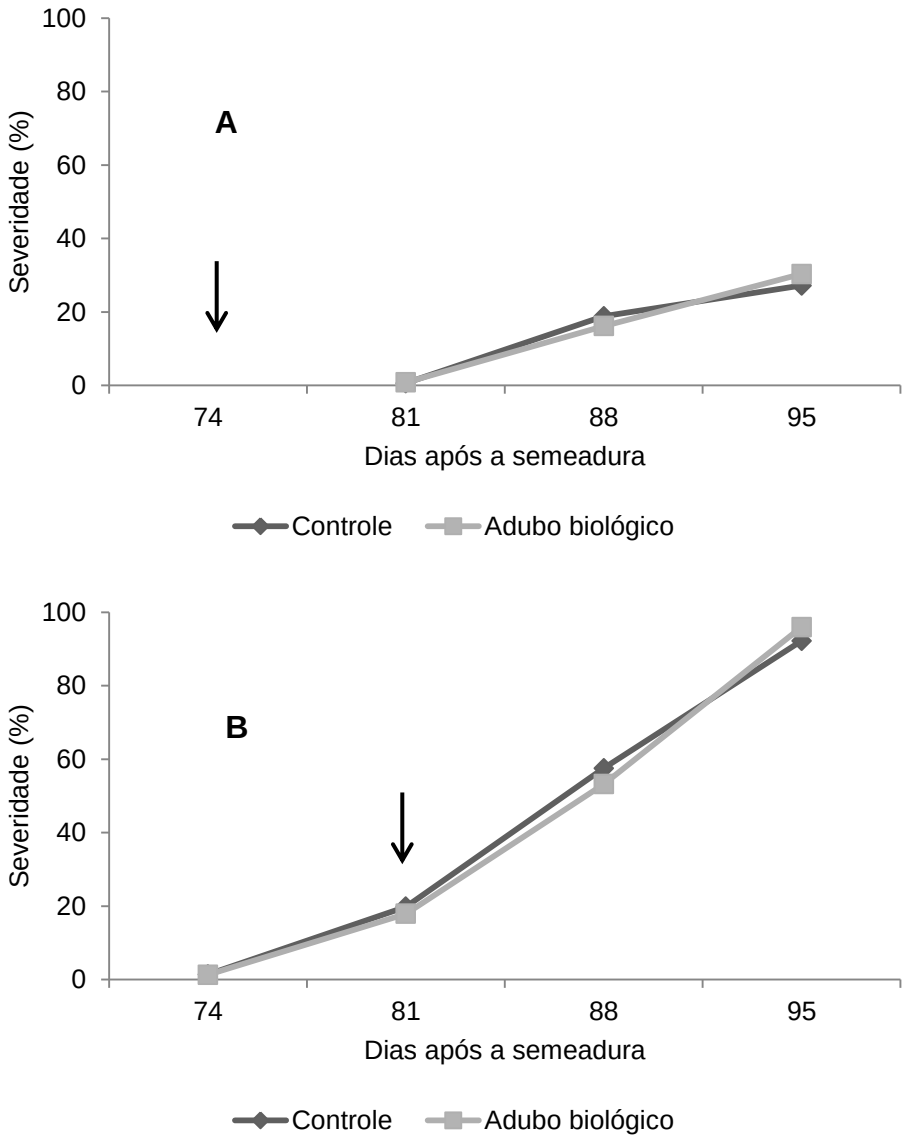


Figura 6. Severidade da ferrugem asiática da soja, observada em plantas tratadas com adubo biológico e plantas controle em experimento conduzido durante as safras 2017/18 (A) e 2018/19 (B). Setas indicam o momento de aplicação do adubo biológico na parte aérea.

Na primeira safra, não foi observado efeito indutor do adubo biológico sobre a atividade de peroxidase, que foi maior nas plantas controle às 72, 96 e 120 horas após o tratamento (HAT). No último tempo de coleta (144 HAT), a atividade de peroxidase nas plantas controle e plantas tratadas com adubo biológico se igualam (Figura 7A).

Na segunda safra, em todos os tempos avaliados pode ser observada maior atividade de peroxidase para as plantas controle (Figura 7B). Na primeira e segunda safra, a atividade de peroxidase às 72 e 96 HAT apresentaram valores semelhantes nas plantas controle, com atividade enzimática que se repete da primeira para a segunda safra nestes tempos de coleta (Figuras 7A e 7B).

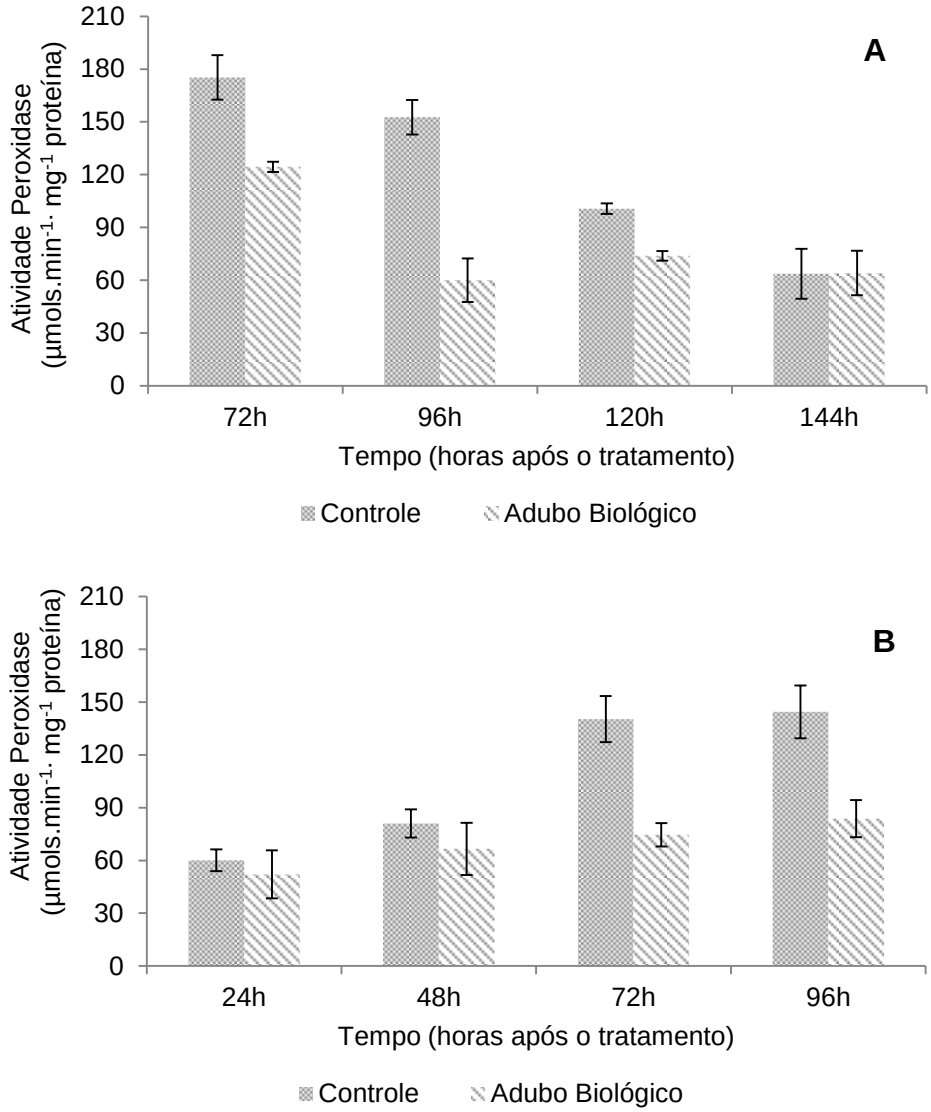


Figura 7. Atividade de peroxidase em folhas de soja para o tratamento controle (sem adubo) e tratamento com adubo biológico, coletadas com 72, 96, 120 e 144 horas na safra 2017/2018 (A) e com 24, 48, 72 e 96 horas na safra 2018/2019 (B). As barras indicam o desvio padrão para as triplicatas.

