



ALINE DE JESUS FRANCO

**BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM
SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

**LAVRAS-MG
2019**

ALINE DE JESUS FRANCO

**BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM
SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte da exigência do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração: Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do solo, para obtenção de título de Mestre.

Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro
Orientador

Prof. Dr. Edicarlos Damacena de Souza
Coorientador

**LAVRAS - MG
2019**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Franco, Aline de Jesus.

Bioindicadores de qualidade do solo em sistemas integrados de produção agropecuária / Aline de Jesus Franco. - 2019.

75 p. : il.

Orientador(a): Marco Aurélio Carbone Carneiro.

Coorientador(a): Edicarlos Damacena de Souza.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Solos. 2. Diversidade de plantas. 3. Pastejo. I. Carneiro, Marco Aurélio Carbone. II. Souza, Edicarlos Damacena de. III. Título.

ALINE DE JESUS FRANCO

**BIOINDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO EM
SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA**

**SOIL QUALITY BIOINDICATORS IN INTEGRATED
AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEMS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte da exigência do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração: Biologia, Microbiologia e Processos Biológicos do solo, para obtenção de título de Mestre.

APROVADA em 08 de agosto de 2019.

Dr. Anibal de Moraes UFPR
Dra. Tangriani Simioni Assmann UTFPR

Prof. Dr. Marco Aurélio Carbone Carneiro
Orientador

Prof. Dr. Edicarlos Damacena de Souza
Coorientador

**LAVRAS - MG
2019**

Aos meus queridos pais, Elivânia de Jesus Franco e Manoel Hugo Silva Franco, por ensinar-me o caminho certo da vida e serem meus grandes incentivadores na busca dos meus objetivos.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por todo discernimento diante dos obstáculos;

Aos meus pais que amo incondicionalmente, *Elivânia Franco* e *Manoel Hugo Franco*;

Às minhas irmãs que sempre me apoiam e incentivam *Adriana*, *Andréia* e *Pamela*.

Aos meus amados sobrinhos, *Alice*, *Enzo* e *Emanuele*.

Aos meus avós por todo amor, *Maria*, *Júlia* e *Valdim*;

Ao *Filipe*, pelo incentivo, paciência e bons sentimentos;

Às minhas queridas primas *Alana*, *Cristiane* e *Denise*;

Às queridas amigas, sempre me apoiando, *Sâmia*, *Fabiana*, *Luíza*, *Suellen*, *Lorena*, *Wérica*, *Mariela*, *Elzélia* e *Sílvia*;

Às amigas que construí ao longo dessa caminhada tornando a vida mais fácil, *Déborah*, *Amanda*, *Carol*, *Júlia* e *Rafael*.

À minha querida amiga *Ana Paula*, por toda colaboração, sempre estivera me apoiando e incentivando;

Às pós-doc, por todo auxílio e amizade, Dra. *Aline Oliveira Silva* e Dra. *Marisângela Viana Barbosa*.

Ao técnico do laboratório *Paulo Carvalho*, por sua amizade paciência e colaboração;

A equipe do laboratório pela partilha de experiências, *Edér*, *Carin*, *Flávia*, *Alexandre*, *Joana*, *Raquel*, *Flávia*, *Taynara*, *Flávio* e *Jessé*.

Ao meu orientador Dr. *Marco Aurélio Carbone Carneiro*, pelo ensinamento, amizade e toda paciência.

Ao grupo de estudo GPISI e ao professor Dr. *Edicarlos Damacena de Souza*, por todo apoio e ensinamento.

A todos os professores e demais funcionários do Departamento de Ciência do Solo da UFLA pela convivência, ensinamentos, amizade e paciência;

À UFMT, FAPEMIG, CNPq, IMA e Fazenda Girassol.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS), pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

A crescente produção de alimentos impulsionou a expansão das áreas agrícolas no país, principalmente no bioma Cerrado, ocorrendo o uso dos diferentes tipos de solos existentes. Mas, para isso, tornou-se necessário a adoção de alternativas viáveis para melhoria dos sistemas de produção, técnicas de manejo como os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA), plantio direto, rotação de cultura, consórcio e diversidade de plantas. O manejo adotado, reflete no solo através do comportamento de seus parâmetros químico, físicos e biológicos, e comumente estudos desses tem sido realizados para verificar a sua qualidade. Portanto, essa pesquisa consiste em avaliar a interferência da diversidade de plantas e entrada de animais em SIPA e o seu efeito nos parâmetros bioquímicos do solo em um Latossolo Vermelho distrófico e em um Neossolo Quartzarênico. O estudo consistiu na avaliação de dois experimentos instalados no estado do Mato Grosso. Um dos experimentos foi realizado na Fazenda Girassol, localizada no município de Pedra Preta, o solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico. O delineamento foi em blocos casualizados com três repetições, consistiram em: D0 - *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás cultivo solteiro; D1 – Paiaguás e feijão caupi (*Vigna unguiculata*); D2 – Paiaguás, feijão caupi e niger (*Guizotia abyssinica*); D3 – Paiaguás, feijão caupi, niger, trigo mourisco (*Fogopyrum esculentum*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*); SP - Paiaguás cultivo solteiro sem animais. O outro experimento foi realizado no Instituto Mato-grossense do Algodão (IMA), na cidade de Rondonópolis, e o solo foi um Neossolo Quartzarênico. O delineamento foi em blocos casualizados com três repetições, os tratamentos consistiram: S1 – Pousio; S2 – *Urochloa ruziziensis*, niger e nabo forrageiro; S3 - *U. ruziziensis*, niger, nabo forrageiro e estilosante; S4 - *U. ruziziensis* e Mamona; S5 - *U. ruziziensis*, niger, nabo forrageiro, estilosante e animais. Em ambos experimentos os parâmetros bioquímicos avaliados foram: carbono da biomassa microbiana (CMB), respiração basal do solo (RBS), atividade enzimática (fosfatase ácida, hidrólise do diacetato de fluoresceína, urease e β -glicosidase) e glomalina total. Na Fazenda girassol o CBM (233,63 - 333,39 $\mu\text{g g}^{-1}$) e glomalina não diferiram entre os tratamentos pelo teste Tukey 5% após implantação de SIPA. As enzimas fosfatase ácida, β -glicosidase e urease foram os parâmetros mais sensíveis em diferenciar os manejos adotados. Já no experimento do IMA os valores de CBM diferiram pelo teste de Tukey a 5%, com valores de 86 a 190 $\mu\text{g g}^{-1}$, com os maiores nos tratamentos S3 e S5 que são as áreas com maior diversidade de plantas. A atividade enzimática do solo foi sensível em verificar as diferenças entre os manejos adotados, onde a β -glicosidase variou de 389 a 642 $\mu\text{g p-n g}^{-1}$ e a urease de 1,6 a 5,5 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Os parâmetros bioquímicos foram sensíveis em indicar os melhores Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) mesmo no curto período de tempo de implantação.

Palavras-chave: solos. Diversidade de plantas. Pastejo.

ABSTRACT

The growing food production has driven the expansion of agricultural areas in the country, especially in the Cerrado biome, with the use of different types of existing soil. But for this, it became necessary to adopt viable alternatives to improve production systems, management techniques such as Integrated Agricultural Production Systems (SIPA), no-tillage, crop rotation, intercropping and plant diversity. The adopted management reflects in the soil through the behavior of its chemical, physical and biological parameters, and commonly studies of these have been performed to verify its quality. Therefore, this research is to evaluate the interference of plant diversity and animal intake in SIPA and its effect on soil biochemical parameters in a Oxisols (Latosolo Vermelho distrófico) and a Entisols (Neossolo Quartzarênico). The study consisted of the evaluation of two experiments installed in the state of Mato Grosso. One of the experiments was carried out at Fazenda Girassol, located in the municipality of Pedra Preta, the soil of the area is classified as Oxisols (Latosolo Vermelho distrófico). The randomized block design with three replications consisted of: D0 - *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás single cultivation; D1 - Paiaguás and cowpea (*Vigna unguiculata*); D2 - Paiaguás, cowpea and niger (*Guizotia abyssinica*); D3 - Paiaguás, cowpea, niger, buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) and forage turnip (*Raphanus sativus*); SP - Paiaguás single cultivation without animals. The other experiment was carried out at the Mato Grosso Cotton Institute (IMA), in the city of Rondonópolis, and the soil was a Entisols (Neossolo Quartzarênico). The design was in randomized blocks with three replications. The treatments consisted of: S1 - Fallow; S2 - *Urochloa ruziziensis*, niger and forage turnip; S3 - *U. ruziziensis*, niger, forage turnip and styling; S4 - *U. ruziziensis* and castor bean; S5 - *U. ruziziensis*, niger, forage turnip, styling and animals. In both experiments the biochemical parameters evaluated were: microbial biomass carbon (CMB), soil basal respiration (RBS), enzymatic activity (acid phosphatase, fluorescein diacetate hydrolysis, urease and β -glycosidase) and total glomalin. At the Sunflower Farm the CMB (233.63 - 333.39 $\mu\text{g g}^{-1}$) and glomalin did not differ between treatments by Tukey test 5% after SIPA implantation. The enzymes acid phosphatase, β -glycosidase and urease were the most sensitive parameters in differentiating the adopted managements. In the IMA experiment, CMB values differed by the Tukey test at 5%, with values from 86 to 190 $\mu\text{g g}^{-1}$, with the highest in treatments S3 and S5, which are the areas with the highest plant diversity. The enzymatic activity of the soil was sensitive to verify the differences between the adopted managements, where β -glucosidase ranged from 389 to 642 $\mu\text{g p-n g}^{-1}$ and urease from 1.6 to 5.5 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{ h}^{-1}$. The biochemical parameters were sensitive in indicating the best Integrated Agricultural Production Systems (SIPA) even in the short period of implementation.