Para a β-1,3 glucanase, na primeira safra, pode-se observar um pico de atividade às 72 HAT para as plantas tratadas com adubo biológico, indicando que houve indução de resistência possivelmente devido à aplicação de adubo. A atividade se manteve maior para as plantas com adubo biológico as 96 e 144 HAT. As 120 HAT, a atividade de β-1,3 glucanase nas plantas com adubo biológico e plantas controle se igualou (Figura 8A).

Na segunda safra, a atividade de β-1,3 glucanase foi constante ao longo dos tempos de coleta para os dois tratamentos, com maior atividade observada às 72

HAT para as plantas com adubo biológico, indicando novamente que houve indução de resistência das plantas (Figura 8B). Nas duas safras houve ativação de resistência nas plantas às 72 HAT a partir do uso do adubo biológico (Figuras 8A e 8B).

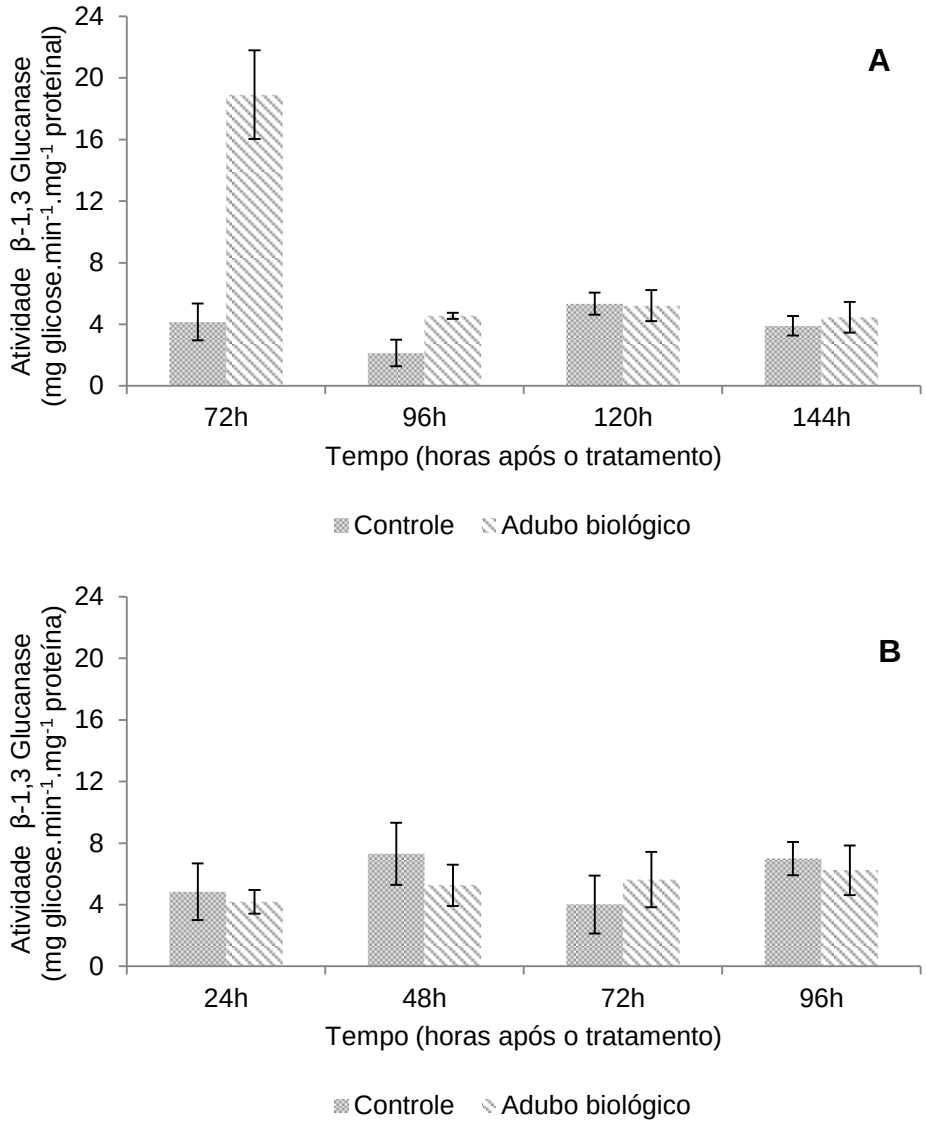


Figura 8. Atividade de β-1,3 glucanase em folhas de soja coletadas às 72, 96, 120 e 144 horas na safra 2017/2018 (A) e as 24, 48, 72 e 96 horas na safra 2018/2019 (B) para o tratamento controle (sem adubo) e tratamento com adubo biológico. As barras indicam o desvio padrão para as triplicatas.

Na safra 2017/18, os valores de produtividade da soja para as plantas com adubo biológico e plantas controle foram próximos. No entanto, na segunda safra a produtividade foi maior em 9% para as plantas com adubo biológico (Figura 9).

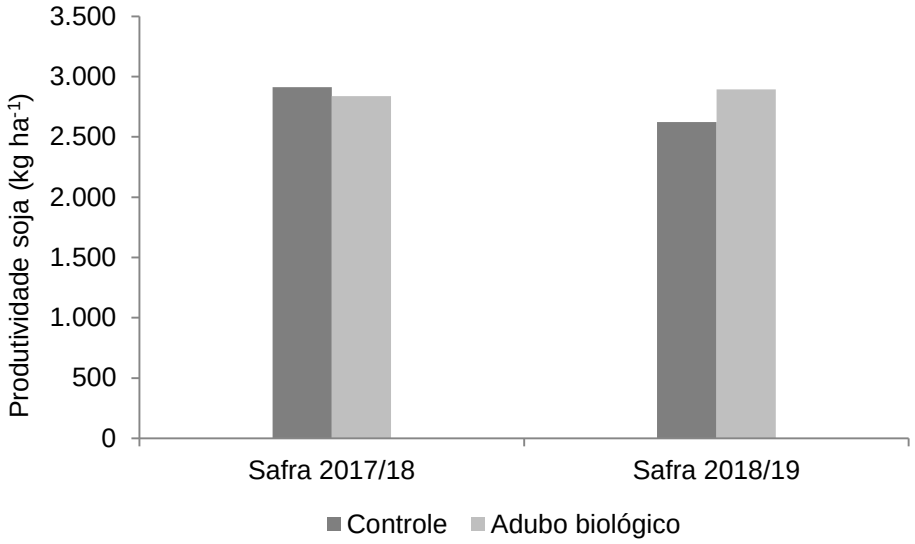


Figura 9. Produtividade da soja nas safras 2017/18 e 2018/19.