Keywords: soil. Plant diversity. Grazing.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT). 34
- Figura 2.** Atividade fosfatase ácida do solo sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense, antes da implantação (Primeira coleta) e após (Segunda coleta). 40
- Figura 3.** Atividade da enzima β -Glicosidase do solo sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense, antes da implantação (Primeira coleta) e após (Segunda coleta). 40
- Figura 4.** Atividade da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) do solo sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense, antes da implantação (Primeira coleta) e após (Segunda coleta). 41
- Figura 5.** Atividade enzimática da urease do solo sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense, antes da implantação (Primeira coleta) e após (Segunda coleta). 42
- Figura 6.** Teores de COT (carbono orgânico total) e NT (nitrogênio total) em Neossolo Quartzarênico, sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense, após implantação. 60
- Figura 7.** Esquema de funcionamento do sistema integrado com animais e diversidade de plantas. 74

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Características químicas da área de estudo referente a primeira e segunda coleta.
..... **28**
- Tabela 2** - Carbono orgânico total e Parâmetros bioquímicos do solo sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense, antes da implantação (Primeira coleta) e após (Segunda coleta). (D0 – *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás cultivo solteiro; D1 – Paiaguás e feijão caupi; D2 – Paiaguás, feijão caupi e niger; D3 - Paiaguás com feijão caupi, niger, trigo mourisco e nabo forrageiro; SP - Paiaguás cultivo solteiro sem animais).
..... **36**
- Tabela 3** – Fatores de sensibilidade relativa dos parâmetros bioquímicos do solo na comparação entre os tratamentos com maior e menor diversidade de plantas, com e sem pastejo.
..... **43**
- Tabela 4** - Composição dos tratamentos, semeadura e matéria seca. **55**
- Tabela 5** - Caracterização química da área de estudo, antes e após implantação do experimento.
..... **56**
- Tabela 6** - Parâmetros bioquímicos do solo sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense em um Neossolo Quartzarênico, antes da implantação (1ª coleta) e após (2ª coleta). Sendo: S1 – Pousio; S2 – *Urochloa ruziziensis*, niger e nabo forrageiro; S3 - U. ruziziensis, niger, nabo forrageiro e estilosante; S4 - U. ruziziensis e Mamona; S5 - U. ruziziensis, niger, nabo forrageiro, estilosante e animais. **62**
- Tabela 7**- Atividade enzimática em Neossolo Quartzarênico, sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense, antes da implantação (1ª Coleta) e após implantação (2ª Coleta). S1 – Pousio; S2 – *Urochloa ruziziensis*, niger e nabo forrageiro; S3 - U. ruziziensis, niger, nabo forrageiro e estilosante; S4 - *Urochloa ruziziensis* e Mamona; S5 - U. ruziziensis, niger, nabo forrageiro, estilosante e animais. **65**
- Tabela 8** – Fatores de sensibilidade relativa dos parâmetros bioquímicos do solo na comparação entre os tratamentos com maior e menor diversidade de plantas, com e sem pastejo.
..... **68**

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Diversidade de planta	13
2.2 Serviços ecossistêmicos – Atividade biológica e bioquímica do solo	15
2.3 Sistema Integrado de Produção Agropecuária – SIPA	17
REFERÊNCIAS	19
CAPÍTULO 1 QUALIDADE BIOQUÍMICA DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA COM CONSÓRCIO NO CERRADO MATO-GROSSENSE	
1 INTRODUÇÃO	27
2 MATERIAL E MÉTODOS	28
2.1 Caracterização da área	28
2.2 Análises bioquímicas	30
2.2.1 Estimativa do carbono da biomassa microbiana (CBM)	30
2.2.2 Respiração basal do solo	31
2.2.3 Quociente metabólico do solo (qCO_2)	31
2.2.4 β -glicosidase	31
2.2.5 Fosfatase ácida	32
2.2.6 Urease	32
2.2.7 Hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)	32
2.2.8 Quantificação da Glomalina	33
2.3 Análise Estatística	33
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
3.1 COT (carbono orgânico total) e NT (nitrogênio total)	33
3.2 Carbono da biomassa microbiana (CBM) e $qMic$	35
3.3 Respiração e qCO_2	38
3.4 Atividade enzimática do solo	39
3.5 Comparação de diversidade de plantas e pastejo	43
4 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS	45
CAPÍTULO 2 COMPORTAMENTO DOS PARÂMETROS BIOQUÍMICOS DO SOLO EM UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO NO CERRADO MATO-GROSSENSE SUBMETIDO A DIVERSIDADE DE PLANTAS SOB SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	
1 INTRODUÇÃO	53
2 MATERIAL E MÉTODOS	54

2.1 Caracterização da área	54
2.2 Análises bioquímicas	57
2.2.1 Estimativa do carbono da biomassa microbiana (CBM).....	57
2.2.2 Respiração basal.....	58
2.2.3 Quociente metabólico do solo (qCO₂)	58
2.2.4 β -glicosidase	58
2.2.4 Fosfatase ácida.....	59
2.2.5 Urease	59
2.2.6 Hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA).....	59
2.3 Análise estatística	60
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
3.1 COT (carbono orgânico total) e NT (nitrogênio total).....	60
3.2 Carbono da biomassa microbiana (CBM) e Quociente Microbiano (qMic	62
3.3 Respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO₂).....	64
3.4 Atividade enzimática do solo	65
3.5 Comparação de diversidade de plantas e pastejo	68
4 CONCLUSÃO.....	69
REFERÊNCIAS	69
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74

1 INTRODUÇÃO

Com a expansão das atividades agropecuárias e o uso intensivo do solo torna-se necessário a adoção de melhores técnicas de manejo, que assegurem a longo prazo a qualidade das características químicas, físicas, biológicas e bioquímicas, garantindo uma maior sustentabilidade dos agroecossistemas. O solo é um dos recursos naturais mais relevantes para produção de alimentos, no entanto, práticas agrícolas intensivas e mal manejadas podem levar ao processo de degradação, propiciando perda da sua qualidade, fazendo-se necessário a adoção de manejo que atenuem essas perdas, assegurando a sustentabilidade desse recurso.

Entre os diferentes manejos do solo, os Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA), plantio direto, rotação de cultura, consórcio e diversidade de plantas, são consideradas alternativas viáveis para melhoria dos sistemas de produção. Além disso, essas formas de uso também podem ser empregadas em conjunto, a exemplo da integração lavoura-pecuária e plantio direto, que apresentam grande relevância no manejo, manutenção da estrutura física e aumento no sequestro de carbono do solo (KLUTHCOUSKI et al., 2003; LOSS et al., 2011).

Com o aumento do uso de sistemas produtivos que empregam a associação de cultivos agrícolas e criação de animais, o conceito de SIPA foi fortalecido. Inicialmente consistia no melhor aproveitamento de nutrientes para as plantas decorrente da deposição dos dejetos dos animais, atualmente tornou-se mais complexo, pois é visto como uma forma de melhor aproveitamento das propriedades emergentes resultantes da adoção de práticas que consistem na integração das atividades agronômicas para alcançar um sinergismo em todo sistema produtivo (SOUZA, 2018). Por isso, ver-se a importância do uso de técnicas que favoreçam a sustentabilidade do sistema agropecuário, que forneça contribuições ambientais e sociais, com melhores rendimentos e redução de custos (GONÇALVES & FRANCHINI, 2007).

A adoção do sistema de manejo integrado têm sido amplamente utilizado em áreas de Cerrado, que apresenta domínio de Latossolos. Esses são, em geral, solos argilosos, oxídicos e com baixa capacidade de troca de cátions (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011; CARMO et al., 1984). O estado do Mato Grosso é referência na produção de *commodities* no Cerrado, possui uma grande diversidade de diferentes tipos e classes de solos. Os solos predominantes nessa região são os de textura argilosa, com destaque aos da Classe dos Latossolos, mas com a presença de aproximadamente 13% de solos arenosos, entre eles

os Neossolos Quartzarênicos, denota cerca de 85% de areia, com baixa retenção hídrica e de cátions, considerados como ambiente vulnerável (SALVIANO, 2017), no entanto, quando bem manejados podem ser utilizados para fins agrícolas.

Visando favorecer a diversidade e a funcionalidade do agraeossistema, a utilização apropriada de tecnologias como ILP (Integração Lavoura e Pecuária) contribui para melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Em um manejo conservacionista e diversificado há uma maior produção e distribuição de raízes e palhada, resultando no aumento dos teores de carbono no solo (LOSS et al., 2011), favorece a atividade biológica, melhora a aeração e retenção de água no solo (CARNEIRO et al., 2009), portanto, aumenta a qualidade do mesmo. São diversas as inter-relações entre os parâmetros do solo com os sistemas de manejo, responsáveis pelas alterações e aspectos relacionados à sua variação no espaço e no tempo (CARNEIRO et al., 2009).

Para o controle da qualidade do solo é importante o estudo dos parâmetros bioquímicos do solo, que por sua alta sensibilidade ao diferenciar os manejos empregados são adotados por diferentes autores (DORAN & PARKIN, 1994; ARAÚJO et al., 2012; CARVALHO et al., 2012; KHEYRODIN et al., 2012; BALOTA et al., 2014; SOUZA et al., 2014; FRANZLUEBBERS, 2016; VASCONCELLOS et al., 2016; MELLONI et al., 2018; CANEI et al., 2018).

Portanto, a partir da hipótese que SIPA e a diversidade de plantas contribuem para o aumento da qualidade dos parâmetros bioquímicos do solo, essa pesquisa consiste em avaliar a interferência da diversidade de plantas e entrada de animais em SIPA, e o efeito nos parâmetros bioquímicos do solo em um Latossolo Vermelho distrófico e Neossolo Quartzarênico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Diversidade de planta

Nos últimos anos vários estudos têm mostrado a importância da biodiversidade para os serviços ambientais, uma vez que, a sua redução pode afetar os processos e a estabilidade dos ecossistemas e agroecossistemas (ABBAS et al., 2013). A diversidade de plantas favorece a riqueza de outros organismos e microrganismos que contribuem para o equilíbrio do sistema solo-planta-atmosfera.

O uso da diversidade de plantas é uma alternativa de manejo que traz inúmeros benefícios: melhor aproveitamento dos nutrientes do solo, maior acúmulo de carbono, diferentes fontes de resíduo vegetal, limitam as ervas daninhas, controle de patógenos, atenuam a compactação, reestabelecem as propriedades estruturais e hidráulicas do solo, controla a temperatura, favorece a atividade e diversidade dos microrganismos, e conseqüentemente aumenta a ciclagem de nutrientes (BLANCO-CANQUI et al., 2015).

Pesquisas têm mostrado como a diversidade de plantas interfere na microbiota do solo e são influenciadas pelo mesmo. A quantidade de carbono armazenado no solo tem uma relação com a produção de serrapilheira e atividade microbiana (LANGE et al., 2015). Nesse mesmo estudo, Lange et al. (2015) afirma ter encontrado maiores teores de absorção de carbono em microrganismos rizosféricos com maior diversidade de planta comparado a baixa diversidade. Essa diversidade de plantas, pode minimizar o processo de erosão, tal como contribuir para a manutenção da fertilidade em solos sob pastagens (BERENDSE et al., 2015). Também, apresenta grande importância para o condicionamento físico, influenciando na dinâmica do carbono no solo, principalmente, por favorecer a biomassa microbiana e os ciclos biogeoquímicos (THAKUR et al., 2015). Os microrganismos atuam nos processos de decomposição da necromassa, possibilitando a disponibilidade de nutrientes para as plantas, etapa dinâmica que regula a entrada e saída de nutrientes no solo (MACHADO et al., 2015).

Leguminosas e gramíneas são grupos funcionais de plantas, que diferem na qualidade da palhada e na quantidade de nitrogênio e carbono liberados no solo (ABBAS et al., 2013). Essa qualidade está associada a relação C/N, quanto maior a relação C/N maior é taxa de decomposição, permanecendo mais tempo no solo. A diversidade vegetal com palhada de diferentes composições propicia uma diversidade metabólica dos microrganismos, favorecendo a redundância funcional e a maior resiliência do solo. Espécies como *Urochloa ruziziensis* e *Pennisetum glaucum* são usadas como cobertura no Cerrado brasileiro (PACHECO et al., 2017), devido alta produção de fitomassa e sua relação C/N, garantindo melhor cobertura e proteção do solo.

Apesar dos avanços mostrados nos estudos sobre a relação benéfica da diversidade de planta e microrganismos do solo, alguns mecanismos ainda não são bem esclarecidos, ainda é necessário outros estudos mais específicos da relação dos sistemas de manejo (SIPA), com os serviços ambientais exercidos pelos microrganismos do solo.

2.2 Serviços ecossistêmicos – Atividade biológica e bioquímica do solo

Nos ecossistemas e agroecossistemas os microrganismos desempenham papel fundamental no funcionamento e equilíbrio ambiental (PROBER et al., 2015), por participarem ativamente das interações que ocorrem nos processos químicos, físicos e biológicos do solo, tornando-se essenciais para manutenção dos serviços ecossistêmicos (LAVELLE et al., 2006). Em vista disso, estudos das relações solo-planta-microrganismos tornou-se muito promissor no avanço de tecnologias alternativas para as atividades agrícolas e agropecuárias.

Os vários grupos de microrganismos exercem funções diversas no solo, na ciclagem de nutriente, decomposição e mineralização, produção de metabolitos, transformações inorgânicas, agregação do solo, produção de húmus, interações biológicas e relações tróficas diversas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). São responsáveis direto e indiretamente pelos processos bioquímicos que ocorrem no solo, considerados a base da sustentabilidade produtiva dos ecossistemas e agroecossistemas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A agregação do solo é um processo dinâmico com participação importante das plantas e da microbiota do solo. Um dos grupos de microrganismos mais importantes para agregação do solo são os Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs), os quais, favorecem a formação e a estabilidade dos agregados do solo, principalmente por meio do crescimento extensivo de hifas extrarradiculares e da produção de glomalina (RILLIG, 2004). A glomalina é uma glicoproteína que apresenta natureza hidrofóbica (NOBRE et al., 2015), resistente ao calor, insolúvel e com forte correlação com a estabilidade dos agregados (PENG et al., 2013), além de fonte de carbono e nitrogênio (WRIGHT et al., 2007; FOKOM et al., 2012), encontrada naturalmente no solo a medida que organismos edáficos fazem decomposição de hifas e esporos fúngicos, contribuindo para incremento do carbono no solo (DRIVER et al., 2005).

Os microrganismos participam de processos essenciais no solo, como a decomposição, estabilização (a longo prazo) e compartimentalização da matéria orgânica (MO) do solo (WIEDER et al., 2015). Estudos mostram sua importância como agentes transformadores da MO do solo (LANGE et al., 2015) onde o armazenamento do carbono no solo é conduzido pela atividade metabólica dos microrganismos, e influenciado pelo aporte das raízes, reforçando a importância da diversidade vegetal. Conseqüentemente, o

aporte de carbono no solo está altamente relacionado com uso do solo, independente das classes de solo e das variações climáticas (MAZZETTO et al., 2016).

O acúmulo da MO é obtido pelos fatores que determinam sua formação e aqueles que possibilitam sua decomposição (LEITE et al., 2003), o responsável por diferentes fontes de carbono no solo. Algumas condições facilitam a estocagem de carbono orgânico no solo como, relevo, manejo e drenagem, dentre outros fatores que influenciam essa taxa de estoque (LAL, 2005; FALLOON et al., 2007; SMITH, 2008; GATTO et al., 2010).

A MO tem como principal integrante a biomassa microbiana (BM), formada por bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários e algas (PEREZ et al., 2004). Equivale de 2 a 5% da fração orgânica do solo, é uma relevante fração do C lábil que tem desempenho fundamental na dinâmica do C orgânico do solo (GANDY; NEFF, 2008; LIANG et al., 2011). A BM é considerada a fração mais ativa do solo, importante para a sustentabilidade do sistema de produção (ANDERSON; DOMSCH, 1993), portanto, pode ser utilizada como um indicador na qualidade do solo (MARTINS et al., 2018). Porém, só a quantificação da BM não prediz os níveis de atividade da população microbiana do solo, devendo avaliar um conjunto de indicadores que determinem a atividade da microbiota, tais como: o carbono da biomassa microbiana, a respiração microbiana do solo, e as atividades enzimáticas (BOWLES et al., 2014).

A atividade enzimática é de grande expressão para avaliar a qualidade do solo, pois, as enzimas são mediadoras e catalisadoras de processos bioquímicos de grande relevância no solo, como mineralização e ciclagem de nutrientes, decomposição e formação de matéria orgânica (MARTÍNEZ et al., 2007). São os microrganismos a principal fonte de enzimas no solo (TABATABAI, 1994). Mudanças no manejo do solo refletem na sua atividade enzimática, assim, é vista como uma análise que pode detectar alterações na qualidade do solo antes que outras (NDIAYE et al., 2000). A estimativa das atividades enzimáticas baseam-se no uso de um substrato específico submetido a condições padrões de pH e temperatura em um tempo pré estabelecido (TABATABAI, 1994).

Devido ao seu papel na degradação da matéria orgânica e fonte de energia lábil para os microrganismos, a β -glucosidase é comumente usada para avaliação da qualidade do solo (KNIGHT; DICK, 2004; STOTT et al., 2010). A qual pode ser encontrada em solo (SKUJINS, 1976), em fungos (JERMYN, 1958; FUKUDA et al., 2007) e nas plantas (HAN; CHEN, 2008).

As funções metabólicas dos microrganismos e a mineralização da matéria orgânica que resultam na produção do CO₂ podem ser quantificadas como a respiração basal, que corresponde principalmente as atividades de bactérias e fungos (SILVA et al., 2007; PELL et al., 2006). Atualmente a respiração basal é usada tanto para verificar a respiração microbiana quanto a mineralização da matéria orgânica, aceita como um indicador importante na qualidade do solo (CREAMER et al., 2014).

A atividade e a diversidade microbiana tornou-se essencial no processo de construção da fertilidade do solo, visando melhorar a disponibilidade de nutrientes convertendo minerais insolúveis em formas de fácil absorção, são considerados como agentes sustentáveis que melhoram a produtividade das culturas (BASHRI et al., 2018). Entretanto, as interferências antrópicas podem diminuir essa biodiversidade, afetando os organismos da macro, meso e microfauna do solo (STEINAUER et al., 2015).

Devido ao aumento da demanda pela produção de alimentos e das práticas tradicionais de uso do solo, é necessário adotar tecnologias de manejos conservacionista, que visem manter a fertilidade do solo garantindo uma maior sustentabilidade na área de produção. Portanto, as práticas agropecuárias devem levar em consideração a dinâmica e os serviços ecossistêmicos, por se tratar de um recurso finito. De forma que, mantenha a dinâmica de funcionamento do ecossistema sem causar desequilíbrio aos vários nichos existentes no solo. Apesar desse entendimento da importância, o monitoramento dos serviços ecossistêmicos, em áreas de SIPA ainda é incipiente.