Severidade da antracnose, atividade enzimática e produtividade em milho

Nas duas safras, a severidade da antracnose seguiu a mesma tendência para as plantas com adubo biológico e plantas controle ao longo das avaliações (Figuras 10A e 10B). Na safra 2017/18 os valores de severidade apresentaram comportamento quase que constante ao longo das avaliações. O mesmo foi observado na safra 2018/19, com tendência de aumento na severidade a partir dos 95 DAS para os dois tratamentos.

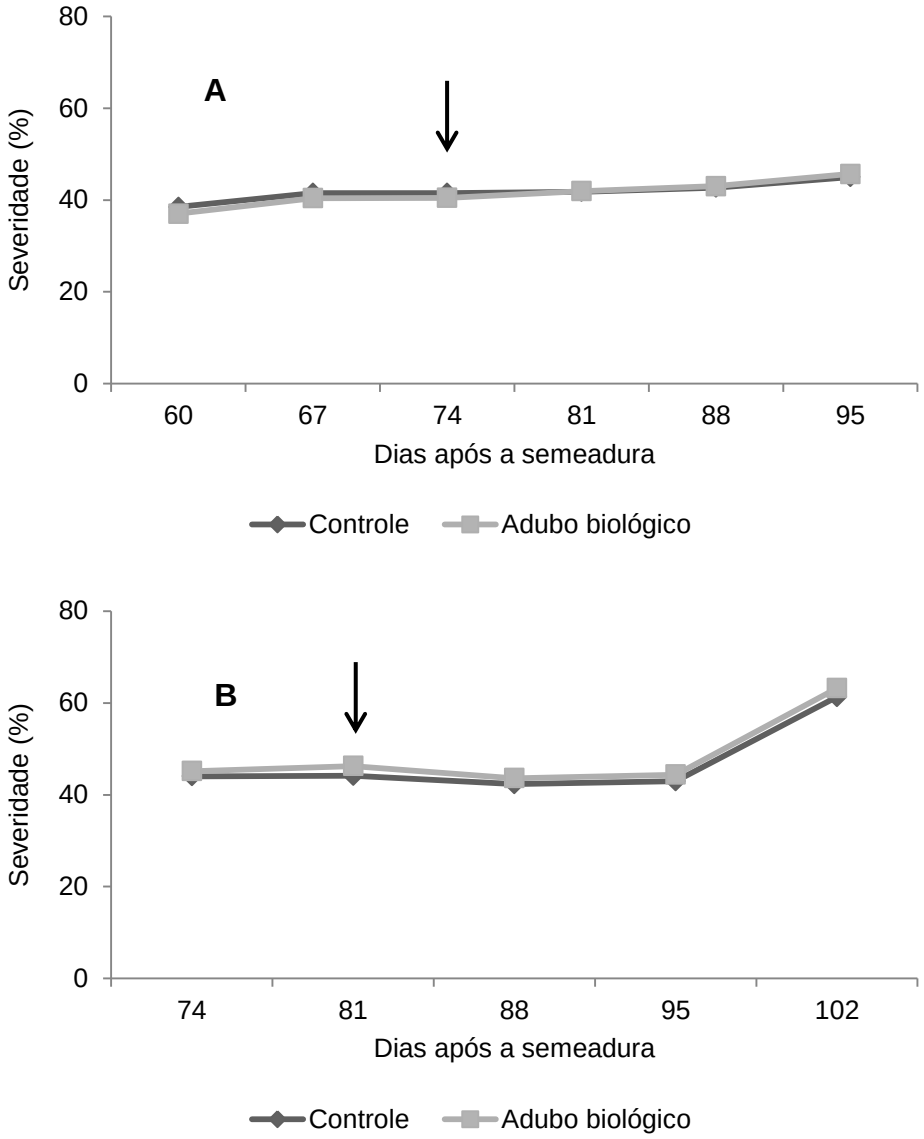


Figura 10. Severidade da antracnose em milho, observada em plantas tratadas com adubo biológico e plantas controle (sem adubo) em experimento conduzido durante as safras 2017/18 (A) e 2018/19 (B). Setas indicam o momento de aplicação do adubo biológico na parte aérea.

Na primeira safra, a atividade de peroxidase foi maior nas plantas com adubo biológico as 72, 96 e 120 HAT indicando que houve indução de resistência das plantas nesses tempos de coleta. O maior pico de atividade de peroxidase foi observado as 96 HAT. Observou-se que no último tempo avaliado (144 HAT), a atividade de peroxidase foi maior nas plantas controle (Figura 11A).

Na segunda safra, a atividade de peroxidase foi maior nas plantas controle nas primeiras 24 HAT. Nos demais tempos avaliados (48, 72 e 96 HAT) as plantas

com adubo biológico apresentaram maior atividade desta enzima, sendo o maior pico de atividade observado as 72 HAT (Figura 11B).