2.3 Sistema Integrado de Produção Agropecuária – SIPA

O Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA), é responsável por cerca de 50% da produção de cereais no mundo (arroz 86%, milho 41%, sorgo 66% e milheto 74%), e ainda com ampla produção de produtos pecuários 75% de leite e 60% da carne, nos países em desenvolvimento (HERRERO et al., 2010). Segundo Carvalho et al. (2014), este cenário de produção fez-se perceptível no Brasil principalmente com a inclusão na agenda de produção agrícola (Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), por ser mitigadora dos gases de efeito estufa, por se tratar de práticas conservacionistas favorecendo o sequestro de carbono (CO₂).

O SIPA consiste em um modo de práticas agropecuárias, na qual ocorre integração das atividades desenvolvidas, sejam elas agrícolas ou pecuárias, começou a tomar espaço

devido o modelo convencional não ser mais satisfatório para o setor agropecuário. Inúmeros autores abordam conceitos de maneira dessemelhante, mas, que trata do mesmo sistema, isso implica imprecisão para a comunidade técnico-científica (CARVALHO et al., 2014).

As diferentes alternativas de uso das áreas agrícolas, possibilita uma otimização do uso dos recursos naturais, assegurando maior produtividade por área, evitando a expansão/exploração de novas zonas agrícolas afim de atender a demanda da produção de alimentos (MORAES et al., 2017). Essas práticas alternativas de produção além de favorecerem a mitigação de gases de efeito estufa, oferecem menos riscos e custos de produção, podendo atenuar a presença de doenças nas culturas e aumentando o controle de plantas daninhas (CARVALHO et al., 2010; BELL & MOORE, 2012; RYSCHAWY et al., 2012). Desta forma, aumenta-se a resiliência do sistema de produção e a garantia de uma maior sustentabilidade, à medida que, melhora os inúmeros serviços ecossistêmicos (SANDERSON et al., 2013). O futuro da produção de alimentos está no uso de práticas alternativas com intensificação sustentável, em produzir mais alimentos, com a menor utilização das áreas, água e outros recursos (HERRERO et al., 2010).

As áreas de pastagens são a base do sistema de produção de carne bovina no Brasil, considerado o segundo maior produtor de carne bovina do mundo. A pastagem é a forma mais econômica e prática do fornecimento de alimento aos rebanho bovino no País, garantindo baixos custo na produção de animal (DIAS-FILHO, 2014). Portanto, para melhorar os sistemas de produção e aproveitamento por área, foi adotado o uso do consórcio com culturas agrícolas como a soja, que é uma das principais *commodities* mundiais sustentada por diferentes demandas (RIGO et al., 2015) tal como geração de combustível (CASTANHEIRA et at., 2015).

O sistema de plantio direto é uma prática que tem sido adaptada as diferentes condições climáticas, seu alicerce é a ausência do revolvimento do solo. Consiste num modelo de produção conservacionista, que contribui diretamente na construção da fertilidade do solo, e a estabilidade na produção é comparada aos sistemas tradicionais. Dessa maneira, quando comparado ao sistema convencional o plantio direto destaca-se por manter e conservar a capacidade produtiva do solo principalmente em clima tropical (MARCHÃO et al., 2007). É uma das principais técnicas adotadas em sistemas integrados.

Para a manutenção da sustentabilidade do sistema de plantio direto, em áreas de altas temperaturas como o Cerrado brasileiro, a quantidade de resíduos vegetais deve ser

compensada, para uma atenuada cobertura ao solo devido as altas taxas de decomposição (CHIODEROLI et al., 2012). Como no estudo realizado por Torres & Pereira (2015), que observaram rendimentos dos grãos de soja e milho superiores em diferentes coberturas de solo, comparada a média regional. Outros estudos mostram a eficiência do consórcio da produção de grãos com espécies de forragens, o conhecido sistema de integração lavoura-pecuária (PASCOALOTO et al., 2017).

A integração lavoura-pecuária é sistema com produção de animais e culturas na mesma área, de forma simultânea ou não e em rotação ou sucessão, consiste num planejamento que envolve interações temporais e espaciais, para que se alcance sinergismo nas relações solo-planta-animal-atmosfera (MORAES et al., 2013). Em modelo de integração: o solo com a pastagem inicialmente degradada sofre correções como de pH, fertilização e descompactação, pois com a introdução da soja favorece o aporte de nitrogênio melhorando a fertilidade do solo, após a colheita permanece os resíduos vegetais que contribuem para uma pastagem renovada com melhores rendimentos, suportando taxas de lotações mais elevadas (NEPSTAD et al., 2019).

REFERÊNCIAS

- ABBAS, M. et al. Biodiversity Effects on Plant Stoichiometry. **Plos One**, v. 8, n. 3, 2013.
- ALESSANDRO, C. et al. Consórcio de Urochloa s com milho em sistema plantio direto Intercropping of pasture with maize in the no tillage system. p. 1804–1810, 2012.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO₂ (q CO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ANDRADE, G. et al. Soil aggregation status and rhizobacteria in the mycorrhizosphere. **Plant and Soil**, v. 202, n. 1, p. 89–96, 1998.
- ARAÚJO, E. A. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicadas nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 187-206, jan. 2012.
- BALOTA, E. L. et al. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 490, p. 397-404, 2014.
- BASHRI, G. et al. Mineral solubilization by microorganism: Mitigating strategy in mineral deficient soil. **Microbial Biotechnology**, v. 1, p. 265–285, 2018.
- BELL, L.W.; MOORE, A.D. Integrated crop–livestock systems in Australian agriculture: trends, drivers and implications. **Agricultural Systems** 111, 1–12, 2012.

- BERENDSE, F. et al. Loss of plant species diversity reduces soil erosion resistance. **Ecosystems**, v. 18, n. 5, p. 881–888, 2015.
- BLANCO-CANQUI, H. et al. Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2449–2474, 2015.
- BOWLES, T. M. et al. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 252–262, 2014.
- CÂMARA, G. M. S. Introdução ao Agronegócio Soja. **LPV 584: Produção de Cana, Mandioca e Soja**, p. 1–29, 2015.
- CANEI, A. D. et al. Parâmetros microbiológicos e estrutura de comunidades bacterianas como indicadores da qualidade do solo em plantios florestais na mata atlântica. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1405-1417, 2018.
- CARDINALE, B. J. et al. Biodiversity loss and its impact on humanity. **Nature**, v. 486, n. 7401, p. 59–67, 2012.
- CARMO, D. N.; CURI, N.; RESENDE, M. Caracterização e gênese de latossolos da região do Alto Paranaíba (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 235–240, 1984.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. Parâmetros físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. Viçosa, Brasil, p. 147–157, 2009.
- CARVALHO, F. et al. Chemical and biochemical properties of *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze. forest soils in the state of São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Lavras, v. 36, n. 4, p. 1189-1202, jul. 2012.
- CARVALHO, P. C. F. et al. Definições e terminologias para sistema integrado de produção agropecuária. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 1040-1046, 2014.
- CARVALHO, P.C.F. et al. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems** 88, 259– 273, 2010.
- CASTANHEIRA, E. G. et al. Life-cycle assessment of soybean-based biodiesel in Europe: Comparing grain, oil and biodiesel import from Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 102, p. 188–201, 2015.
- CHIODEROLI, C. A. et al. Parâmetros físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 37-43, 2012.
- CHRISTENSEN, B.T. Structure and organic matter storage in agricultural soils. In: CARTER, M.R.; STEWART, B.A. (Ed.). Structure and organic matter storage in agricultural soils. Boca Raton: CRC. p.97-165, 1996.
- DE NOBILI, M. et al. Soil microbial biomass is triggered into activity by trace amounts of substrate. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, n. 9, p. 1163–1170, 2001.
- DEMOLING, F.; FIGUEROA, D.; BÅÅTH, E. Comparison of factors limiting bacterial growth in different soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 10, p. 2485–2495, 2007.

- DIAS FILHO, M. B. Diagnóstico das Pastagens no Brasil. **Embrapa Amazônia Oriental**, v. Documentos, p. 22, 2014.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. **Defining soil quality for a sustainable environment**, n. definingsoilqua, p. 1-21, 1994.
- DRIVER, J. D. et al. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 1, p. 101-106, 2005.
- FALLOON, P. et al. Climate change and its impact on soil and vegetation carbon storage in Kenya, Jordan, India and Brazil. **Agric. Ecosyst. Environ.**, 122:114-124, 2007.
- FOKOM, R. et al. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. **Soil Tillage Research**, v. 120, p. 69-75, 2012.
- FRANZLUEBBERS, A. J. Should soil testing services measure soil biological activity?. **Agricultural & Environmental Letters**, v. 1, n. 1, 2016.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. et al. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 29, p. 893-901, 2005.
- GATTO, A. B. et al. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 34, 2010.
- GOLCHIN, A. et al. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.32, p.1043- 1068, 1994.
- GOMES, J. B. V. et al.. Seção V - Gênese, Morfologia E Classificação Do Solo E Mineralógicos De Solos. **Analysis**, v. 28, n. 6, p. 137–153, 2004.
- GONÇALVES, S.A. FRANCHINI, J. Integração lavoura-pecuária. **Embrapa Soja**, v. Circular t, n. Lodrina, p. 8, 2007.
- GRANDY A.S.; NEFF, J.C. Molecular C dynamics downstream: the biochemical decomposition sequence and its impact on soil organic matter structure and function. **Science of the Total Environment**, 404, 297–307, 2008.
- HAN, Y.; CHEN, H. Characterization of beta-glucosidase from corn stover and its application in simultaneous saccharification and fermentation. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 14, p. 6081-6087, 2008.
- HERRERO, M. et al. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 822-825, 2010.
- IBGE. Mapa de Biomas do Brasil, primeira aproximação. In: [s.l: s.n.]. p. www.ibge.gov.br.
- IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: Adubação verde no Brasil. **Fundação Cargill**, p. 232–267, 1984.
- JERMYN, M. A. Fungal cellulases. **Aust. J. Biol. Sci.**, v. 11, p. 114-126, 1958.
- JUNIOR, A. A. B. et al. Análise da área, produção e produtividade da soja no Brasil em duas décadas (1997-2016). **Boletim de Pesquisa Número 11**, p. 21, 2017.