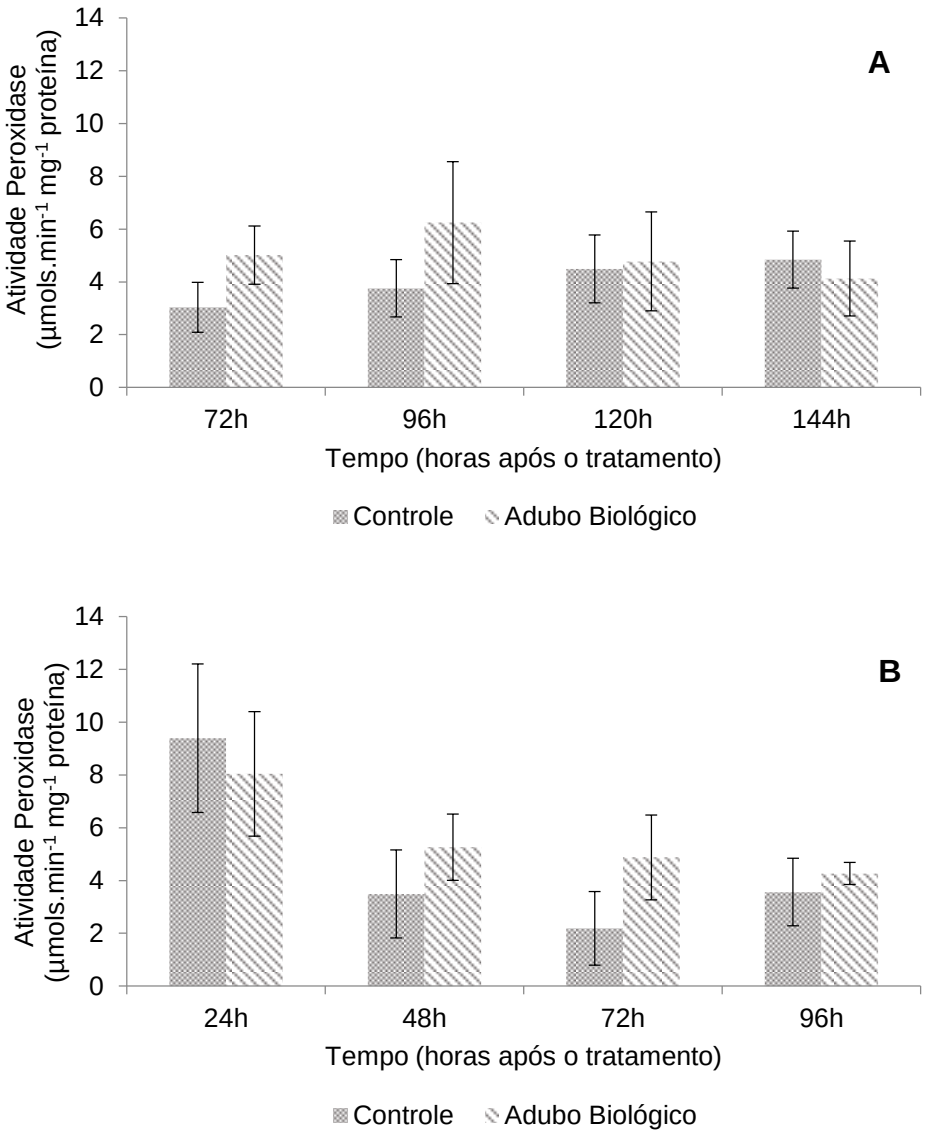


Figura 11. Atividade de peroxidase em folhas de milho coletadas às 72, 96, 120 e 144 horas na safra 2017/2018 (A) e às 24, 48, 72 e 96 horas na safra 2018/19 (B) para o tratamento controle (sem adubo) e tratamento com adubo biológico. As barras indicam o desvio padrão para as triplicatas.

Em relação à β-1,3 glucanase, na primeira safra, a atividade desta enzima foi maior nas plantas com adubo biológico em quase todos os tempos avaliados, com exceção das 144 HAT. O maior pico de atividade aconteceu as 72 HAT, com indícios de indução de resistência das plantas a partir do uso do adubo biológico (Figura

12A). Na segunda safra, maior atividade de β-1,3 glucanase nas plantas com adubo biológico foi observado às 24 e 72 HAT (Figura 12B).

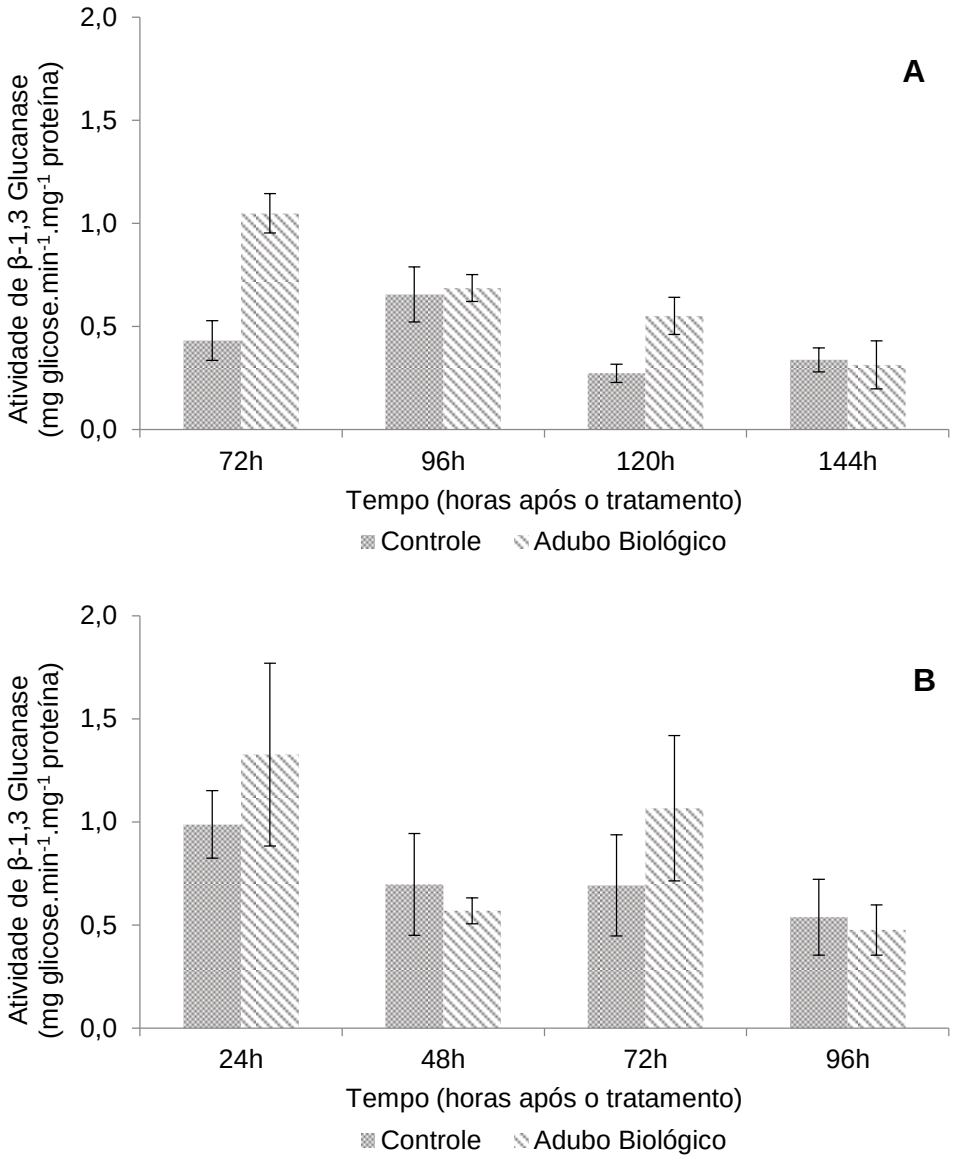


Figura 12. Atividade de β-1,3 glucanase em folhas de milho coletadas às 72, 96, 120 e 144 horas na safra 2017/2018 (A) e às 24, 48, 72 e 96 horas na safra 2018/19 (B) para o tratamento controle (sem adubo) e tratamento com adubo biológico. As barras indicam o desvio padrão para as triplicatas.

Nas duas safras foi avaliada a produtividade do milho, que na primeira safra foi maior para as plantas controle em 7%, enquanto que na segunda safra foi observado o inverso, com maior produtividade em 10% para as plantas com a presença do adubo biológico (Figura 13).

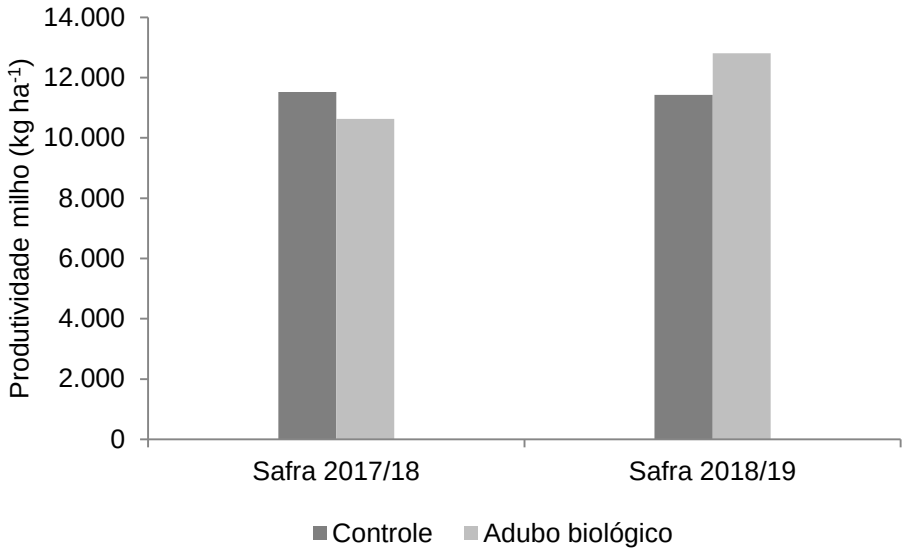


Figura 13. Produtividade do milho nas safras 2017/18 e 2018/19.

DISCUSSÃO

Severidade da antracnose e ferrugem asiática, atividade enzimática e produtividade em soja

Os maiores valores de severidade da antracnose e ferrugem asiática da soja observados na segunda safra foram influenciados pelo maior percentual de umidade relativa média (81,23%), favorecendo o processo infeccioso devido ao maior molhamento foliar. O orvalho tem grande importância no processo de infecção, onde a água livre na superfície do hospedeiro favorece a germinação dos conídios. Variações no teor de umidade juntamente com oscilações da temperatura podem determinar a duração do período de esporulação de um patógeno (Bedendo, 1995).

A antracnose da soja (*Colletotrichum truncatum*) é favorecida em condições de alta umidade, causando o apodrecimento e queda das folhas e vagens, abertura das vagens imaturas e germinação dos grãos em formação (Galli et al., 2005). Quanto à ferrugem asiática da soja, maiores percentuais de umidade ao longo do desenvolvimento da cultura contribuem para o processo de infecção do patógeno sendo necessário no mínimo 6 horas de molhamento foliar, com o máximo de infecção ocorrendo em um período de 10 a 12 horas (Henning et al., 2014).

O adubo biológico induziu resistência nas plantas de soja, aumentando a atividade de β-1,3 glucanase. A β-1,3 glucanase faz parte das proteínas relacionadas à patogênese (PRPs), degradando a parede celular dos patógenos e

liberando moléculas que agem como eliciadoras nas etapas iniciais do processo de indução de resistência (Van Loon et al., 1994).

No processo de indução, após o contato do eliciador com os tecidos da planta, genes de resistência são ativados e se expressam para a síntese dos componentes de resistência. No entanto, se não há genes de resistência a serem ativados, é impossível induzir resistência em uma planta pela exposição a um eliciador, independente de sua origem (Van Loon et al., 1998).

Para que a planta atinja o estado de indução é necessário um tempo, considerando que a expressão dos genes ativados não ocorre de maneira imediata, podendo demorar de alguns dias a uma semana para expressão de resistência (Hammerschmidt, 1999). A maior atividade de β-1,3 glucanase foi observada a partir das 72 horas após aplicação do adubo biológico nas duas safras, sendo este, o tempo mínimo necessário para que as plantas de soja, nas condições em estudo, expressassem a resistência sistêmica adquirida (RSA).

Outro comportamento observado entre os picos de atividade de β-1,3 glucanase é que após determinado tempo (96 HAT na primeira safra), a atividade enzimática apresentou tendência constante entre as plantas com adubo biológico e plantas controle, se comportando como uma resistência temporária. Este fato é relatado por Bonaldo et al. (2005), que destacam como uma desvantagem a resistência parcial, que requer reativações temporárias.

Neste estudo, não se observou relação entre a atividade enzimática nas plantas com adubo biológico e a severidade das doenças estudadas. Resultado diferente foi constatado por Araújo & Menezes (2009), ao observarem que a inoculação de *Bacillus subtilis* na rizosfera aliado o aumento da peroxidase nas folhas contribuíram para o controle de doenças foliares do tomateiro, estando fundamentado na resistência induzida. Campos et al. (2009) verificaram que o aumento da atividade da enzima β-1,3 glucanase contribuiu para a resistência do feijoeiro ao *Colletotrichum lindemuthianum*, agente etiológico da antracnose nesta cultura.

As peroxidases são de grande importante na defesa das plantas, estando envolvidas no processo de lignificação de células vegetais (Sticher et al., 1997; Stangarlin et al., 2011). A lignina e outros polissacarídeos, presentes na parede celular das plantas, funcionam como barreiras de defesa física ao ataque de patógenos (Vance et al., 1980).

Estas proteínas possuem sua atividade aumentada em situações de estresse, seja ele biótico ou abiótico (Fernandes et al., 2006) e podem ter sua atividade alterada em condições de déficit hídrico (Silva et al., 2019). Maior atividade desta enzima foi observada nas plantas controle no primeiro e segundo ano de estudos, supondo que estas plantas estariam sujeitas a algum estresse, possivelmente, de origem abiótica.

Esta hipótese baseia-se no fato de que as plantas que receberam adubo biológico, tanto em solo como na parte aérea, encontram-se mais bem nutridas e menos sujeitas a situações de estresse, quando comparadas as plantas que não receberam aplicação deste composto biológico (plantas controle). Conforme exposto por Rodrigues et al. (2009), o uso de adubo biológico proporciona melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e quando aplicado sobre as folhas, fornece macro e micronutrientes de maneira equilibrada para o desenvolvimento das plantas.

Estes fatores podem ter contribuído na maior produtividade da soja observada nas plantas com adubo biológico em segunda safra. Este resultado é reforçado por um manejo que vem sendo empregado há quatro anos na área em estudo com a aplicação do adubo biológico.

Severidade da antracnose, atividade enzimática e produtividade em milho

A resistência sistêmica adquirida (RSA), expressa tanto local como sistematicamente, está associada ao aumento da atividade de proteínas relacionadas à patogênese (PRPs) mediada pela rota metabólica do ácido salicílico (Durrant & Dong, 2004). A ativação de enzimas possibilita acompanhar o estado de indução de resistência de plantas expostas à patógenos (Macagnan et al., 2008).

No presente estudo, pode-se observar maior atividade de peroxidase nas plantas com adubo biológico em quase todos os tempos avaliados, tanto na primeira, quanto na segunda safra, sugerindo a ativação da resistência induzida nessas plantas. Como mencionado anteriormente, a participação desta enzima nos mecanismos de defesa é atribuída à capacidade em realizar a lignificação da parede celular das plantas, tornando-as mais resistentes ao ataque de patógenos (Fernandes et al., 2006). Além disso, seus produtos possuem atividade antimicrobiana direta na presença de peróxido de hidrogênio (Sticher et al., 1997).

O maior pico de atividade de peroxidase, ocorrido nas plantas com adubo biológico e nas plantas controle, aconteceu nas primeiras 24 horas, estando de acordo com Tuzun (2001) de que as peroxidases estão envolvidas nas primeiras respostas de defesa das plantas e com Macagnan et al. (2008) de que a atividade dessa enzima diminui ao longo do tempo, após exposição a um agente indutor.

O composto biológico empregado neste trabalho esta sendo estudado no controle biológico de doenças de plantas por apresentar em sua composição uma comunidade microbiana muito diversificada (Bernardo & Bettiol, 2010). O controle de doenças com o uso desse adubo, pode ocorrer tanto pela presença de metabólitos produzidos pelos micro-organismos como pela capacidade de ativarem os mecanismos de resistência após serem aplicados sobre as plantas (Bettiol et al., 1998). No entanto, é importante ressaltar, que para ser considerado indutor de resistência, este não deve possuir ação inibitória direta sobre os micro-organismos patogênicos (Kessman et al., 1994).