- KHEYRODIN, H. et al. Tillage and manure effect on soil microbial biomass and respiration, and on enzyme activities. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 81, p. 14652-14659, 2012.
- KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. Integração lavoura-pecuária. **Embrapa Arroz e Feijão**, v. 21 edição, p. 570, 2003.
- KNIGHT, T. R. DICK, R.P. Differentiating microbial and stabilized b-glucosidase activity relative to soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 36, p. 2089– 2096, 2004.
- LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. *For. Ecol. Manag.*, 220:242-258, 2005.
- LANGE, M. et al. Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage. **Nature Communications**, v. 6, 2015.
- LAVELLE, P. et al. Soil invertebrates and ecosystem services. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, n. 1, 2006.
- LEITE, L. F. C. et al. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 821-832, 2003.
- LIANG, B. et al. Effects of 17-year fertilization on soil microbial biomass C and N and soluble organic C and N in loessial soil during maize growth. **Biology and Fertility of Soils**, 47, 121–128, 2011.
- LOSS, A. et al. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1269–1276, 2011.
- MACHADO, D. L. et al. Ciclagem de nutrientes em diferentes estádios sucessionais da Mata Atlântica na bacia do rio Paraíba do Sul, RJ. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 4, 2015.
- MARCHÃO, R. L. et al. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 873–882, 2007.
- MARTÍNEZ, V. A. et al. Enzyme activities as affected by soil properties and land use in a tropical watershed. **Applied Soil Ecology**, v.35, p. 35–45, 2007.
- MARTINS, J. R. et al. Soil Microbial Attributes Under Agroforestry Systems in the Cerrado of Minas Gerais. v. 25, n. 1, p. 1–9, 2018.
- MAZZETTO, A. M. et al. Activity of soil microbial biomass altered by land use in the southwestern Amazon. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 79-86, 2016.
- MAZZETTO, A. M. et al. Comparing how land use change impacts soil microbial catabolic respiration in Southwestern Amazon. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 47, n. 1, p. 63–72, 2016.
- MELLONI, R. et al. Sistemas agroflorestais cafeeiro-araucária e seu efeito na microbiota do solo e seus processos. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, 2018.
- MORAES, A. et al. Avanços técnico-científicos em SIPA no subtropico brasileiro. In: congresso brasileiro de sistemas integrados de produção agropecuária; encontro de integração lavoura-pecuária no sul do Brasil, Pato Branco. Palestras: intensificação com sustentabilidade. Cascavel: UTFPR, 2017. P. 102-124, 2017.

MORAES, A. et al. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. **Elsevier Eur. J. Agron.** p. 6. 2013.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Biotecnologia do Solo. **Editora UFLA**, v. ed. 2, p. 729, 2006.

MOREIRA, X. et al. Plant diversity effects on insect herbivores and their natural enemies: Current thinking, recent findings, and future directions. **Current Opinion in Insect Science**, v. 14, n. Figure 1, p. 1–7, 2016.

NDIAYE, E.L. et al. Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. *Am. J. Alter. Agric.* 15, 26–36, 2000.

NEPSTAD, L. S. et al. Pathways for recent Cerrado soybean expansion: extending the soy moratorium and implementing integrated crop livestock systems with soybeans. **Environmental Research Letters**, 2019.

PACHECO, L. P. et al. Produção de fitomassa e ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura no Cerrado Piauiense. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 1, p. 13–23, 2017.

PASCOALOTO, I. M. et al. Economic analysis of sorghum consortia with forages or with dwarf pigeon pea succeeded by soybean or corn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 10, p. 833–840, 2017.

PENG, S. et al. The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in sothwest China. **Soil Biology Biochemistry**, v. 57, n. 2, p. 411–417, 2013

PEREZ, K. S. S. et al. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, n.6, p.567-573, jun. 2004.

PICCOLO, A. et al. Effective carbon sequestration in Italian agricultural soils by in situ polymerization of soil organic matter under biomimetic photocatalysis. **Land Degradation and Development**, v. 29, n. 3, p. 485–494, 2018.

PROBER, S. M. et al. Plant diversity predicts beta but not alpha diversity of soil microbes across grasslands worldwide. **Ecology Letters**, v. 18, n. 1, p. 85–95, 2015.

RIGO, A. A. et al. Characterization of Soybean Cultivars Genetically Improved for Human Consumption. **ETP International Journal of Food Engineering**, v. 1, n. 1, p. 1–7, 2015.

RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes. **Ecology Letters**, v. 7, n. 8, p. 740–754, 2004.

RYSCHAWY, J. et al. Mixed crop– livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming? **Animal** 6, 1722–1730, 2012.

SALVIANO, A. M. et al. Potencialidades e Limitações para o uso agrícola de solos arenosos na região semiárida da Bahia. **MAGISTRA**, v. 28, n. 2, p. 137–148, 2017.

SANDERSON, M. A. et al. Diversification and ecosystem services for conservation agriculture: Outcomes from pastures and integrated crop–livestock systems. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 28, p. 129–144, 2013.

SILVA, M. B. et al. Parâmetros biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007.

SKUJINŠ, J.; BURNS, R. G. Extracellular enzymes in soil. **CRC critical reviews in microbiology**, v. 4, n. 4, p. 383-421, 1976.

SMITH, P. Land use change and soil organic carbon dynamics. *Nutr. Cycling Agroecosyst.*, 81:169-178, 2008.

SOUZA, E. D. et al. Matéria orgânica do solo em sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil. In: **SOUZA E. D.; SILVA F. D.; ASSMANN T. S.; CARNEIRO M. C. C.; CARVALHO, P. C. F.; PAULINO, H. P. Sistemas Integrados de Produção Agropecuária no Brasil**. 1 ed. Tubarão-Santa Catarina, Ed. Copiart, p. 662, 2018.

SOUZA, E. D. et al. Soil quality indicators in a Rhodic Paleudult under long term tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 139, p. 28-36, 2014.

STEINAUER, K. et al. Plant diversity effects on soil microbial functions and enzymes are stronger than warming in a grassland experiment. **Ecology**, v. 96, n. 1, p. 99–112, 2015.

STOTT D.E. et al. Evaluation of β -glucosidase activity as a soil quality indicator for the soil management assessment framework. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 74, n. 1, p.107–119, 2010.

SUYE, S.; UEDA, M. Enhancement of substrate recognition ability by combinatorial mutation of beta-glucosidase displayed on the yeast cell surface. *Applied Microbiology Biotechnology*, v. 76, n. 5, p. 1027-1033, 2007.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: Weaver, R.W., Angle, J.S., Bottomley, P.S. (Eds.), *Methods of Soil Analysis: Microbiological and Biochemical Properties. Part 2. SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI*, pp. 775–83, 1994.

THAKUR, M. P. et al. Plant diversity drives soil microbial biomass carbon in grasslands irrespective of global environmental change factors. **Global Change Biology**, v. 21, n. 11, p. 4076–4085, 2015.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G. Production and decomposition residue culture preceding corn and soybeans in the Savannah oxisol miner. [Portuguese] . **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 4, p. 419–426, 2014.

VASCONCELLOS, R. L. F. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein as potential indicators of soil quality in a recuperation gradient of the Atlantic forest in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 2, p. 325-334, 2016.

VEZZANI, F. M. & MIELNICZUK, J. O Solo como Sistema. 104p, 2011.

WIEDER, W. R.; Explicitly representing soil microbial processes in Earth system models. **Global Biogeochem. Cycles**, v. 29, p. 1782–1800, 2015.

CAPÍTULO 1 QUALIDADE BIOQUÍMICA DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA COM CONSÓRCIO NO CERRADO MATO-GROSSENSE

RESUMO

O Cerrado Brasileiro é um dos biomas com maior produção de *commodities* do país, através da adoção de práticas de manejo como plantio direto, rotação de culturas, consórcios, diversidade de plantas, e integração com animais, principalmente as atividades integradas ou Sistemas Integrado de Produção Agropecuária (SIPA). O pastejo em área de cultivo pode contribuir com os parâmetros químicos, físicos e biológicos do solo. O objetivo deste trabalho consiste em avaliar os parâmetros bioquímicos do solo em condições de aumento de diversidade de planta e entrada de animais. O estudo foi realizado na Fazenda Girassol, localizada no município de Pedra Preta - Mato Grosso, com temperatura média anual de 24,7 °C, e pluviosidade média anual de 1533 mm, o solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distrófico. Os tratamentos consistiram em: D0 - *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás cultivo solteiro; D1 - Paiaguás e feijão caupi (*Vigna unguiculata*); D2 - Paiaguás, feijão caupi e niger (*Guizotia abyssinica*); D3 - Paiaguás, feijão caupi, niger, trigo mourisco (*Fogopyrum esculentum*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*); SP - Paiaguás cultivo solteiro sem animais. Os parâmetros bioquímicos avaliados foram: carbono da biomassa microbiana (CMB), respiração basal do solo (RBS), atividade enzimática (fosfatase ácida, hidrólise do diacetato de fluoresceína, urease e β -glicosidase) e glomalina total do solo. O CMB (233,63 - 333,39 $\mu\text{g g}^{-1}$) e glomalina não diferiram entre os tratamentos pelo teste Tukey 5% após implantação de SIPA. As enzimas fosfatase ácida, β -glicosidase e urease foram os parâmetros mais sensíveis ao manejo adotado, com maiores atividades no tratamento D3. O curto prazo da pesquisa não torna claro qual o manejo é mais apropriado para região, mas traz indicativos que o pastejo e a diversidade de plantas melhoram as atividades microbianas do solo, como foi observado no manejo de SIPA com as espécies: Paiaguás, feijão caupi, niger, trigo mourisco e nabo forrageiro por suas maiores atividades enzimáticas.