Do mesmo modo, as β-1,3 glucanases atuam na degradação das β-glucanas, um dos componentes abundante na parede celular dos patógenos (Wu & Bradford, 2003) impedindo desenvolvimento e avanço da doença (Lebeda et al., 2001). Os maiores níveis de atividade e a expressão de isoformas de β-1,3 glucanases foram constatados em diversos patossistemas com o uso de variedades de plantas resistentes (Tuzun, 2001).

É necessário um intervalor de tempo entre a exposição da planta a determinado indutor e a síntese alta e estável de proteínas RP para sua proteção (Steiner & Schonbeck, 1995). No presente estudo, os níveis mais altos de atividade de β-1,3 glucanase foram das 24 às 72 horas após o tratamento com adubo biológico. Picos de atividade de β-1,3 glucanase também foram observados por Suarez (2017) às 72 horas após o tratamento com adubo biológico na concentração de 1% em plantas de milho pipoca, no entanto, o produto não foi eficiente no controle da cercosporiose (*Cercospora zeae-maydis*).

No presente estudo, não houve relação positiva entre a atividade enzimática e severidade da doença. O adubo biológico não foi eficiente no controle da antracnose foliar em plantas de milho. Resultado diferente foi observado por Rodrigues et al. (2016) com redução na severidade de mancha bacteriana no tomateiro (*Xanthomonas* spp.) com a pulverização do biofertilizante líquido Agrobio.

O adubo biológico proporcionou maior produtividade do milho na safra 2018/19, o que está relacionado à sua composição e benefícios. Conforme relatado por Penteado (2007), o adubo biológico apresenta em sua composição macro e micronutrientes e micro-organismos que contribuem para a microbiota do solo, além de sais e compostos orgânicos e inorgânicos que favorecem a nutrição das plantas.

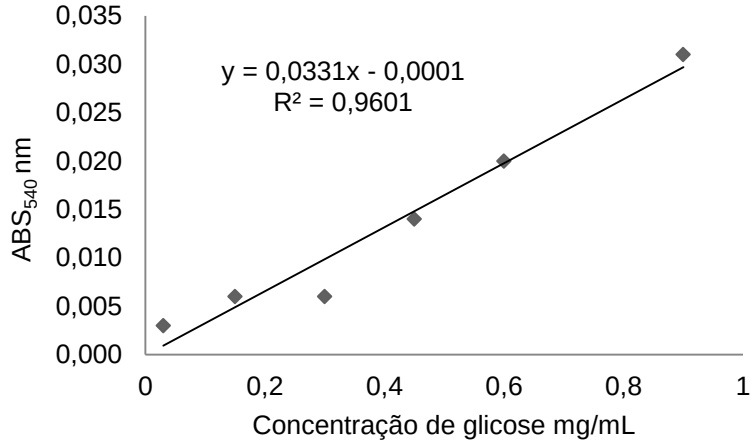
Por meio deste estudo, verificou-se que a adoção de adubo biológico com o propósito de induzir a resistência de plantas apresentou resultados positivos e promissores em apenas duas safras. No entanto, carece de mais estudos para aprimorar a metodologia no que se refere à dose do produto e o número de aplicações necessárias para proporcionar efeitos visíveis sobre a severidade das doenças nas culturas da soja e do milho.

CONCLUSÕES

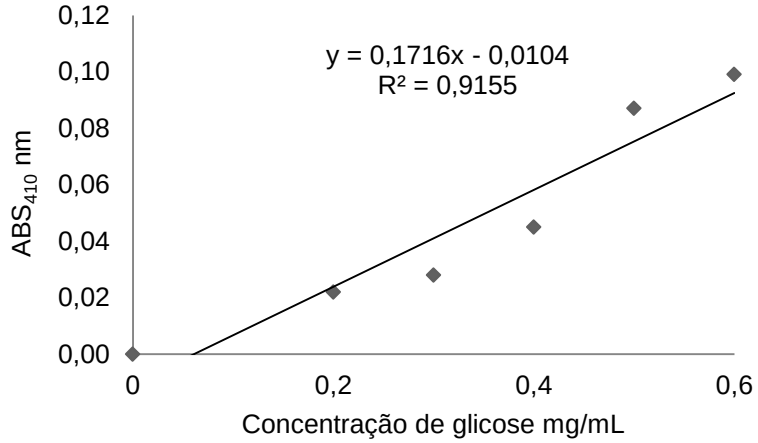
O adubo biológico induziu resistência em plantas de soja por meio da ativação da enzima de defesa β-1,3 glucanase. Não foi observado redução de severidade da antracnose e ferrugem asiática da soja. Maior produtividade foi obtida nas plantas da soja com a presença do adubo biológico na segunda safra avaliada.

Na cultura do milho, o adubo biológico atuou como elicitor na atividade das enzimas peroxidase e β-1,3 glucanase. Também não foi verificado o efeito no controle da antracnose. Assim como na soja, foi observado maior produtividade do milho com o uso do adubo biológico na segunda safra.

APÊNDICES



Apêndice A. Curva padrão para glicose a 540 nm para determinação da atividade de β-1,3 glucanase em folhas de soja.



Apêndice B. Curva padrão para glicose a 410 nm para determinação da atividade de β-1,3 glucanase em folhas de milho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agrios, G.N. **Plant pathology**. 4. ed. San Diego: Academic Press, 1997.

Almeida, A.M.R.; Ferreira, L.P.; Yorinori, T.; Silva, J.E.V.; Henning, A.A. Doenças da soja. In: Kimati, H.; Amorim, L.; Bergamin Filho, A.; Camargo, L.E.A.; Rezende, J.A.M. (Eds). **Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1997. v.2, p.596-617.

Araujo, F.F.; Menezes, D. Indução de resistência a doenças foliares em tomateiro por indutores biótico (*Bacillus subtilis*) e Abiótico (Acibenzolar-S-Metil). **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.35, n.3, p.169-172, 2009. URL: http://www.scielo.br/pdf/sp/v35n3/a01v35n3.pdf.

Ascari, J.P. **Indicadores de qualidade do solo e táticas de manejo para uma agricultura sustentável**. 2017. 93f. Tese (Mestrado em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Tangará da Serra. URL:http://portal.unemat.br/media/files/INDICADORES_DE_QUALIDADE_DO_SOLO_E_TATICAS_DE_MANEJO_PARA_UMA_AGRICULTURA_SUSTENTAVEL.pdf

Barbosa, A.S.; Medeiros, M.B. Potencial de ação elicitora dos biofertilizantes líquidos na indução de resistência sistêmica vegetal. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Dois Vizinhos, v.2, n.2, p.1453-1457, 2007. URL: http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/7392/5389.

Bedendo, I.P. Ambiente e Doença. In: Filho, A.B.; Kimati, H.; Amorim, L. (Eds). **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v.1, p.331-341.

Bergstrom, G.C.; Nicholson, R.L. The biology of corn anthracnose: knowledge to exploit for improved management. **Plant Disease**, St. Paul, v.83, n.7, p.596-608, 1999. URL: https://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PDIS.1999.83.7.596.

Bernardo, E.R.A.; Bettiol, W. Controle da pinta preta dos frutos cítricos em cultivo orgânico com agentes de biocontrole e produtos alternativos. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v.35, n.1, p.37-42, 2010. URL: http://www.scielo.br/pdf/tpp/v35n1/a06v35n1.pdf.

Bettiol, W.; Tratch, R., Galvão, J.A.H. **Controle de doenças de plantas com biofertilizantes**. Jaguariúna: Embrapa CNPMA, 1998. [Circular Técnica 02]. URL: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Circular_02_000fdro9unr02wx5eo0a2ndxyunj012j.pdf.