Palavras-chave: Enzimas do solo. Sistemas integrados. Diversidade de planta.

ABSTRACT

The Brazilian Cerrado is one of the largest commodity-producing biomes in the country, through the adoption of management practices such as no-tillage, crop rotation, intercropping, plant diversity, and animal integration, especially integrated activities or Integrated Production Systems. Agriculture (SIPA). Grazing in cultivated area can contribute to the chemical, physical and biological attributes of the soil. The objective of this work is to evaluate the biochemical attributes of the soil under conditions of increased plant diversity and animal intake. The study was carried out at Fazenda Girassol, located in the municipality of Pedra Preta - Mato Grosso, with average annual temperature of 24.7 °C, and average annual rainfall of 1533 mm. The soil of the area is classified as Oxisols (Latosolo Vermelho distrófico). The treatments consisted of: D0 - *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás single cultivation; D1 - Paiaguás and cowpea (*Vigna unguiculata*); D2 - Paiaguás, cowpea and niger (*Guizotia abyssinica*); D3 - Paiaguás, cowpea, niger, buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) and forage turnip (*Raphanus sativus*); SP - Paiaguás single cultivation without animals. The biochemical attributes evaluated were: microbial biomass carbon (CMB), soil basal respiration (RBS), enzymatic activity (acid phosphatase, fluorescein diacetate hydrolysis, urease and β -glycosidase) and total soil glomalin. CMB (233.63 - 333.39 $\mu\text{g g}^{-1}$) and glomalin did not differ between treatments by the Tukey 5% test after SIPA implantation. The enzymes acid phosphatase, β -glycosidase and urease were the most sensitive attributes in the adopted management. The short term of the research does not make it clear which management is more appropriate for the region, but it does indicate that grazing and plant diversity improve soil microbial activities, as observed in treatment D3, adopted management of SIPA with the species: Paiaguás, cowpea, niger, buckwheat and forage turnip that had the highest enzymatic activities.

Keywords: soil enzymes. Integrated systems. Plant diversity.

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado Brasileiro tem solos com baixos teores de bases, altos teores de ferro e alumínio disponíveis, baixo pH, baixo teor de fósforo disponível e alta capacidade de retenção desse elemento (LOPES, GUILHERME, 2016; WITHERS et al., 2018). Mas, apesar do baixo potencial natural, atualmente é um dos biomas com maior produção de *commodities* do país, através da adoção de práticas de manejo conservacionistas como plantio direto, rotação de culturas e Sistemas Integrado de Produção Agropecuária (SIPA).

O SIPA consiste em práticas agrícolas e/ou pecuárias trabalhadas conjuntamente, que visem otimizar a sinergia das atividades desenvolvidas dentro de um sistema produtivo (MORAES et al., 2018). Esses sistemas favorecem a mitigação da emissão de gases de efeito estufa, pois propiciam o maior sequestro de carbono no solo, oferecem menor risco de perdas e custos de produção (RYSCHAWY et al., 2012), tornando o sistema mais resiliente e sustentável ao longo prazo (PETERSON et al., 2018). O pastoreio em área de cultivo pode contribuir com o solo, nas suas características, químicas, físicas e biológicas, pois através da deposição de fezes e urina, da redução dos macroagregados e o maior crescimento radicular das plantas, aumenta as fontes de metabólitos para os microrganismos, favorece a proteção da microbiota obtendo-se como resposta a maior atividade microbiana. Todos esses aperfeiçoamentos nas propriedades do solo beneficiam a próxima cultura (CARVALHO et al., 2018).

É interessante que o SIPA apresente uma elevada diversidade de plantas, pois pode proporcionar inúmeros benefícios ao solo, como o melhor aproveitamento dos nutrientes, maior acúmulo de carbono, diferentes fontes de metabólitos na rizosfera, controle de patógenos, efeitos aleloquímicos, assim estimulando a atividade e a diversidade dos microrganismos (BLANCO-CANQUI et al., 2015; BATISTA et al., 2018; MORAIS et al., 2019), ou seja, representam ganhos nos serviços ecossistêmicos nessas áreas de produção.

A escolha das plantas na composição dos consórcios deve levar em consideração adaptação as condições climáticas, a quantidade e qualidade da palhada a ser produzida e os diferentes modos de crescimento. Espécies como leguminosas e gramíneas são espécies funcionais e eficientes, estabelecem relações simbióticas com fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e bactérias fixadoras de nitrogênio (FBN),

estimulando a biodiversidade e a atividade microbiana nas suas rizosferas (JARDIM et al., 2018; MEENA et al., 2018).

A microbiota possui papel relevante na manutenção da qualidade do solo, pois tem funcionalidade na manutenção dos ecossistemas terrestres, são impulsionadores da diversidade de planta, assim como é previsto que a diversidade de planta contribui para a diversidade de microrganismos devido à maior oferta de alimento (PROBER et al., 2015), proporcionando aumentos na atividade microbiana, que associada a mineralização de compostos orgânicos, fornecem nutrientes às plantas.

Para o estudo da melhoria da qualidade do solo deve ser levada em consideração a escala espacial e temporal, parâmetros como o comportamento do carbono e nitrogênio são comumente adotados para tais estudos, mas não são suficientes, sendo importante o estudo da atividade microbiana para obtenção de melhores respostas, através de avaliações do comportamento enzimático do solo (CARNEIRO et al., 2009). Em vista disso, o objetivo deste trabalho consiste em avaliar os parâmetros bioquímicos do solo em condições de aumento de diversidade de planta e entrada de animais em SIPA.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área

O estudo foi realizado na Fazenda Girassol, localizada no município de Pedra Preta - Mato Grosso (latitude 16° 37' 23" S, longitude 54° 28' 26" W e altitude 248 m). O clima é do tipo Aw, de acordo com a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 24,7 °C, e pluviosidade média anual de 1533 mm.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com teores de argila 45, silte 35,5 e areia 19,3 (dag kg⁻¹) com as seguintes características químicas conforme (Tabela 1).

Tabela 1- Características químicas da área de estudo referente a primeira e segunda coleta.

	PRIMEIRA COLETA					
	D0	D1	D2	D3	SP	CV%
pH ⁽¹⁾ (H ₂ O)	5,50 a	5,43 a	5,43 a	5,46 a	5,7 a	3,65
Al ³⁺⁽²⁾ (cmol _c dm ⁻³)	0,07 a	0,07 a	0,07 a	0,07 a	0,06 a	16,94
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	4,09 a	3,79 a	4,07 a	4,02 a	3,65 a	10,19
P ⁽³⁾ (mg dm ⁻³)	14,87 a	12,42 a	14,99 a	15,65 a	9,91 a	20,06

Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,49 a	1,3 a	1,4 a	1,5 a	1,3 a	14,12
N ⁽⁵⁾ (g kg ⁻¹)	3,13 a	2,96 a	2,88 a	3,40 a	2,99 a	14,12
K (mg dm ⁻³)	68,07 a	74,94 a	86,43 a	120,63 a	72,56 a	25,58
Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	9,75 a	8,55 a	10,88 a	11,16 a	7,49 a	26,6
Fe (mg dm ⁻³)	40,30 a	46,13 a	35,11 a	46,58 a	44,27 a	12,55
Cu (mg dm ⁻³)	1,86 a	1,91 a	2,05 a	2,10 a	1,91 a	12,12
Mn (mg dm ⁻³)	17,56 a	18,54 a	23,92 a	23,53 a	18,27 a	24,77
MO ⁽⁴⁾ (dag kg ⁻¹)	4,2 a	4,16 a	4,26 a	4,44 a	4,05 a	8,23

SEGUNDA COLETA

	D0	D1	D2	D3	SP	CV%
pH ⁽¹⁾ (H ₂ O)	5,30 a	5,8 a	5,70 a	5,70 a	5,6 a	7,18
Al ³⁺⁽²⁾ (cmol _c dm ⁻³)	0,05 a	0,06 a	0,06 a	0,06 a	0,06 a	23,13
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	3,94 a	3,85 a	3,83 a	3,65 a	3,75 a	8,34
P ⁽³⁾ (mg dm ⁻³)	9,92 a	11,32 a	16,09 a	13,67 a	14,54 a	19,12
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,14 b	1,21 b	1,10 ab	1,09 ab	0,86 a	8,75
N ⁽⁴⁾ (g kg ⁻¹)	2,50 a	2,6 ab	2,48 a	2,56 ab	2,96 b	5,36
K (mg dm ⁻³)	119,2 a	102,58 a	100,71 a	105,34 a	106,81	20,24
Zn ²⁺ (mg dm ⁻³)	5,93 a	5,27 a	6,98 a	6,81 a	6,24 a	24,67
Fe (mg dm ⁻³)	36,77 a	37,08 a	36,33 a	28,25 a	38,02 a	19,7
Cu (mg dm ⁻³)	1,33 a	1,32 a	1,41 ab	1,19 a	1,71 b	9,44
Mn (mg dm ⁻³)	14,42 a	17,89 a	19,96 a	14,09 a	17,17 a	26,68
MO ⁽⁵⁾ (dag kg ⁻¹)	4,89 a	3,74 a	3,99 a	4,39 a	4,72 a	27,61
M. Seca	6853 a	6290 a	5875 a	5975 a	8305 a	24,09

Legenda: ⁽¹⁾ pH em H₂O; ⁽²⁾ Ca, Mg e Al: KCl -1mol/L; ⁽³⁾ P, K, Zn, Fe, Cu e Mn: Mehlich 1; ⁽⁴⁾ N: Kjeldahl; ⁽⁵⁾ (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N+ H₂SO₄ 10N. Médias seguidas na mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p ≤ 0.05). Sendo: D0 - *Urochloa. brizantha* cv. BRS Paiaguás cultivo solteiro; D1 - Paiaguás e feijão caupi; D2 - Paiaguás, feijão caupi e niger; D3 - Paiaguás com feijão caupi, niger, trigo mourisco e nabo forrageiro; SP - Paiaguás cultivo solteiro sem animais. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A área foi cultivada por cinco anos com cultura da soja em plantio direto e pastagem na safrinha, antes da implantação do experimento. A soja foi manejada com as técnicas recomendadas para a região, cultivada em sistema de plantio direto, com adubação antes da semeadura de 500 kg ha⁻¹ de NPK (00-18-18), não havendo adubação na pastagem. A implantação do experimento ocorreu após a colheita da soja (safra/2017).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos e três repetições, totalizando quinze parcelas experimentais, cada parcela tinha área de 3,2 ha. O experimento foi constituído por cinco tratamentos arranjados com diferentes coberturas de plantas e entrada de animais, exceto um sem pastejo: D0 - *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás cultivo solteiro; D1 - Paiaguás e feijão caupi (*Vigna unguiculata*); D2 - Paiaguás, feijão caupi e niger (*Guizotia abyssinica*); D3 - Paiaguás, feijão caupi, niger, trigo mourisco (*Fogopyrum esculentum*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*); SP - Paiaguás cultivo solteiro sem animais. O número de animais (por parcela)

teve taxa de lotação de 2 UA ha⁻¹, bovinos machos da raça nelore, permanecendo por 75 dia na área levando em consideração a capacidade de pastejo da área.

As semeaduras dos consórcios foram realizadas em linha, com semeadora de precisão em espaçamento de 17 cm para todas as plantas, exceto o feijão caupi que foi no espaçamento de 45 cm. A quantidade de sementes puras e viáveis por ha foi de 4,0 kg de Paiaguás, 2,5 kg de niger, 8,0 kg de trigo mourisco, 2,5 kg de nabo forrageiro e no caso do feijão de caupi foram utilizadas 5 sementes por metro linear.

O solo para as análises químicas e bioquímicas foi coletado em duas diferentes épocas. A primeira coleta foi realizada na última quinzena de novembro/2017, antes da implantação do experimento. A segunda amostragem foi realizada na segunda quinzena de dezembro/2018 após a implantação do experimento, no florescimento da soja e período chuvoso na região. Em ambas as coletas a amostragem foi na profundidade de 0-10 cm, em aproximadamente 12 pontos aleatórios que formaram uma amostra composta para cada tratamento. O material foi enviado ao laboratório de Biologia, Microbiologia e Processos Microbianos do Solo, da Universidade Federal de Lavras (UFLA) para análises, passadas na peneira de 2 mm e armazenadas à 4°C até a realização das análises.

2.2 Análises bioquímicas

2.2.1 Estimativa do carbono da biomassa microbiana (CBM)

A metodologia adotada para a extração do carbono foi a de Vance et al. (1987), com uso de K₂SO₄ (Sulfato de Potássio) a 0,5 M, após fumigação com clorofórmio (livre de álcool), podendo ser usado em solos ácidos e/ou neutros. As amostras foram feitas triplicatas, sendo três fumigadas e três não fumigadas (controle), pesado 20 g de solo úmido para cada amostra. As amostras não fumigadas foram acondicionadas num dessecador por 27 °C por 24 horas e as fumigadas foram acondicionadas num dessecador (forrado com papel toalha úmido), com a 25 mL de clorofórmio purificado em um becker pequeno, com pérolas de vidro. Incuba-se à 27 °C por 24 horas. Para a extração, a amostra de solo foi transferida para erlenmeyer de 125 mL, adicionando-se 100 ml de K₂SO₄, agitado por 30 minutos à 150 rpm e a suspensão é filtrada (papel de filtro Whatman no 42). O carbono orgânico dos extratos foi determinado pela digestão de 8 ml do extrato filtrado com 2 mL de K₂Cr₂O₇ (Dicromato de Potássio) e uma mistura de 2 partes (10 mL) de H₂SO₄ concentrado e uma parte de (5 mL) de H₃PO₄ concentrado. A mistura é

levada a chapa quente deixando por 5 minutos após o surgimento das primeiras bolhas. Após o resfriamento é acrescentado 10 mL de água destilada. O excesso de $K_2Cr_2O_7$ é determinado por titulação com sulfato ferroso amoniacal, usando difenilamina como indicador até a mudança de cor azul para a cor verde garrafa. Nas amostras em interferência dos reagentes a quantidade de $K_2Cr_2O_7$ consumida é calculada pela diferença entre uma digestão “em branco” de 8 mL de K_2SO_4 , menos aquela restante na digestão do extrato de solo.

2.2.2 Respiração basal do solo

A determinação da Respiração basal do solo (RBS) foi conforme a metodologia proposta por Alef (1995). Alíquotas de 20 g de solo foram mensuradas em copos de plástico e incubados por 72 h a 28 °C em frascos de vidro hermeticamente fechados juntamente com um segundo frasco contendo 20 mL de hidróxido de sódio (NaOH, 0,05 M). Após a incubação o CO_2 evoluído das amostras e capturado pelo NaOH foi quantificado por titulometria utilizando HCl (0,05 M), na presença de fenolftaleína a 0,1% como indicador.

2.2.3 Quociente metabólico do solo (qCO_2)

O quociente metabólico (qCO_2) foi calculado a partir da relação da RBS pela unidade de BM-C em determinado tempo, analisado para verificar o teor de substrato consumido pelos microrganismos do solo (ANDERSON & DOMSCH, 1993), com uso da formula ($\mu g CO_2 \mu g^{-1} BMS-C h^{-1}$).

2.2.4 β -glicosidase

A metodologia utilizada foi a de Eivazi & Tabatabai (1988). Uma alíquota de 1 g de solo foi pesada em erlenmeyer de 50 mL, adicionado 4 mL de MUB (pH 6,0), 1 mL da solução de p-nitrofenil- β -D-glucosídeo (PNG), agitado por alguns segundos para misturar o conteúdo. Fechado o frasco e incubado por 1 hora à 37 °C. Amostras controle também foram feitas, seguindo o mesmo procedimento, só que sem a adição de substrato. Após esse período, adicionado 1 mL de $CaCl_2$ e 4 mL do tampão THAM (pH 12),

agitado por alguns segundos e filtrado a solução com papel filtro Whatman 12. A leitura foi realizada por espectrofotômetro a 410 nm. O cálculo do conteúdo PNF foi pela diferença de densidade óptica (D.O.) entre amostra e controle, plotando no gráfico obtido da curva da solução padrão contendo 0,10, 20, 30, 40 e 50 µg de PNF, considerando o peso seco do solo.

2.2.5 Fosfatase ácida

A mensuração da atividade da fosfatase é baseada na leitura em espectrofotômetro do ρ -nitrofenol resultante da atividade enzimática, conforme descrito por Dick et al. (1996). Usado 1 g de solo, adicionando as seguintes soluções: 4 mL de tampão (pH 6,5) e 1 mL de ρ -nitrofenil-fosfato (PNF: 0,05 mol L⁻¹). As amostras controle (branco) não receberam PNF no início, somente no fim do processo após adição de CaCl₂ e NaOH, agitado por 3 minutos e levado à incubação a 37 °C pelo período de 1 hora. A reação foi interrompida com 1 mL de CaCl₂ (0,5 mol L⁻¹) e 4 ml de NaOH (0,5 mol L⁻¹), agitado a solução por 3 minutos para homogeneizar a amostra. Adicionado 1 mL de PNF aos brancos, filtradas em papel de filtro (Whatman nº 42) e lidas em espectrofotômetro.

2.2.6 Urease

Foi adotado a metodologia de Tabatabai & Bremner (1972). Pesado 5 g de solo, adicionado 9 mL de tampão (pH 9) e 1 mL de solução com ureia (0,2 mol L⁻¹), incubado por 2 horas a 37 °C. Após a incubação adicionar 40 mL de KCl – Ag₂SO₄ para interromper a reação e agitado por 30 minutos à 150 rpm. O sobrenadante da solução obtida foi filtrado e pipetado 20 mL, levado para o microdestilador adicionando-se 0,2 g de MgO. No microdestilador foi adicionado 15 mL de NaOH (13 mol L⁻¹) e levado para aquecimento, o destilado foi recolhido em erlenmeyer com solução de ácido bórico, contendo como indicadores o vermelho de metila e verde de bromocresol. A titulação é feita com solução padronizada de ácido sulfúrico (0,005 mol L⁻¹). Para cada amostra foi feita o controle, sendo que nestes a ureia foi adicionada somente após a solução de KCl – Ag₂SO₄.