Bonaldo, S.M.; Pascholati, S.F.; Romeiro, R.S. Indução de resistência: noções básicas e perspectivas. In: Cavalcanti, L.S.; Di Piero, R.M.; Cia, P.; Pascholati, S.F.; Resende, M.L.V.; Romeiro, R.S. **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: FEALQ, 2005. p.11-28.

Bradford, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, Amsterdã, v.72, p.248-254, 1976.

Campos, A.D.; Hampe, M.M.V.; Ferreira, A.G.; Antunes, I.F.; Castro, L.A.S. Indução de resistência sistêmica à antracnose em feijoeiro-comum pela raça delta avirulenta de *Colletotrichum lindemuthianum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, p.15-21, 2009. URL: http://www.scielo.br/pdf/pab/v44n1/03.pdf.

Chance, B.; Maehley, A.C. Assay of catalases and peroxidases. **Methods in Enzymology**, Cambridge, v.2, p.764-775, 1955.

Costa, I.F.D.; Balardin, R.S.; Medeiros, L.A.M.; Lenz, G.; Gulart, C.A.; Zemolin, C.R.; Silva, T.M.B. Reação de germoplasma comercial de soja a *Colletotrichum truncatum*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v.34, n.1, p.47-50, 2009.URL: http://www.scielo.br/pdf/tpp/v34n1/a09v34n1.pdf

Cota, L.V.; Costa, R.V.; Silva, D.D.; Casela, C.R.; Pareira, D.F. Quantification of yield losses due to anthracnose stalk rot on corn in Brazilian conditions. **Journal of Phytopathology**, Gotinga, v.160, p.680-684, 2012.

Durrant, W.E.; Dong, X. Systemic acquired resistance. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.42, p.185-209, 2004.

Elsharkawy, M.M.; Shimizu, M.; Takahashi, H.; Hyakumachi, M. Induction of systemic resistance against Cucumber mosaic virus by *Penicillium simplicissimum* GP17-2 in Arabidopsis and tobacco. **Plant Pathology**, Hoboken, v.61, p.964-976, 2012.

Fernandes, C.F.; Moraes, V.C.P.; Oliveira, J.T.A. **Determinação da atividade peroxidásica em cultivares de feijão-caupi (Vigna unguiculata) tratados com ácido salicílico**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2006. [Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 41]. URL: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/710701/1/bpd41feijaocaupi.pdf.

Ferreira, A.S.; Casela, C.R. Raças patogênicas de Colletotrichum graminicola, agente causal da antracnose do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.11, p.83-86, 1986.

Galli, J.A.; Panizzi, R.C.; Fessel, A.S.; Simoni, F.; Fumikoito, M. Efeito de *Colletotrichum dematium* var. *truncata* e *Cercospora kikuchii* na germinação de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Pelotas, v.27, n.1, p.182-189, 2005.URL: http://www.scielo.br/pdf/rbs/v27n2/a26v27n2.pdf.

Godoy, C.V.; Koga, L.J.; Canteri, M.G. Diagramatic scale for assessment of soybean rust severity. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v.31, p.63-68, 2006. URL: http://www.scielo.br/pdf/fb/v31n1/a11v31n1.pdf.

Guerra, A.M.N.M.; Rodrigues, F.A.; Berger, P.G.; Barros, A.F.; Silva, Y.C.R.; Lima, T.C. Aspectos bioquímicos da resistência do algodoeiro à ramulose potencializada pelo silício. **Bragantia**, Campinas, v.72, n.3, p.292-303, 2013. URL: http://www.scielo.br/pdf/brag/v72n3/12.pdf.

Hammerschmidt, R.; Nuckles, E.M.; Kuc', J. Association of enhanced peroxidase activity with induced systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum lagenarium*. **Physiological Plant Pathology**, Amsterdã, v.20, p.73-82, 1982.

Hammerschmidt, R. Induce disease resistance: how do induced plants stop pathogens?. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, Amsterdã, v.55, p.77-84, 1999.

Henning, A.A.; Almeida, A.M.R.; Godoy, C.V.; Seixas, C.D.S.; Yorinori, J.T.; Costamilan, L.M.; Ferreira, L.P.; Meyer, M.C.; Soares, R.M.; Dias, W.P. **Manual de identificação de doenças de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2014. [Documentos 256]. URL: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105942/1/Doc256-OL.pdf.

Kar, M.; Mishra, D. Catalase, peroxidase and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. **Plant Physiology**, Rockville, v.57, p.315-319, 1976. URL: http://www.plantphysiol.org/content/plantphysiol/57/2/315.full.pdf.

Kessman, H.; Staub, T.; Hofmann, C.; Maetzke, T.; Herzog, J.; Ward, E.; Uknes, S.; Ryals, J. Induction of systemic acquired disease resistance in plants by chemicals. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.32, p.439-459, 1994.

Kvaratskhelia, M.; Winkel, C.; Thorneley, R.N.F. Purification and characterization of a novel class of peroxidase isoenzyme from tea leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v.114, p. 1237-1245, 1997.

Lebeda, A.; luhová, L.; Sedlárová, M.; Jancová, D. The role of enzymes in plant-fungal pathogens interactions: review. **Journal of Plant Diseases and Protection**, Berlin, v.108, n.1, p.89-111, 2001.

Lever, M. A new reaction for colorimetric determination of carbohydrates. **Analytical Biochemistry**, Amsterdã, v.47, p.273-279, 1972.

Lusso, M.F.G.; Pascholati, S.F. Activity and isoenzymatic pattern of soluble peroxidases in maize tissues after mechanical injury or fungal inoculation. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.25, n.3, p.244-249, 1999.

Macagnan, D.; Romeiro, R.S.; Baracat-Pereira, M.C.; Lanna-Filho, R.; Batista, G.S.; Pomella, A.W.V. Atividade de enzimas associadas ao estado de indução em mudas de cacaueiro expostas a dois actinomicetos residentes de filoplano. **Summa Phytopathologica**, Botucatu, v.34, n.1, p.34-37, 2008. URL: http://www.scielo.br/pdf/sp/v34n1/a07v34n1.pdf.

Manandhar, J.B.; Hartman, G.L. Anthracnose. In: Hartman GL, Sinclair JB, Rupe JC (Eds.) **Compendium of soybean diseases**, Minnesota: APS, 2008. p. 13-14.

Mckinney, H.H. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedings by *Helminthosporium sativum*. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v.26, n.5, p.195-217, 1923.

Métraux, J-P. Systemic acquired resistance and salicylic acid: current state of knowledge. **European Journal of Plants Pathology**, Berlin, v.107, p.13-18, 2001.

Moreira, M.L.C.; Vasconcelos, T.N.N. **Mato Grosso:** solos e paisagens. Cuiabá: Entrelinhas, 2007. 272p.

Nunes, U.M.; Leal, M.L.S. Efeitos de aplicação de biofertilizante e outros produtos químicos e biológicos no controle da broca pequena do fruto e na produção do tomateiro tutorado em duas épocas de cultivo e dois sistemas de irrigação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.19, n.1, p.53-59, 2001. URL: http://www.scielo.br/pdf/hb/v19n1/v19n1a11.

Parada, R.Y.; Egusa, M.; Aklog, Y.F.; Miura, C.; Ifuku, S.; Kaminaka, H. Optimization of nanofibrillation degree of chitin for induction of plant disease resistance: Elicitor activity and systemic resistance induced by chitin nanofiber in cabbage and strawberry. **International Journal of Biological Macromolecules**, Amsterdã, v.118, p.2185-2192, 2018.

Pascholati, S.F.; Leite, B. Hospedeiro: mecanismos de resistência. In: Filho, A.B.; Kimati, H.; Amorim, L. (Eds.) **Manual de Fitopatologia: Princípios e Conceitos**. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1995. v.1, p.417-452.

Penteado, S.R. **Adubação orgânica:** preparo de compostos e biofertilizantes. 2. ed. Campinas: Via orgânica, 2007.

Rodrigues, A.C.; Cavalcante, L.F.; Oliveira, A.P.; Souza, J.T.; Mesquita, F.O. Produção e nutrição mineral do maracujazeiro-amarelo em solo com biofertilizante supermagro e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.2, p.117-124, 2009. URL: http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n2/v13n02a02.

Rodrigues, V.W.B.; Bueno, T.V.; Tebaldi, N.D. Biofertilizantes no controle da mancha bacteriana (*Xanthomonas* spp.) do tomateiro. **Summa Phytopathologica**, Botucatu,

v.42, n.1, p.94-96, 2016. URL: http://www.scielo.br/pdf/sp/v42n1/0100-5405-sp-42-1-0094.pdf.

Romeiro, R.S.; Garcia, F.A.O. Indução de resistência em plantas a patógenos por eliciadores de natureza bacteriana. In: Bettiol, W.; Morandi, M.A.B. (Eds.) **Biocontrole de doenças de plantas:** uso e perspectivas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p.85-99. URL: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/17182/1/livro_biocontrole.pdf.

Saeed, S.; Butt, B.Z.; Sana, N.; Javaid, A. Biological control of *Sclerotium rolfsii* through the leaf extract of *Melia azedarach* L. and *Syzigium cumini*. **Journal of Medicinal Plants Studies**, Delhi, v.4, n.5, p.259-261, 2016.

Silva, I.P.F.; Queiroz, M.S.; Lima, I.M.O.; Guimarães, V.F.; Steiner, F.; Zoz, T. Atividade da enzima peroxidase como indicativo de tolerância a deficiência hídrica em algodão. In: Congresso Brasileiro do Algodão, 12, 2019, Goiânia. **Anais**. Goiânia: ABRAPA, EMBRAPA, 2019. p. 17.

Silva, J.M. **Diversidade fúngica, seleção de genótipos e indução de resistência a *Colletotrichum* sp. em Heliconiaceae**. 2018. 85f. Tese (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade do Estado de Mato Grosso, Tangará da Serra. URL: http://portal.unemat.br/media/files/Dissertacao_Jessica%20Moreira%20e%20Silva.pdf.

Sousa, D.M.G.; Lobato, E. **Cerrado:** correção do solo e adubação. 2.ed. Brasília: Embrapa, 2004.

Souza, F.R.; Junior, E.J.R.; Fietz, C.R.; Bergamin, A.C.; Venturoso, L.R.; Rosa, Y.B.C.J. Atributos físicos e desempenho agronômico da cultura da soja em um Latossolo Vermelho Distroférrico submetido a dois sistemas de manejos. **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v.34, n.6, p.1357-1364, 2010. URL: http://www.scielo.br/pdf/cagro/v34n6/01.pdf.

Stangarlin, J.R.; Kuhn, O.J.; Toledo, M.V.; Portz, R.L.; Schwan-Estrada, K.R.F.; Pascholati, S.F. A defesa vegetal contra fitopatógenos. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v.10, n.1, p.18-46, 2011. URL: http://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/5268/3929.

Steiner, U; Schönbeck, F. Induced disease resistance in monocots. In: Hammerschmidt R, Kuc J (Eds.) **Induced resistance to disease in plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995. p.86-110.

Sticher, L.; Mauch Mani, B.; Metraux, J.P. Systemic acquired resistance. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.35, p. 235-270, 1997.

Suárez, D.F.P. **Produtos naturais fermentados: Ativação de mecanismos de defesa e controle de cercosporiose em milho pipoca**. 2017. 75f. Tese (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá. URL: http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/4636/2/DAVID%20FERNANDO%20POSSO%20SUAREZ.pdf.

Teixeira, F.F.; Costa, F.M. **Caracterização de Recursos Genéticos de Milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. [Comunicado Técnico 185].URL: https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/883797/caracterizacao-de-recursos-geneticos-de-milho.

Tuzun, S. The relationship between pathogen-induced systemic resistance (ISR) and multigenic (horizontal) resistance in plants. **European Journal of Plant Pathology**, Berlin, v.107, p.85-93, 2001.

Van Lonn, L.C.; Bakker, P.A.H.M.; Piterse, C.M.J. Systemic resistance induced by rhizosphere bacteria. **Annual Review of Phytopathology**, v.36, p.453-483, 1998.

Van Loon, L.C.; Pierpoint, W.S.; Boller, T.; Conejero, V. Recommendations for naming plant pathogenesis-related proteins. **Plant Molecular Biology Reporter**, Berlin, v.12, n.3, p.245-264, 1994.

Vance, C.P.; Kirk, T.K.; Sherwood, R. Lignification as a mechanism of disease resistance. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v.18, p.259-288, 1980.

Vogelsang, R.; Barz, W. Purification, characterization and differential hormonal regulation of a β-1,3 glucanase and two chitinases from chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Planta**, Amsterdã, v.189, p.60-69, 1993.

Wu, C.T.; Bradford, K.J. Class I chitinase and β-1,3-Glucanase are differentially regulated by wounding, methyl jasmonate, ethylene, and gibberellin in tomato seeds and leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v.133, p.263-273, 2003.

Yorinori, J.T.; Nunes Junior, J.; Lazzarotto, J.J. **Ferrugem “Asiática” da soja no Brasil:** evolução, importância econômica e controle. Londrina: Embrapa Soja, 2004. [Documentos 247].

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os atributos químicos, físicos, microbiológicos e enzimáticos apresentaram alterações positivas com o uso do adubo biológico e plantas de cobertura em solo cultivado com soja. Houve incrementos em produtividade com o plantio sobre a palhada de milheto e crotalária na safra 2017/18.

No milho, o adubo biológico e plantas de cobertura contribuíram para melhoria dos atributos avaliados. No entanto, a atividade enzimática do solo não foi influenciada pelo uso do adubo biológico. A palhada de crotalária juntamente com o adubo biológico aumentou a produtividade do milho na safra 2018/19.

A aplicação do adubo biológico na parte aérea das plantas de soja e milho teve efeito indutor de resistência, aumentando a atividade de β-1,3 glucanase em soja e peroxidase e β-1,3 glucanase em milho. No entanto, não mostrou-se eficiente no controle de doenças.

Portanto, o adubo biológico e as plantas de cobertura melhoram a qualidade do solo e o rendimento das culturas, contribuindo para um sistema de produção agrícola sustentável. O uso do adubo biológico mostrou-se promissor na ativação do sistema de defesa das plantas contra fitopatógenos, devendo-se dar continuidade na pesquisa tentando-se novas concentrações em busca de respostas sobre o seu efeito no controle de doenças e na ativação de diferentes mecanismos de defesa das plantas.