2.2.7 Hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)

A estimativa da Hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) foi segundo à metodologia proposta por Diack (1997). Pesado 2 g de solo em um tubo com capacidade para 100 mL, adicionado 50 mL da solução tampão com a fluoresceína e incubado em rotação a 35 °C por 24 horas. Após este período, foi adicionado 2 mL de acetona para interromper a reação, centrifugado o solo em suspensão a 3840 RPM por 5 minutos e filtrado o sobrenadante com papel de filtro Whatman n° 42. Efetuado a mensuração em espectrofotômetro em 490 nm. Feito o controle seguindo os mesmos procedimentos descritos acima exceto a adição de substrato.

2.2.8 Glomalina total

Análise da glomalina e total foi conforme (WRIGHT et al., 1996; WRIGHT & UPADHYAYA, 1996; WRIGHT & UPADHYAYA, 1998). Uma alíquota de 1 g de solo foi pesada e adicionado 8 mL de citrato de sódio (50 µM a pH 8,0), levada a autolavagem por 60 minutos, seguido de centrifugação do extrato de 10 a 15 minuto. Foram realizado dez ciclos, seguindo o mesmo processo de adição de citrato, autoclavagem e centrifugação. Para os índices de proteína foi adotado o método de Bradford (BRADFORD, 1976).

2.3 Análise Estatística

Os resultados foram submetidos a teste de normalidade e quando atendiam as premissas de normalidade e homocedasticidade submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade na comparação das médias utilizando-se os programas SISVAR versão 5.6 (Ferreira, 2014) e R (R Development Core Team, 2011). Também foram feitas análises estatísticas descritivas de comparações dos tratamentos.

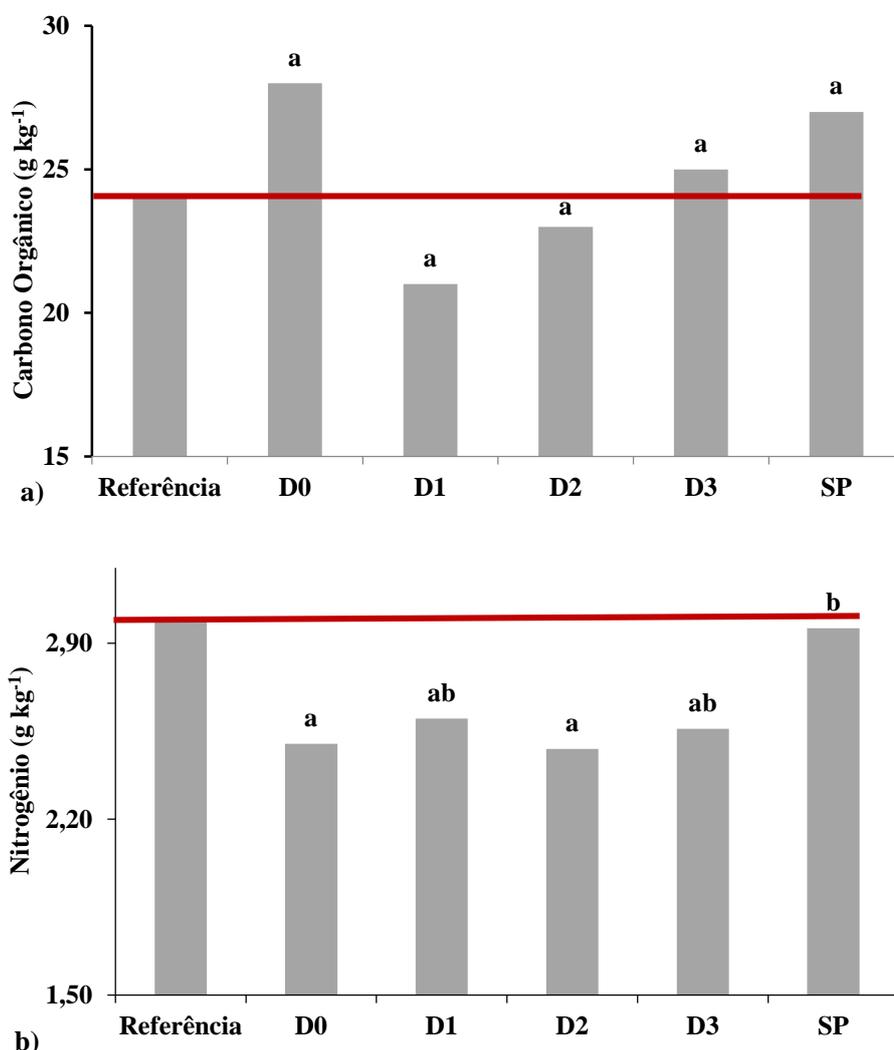
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 COT (carbono orgânico total) e NT (nitrogênio total)

Os teores de COT encontram-se associado a alto aporte de matéria vegetal no solo e sua textura, pois solos mais argilosos apresentam maior capacidade de proteção e

manutenção do carbono orgânico. O uso de planta de cobertura aumentou os teores COT do solo em D0 e manteve em S3 (Figura 1), corroborando com alguns autores (CORREIA & DURIGAN, 2008; CUNHA et al., 2012) que estudando diferentes plantas de cobertura verificaram a manutenção do COT. Esses valores de COT estão dentro do adequado, de 31 a 45 g kg⁻¹, para solos de textura argilosa no Cerrado (SOUSA & LOBATO, 2004). No entanto deve-se considerar que este é o primeiro ano da implantação do sistema.

Figura 1- Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT).



Legenda: Referência corresponde à média antes da implantação do experimento, e os demais são os tratamentos nas áreas com diferentes sistemas de consócio e pastejo. Sendo: D0 – *U. brizantha* cv. BRS Paiaguás cultivo solteiro; D1 – Paiaguás e feijão caupi; D2 – Paiaguás, feijão caupi e niger; D3 - Paiaguás com feijão caupi, niger, trigo mourisco e nabo forrageiro; SP - Paiaguás cultivo solteiro sem animais. A linha vermelha representa a linha de base entre a referência, antes da implantação do experimento, e os tratamentos. Letras semelhantes na coluna dos tratamentos não diferem pelo teste Tukey 5%.

Fonte: Da autora (Laboratório de Biologia, Microbiologia e Processos Microbianos do Solo da UFLA), 2019.

Os teores de NT foram semelhante entre os tratamentos exceto para área sem pastejo apresentando maior teor de NT (Figura 1), levando em consideração a alta relação estabelecida entre o COT e NT presente nos solos, os valores encontrados estão dentro de uma faixa esperada conforme a constituição da matéria orgânica que é de 3,7 a 4,15% de N. Nesse estudos valores para COT estavam semelhantes e NT estavam inferiores aos observados por outros autores COT (35 g/Kg⁻¹) e NT (6,2 g/Kg⁻¹) em áreas de SIPA sob consórcio de gramíneas e leguminosa (SOUZA et al., 2018).

3.2 Carbono da biomassa microbiana (CBM) e q_{Mic}

Os teores de CBM não diferiram estatisticamente entre os tratamentos na primeira e segunda coleta, com variação de 258,24 – 352,14 e 233,63 - 333,39 $\mu\text{g g}^{-1}$, respectivamente (Tabela 2). Na segunda coleta, realizada após o pastejo dos animais, o tratamento D3, com a maior diversidade de plantas, foi o que apresentou maior CBM (14,16%) em relação ao D0. Ao tomar-se a primeira coleta como referência, observa-se que os tratamentos D1, D2 e SP incrementaram 26, 20 e 9%, respectivamente, mais elevados na primeira coleta. Já na segunda coleta, os tratamentos D0 e D3 foram 13 e 0,78%, respectivamente superiores à primeira (Tabela 2). Essa diferença entre as épocas de coleta pode ter sido influenciada pela diversidade de plantas e da entrada de animais, realizada ao iniciar o processo de SIPA na área, o que alterou a biomassa microbiana no solo principalmente pela implantação dos diferentes consórcios.

O tratamento D3 manteve o mesmo teor de CBM mesmo após o pastejo, isso é devido a maior diversidade vegetal, que contribuíram para o aumento do CBM, liberando maior quantidade e diversidade de exsudados estimulando a atividade de vários microrganismos na rizosfera (CONG et al., 2015). Ao comparar área de monocultura de milho com áreas consorciadas de milho com espécies leguminosas, Araujo et al. (2019) obtiveram maiores teores de CBM nas áreas consorciadas, aproximando dos valores da área nativa utilizada como referência (142,4 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco), destacando os consórcios de milho com feijão guandu-anão e com crotalária (136,6 e 139,8 $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco) na camada superficial de 0-10 cm, em Argissolo Vermelho, de textura arenosa no município de Glória de Dourados, MS. Outros estudos confirmam que a diversidade de plantas pode

influenciar a comunidade microbiana devido à qualidade do resíduo, aumentando a quantidade e a diversidade dos exsudados no solo afetando composição e a estrutura da comunidade microbiana (LANGE et al., 2014; CONG et al., 2015; COUTO et al., 2016), conforme já descrito.

O efeito da entrada do animal associado com o aumento da diversidade de plantas já demonstra contribuição na biomassa microbiana observados em valores absolutos, apesar de não significativo. A não significância pode ser devido ao início do estudo, não estando ainda consolidado.

O solo tem uma elevada capacidade de suporte, não ficando afetado pelo pastejo em SIPA, mas, dependendo de vários elementos, como tipo de solo, manejo e condições biológicas (AMBUS et al., 2018). Em estudo conduzido por Bonetti et al. (2018) verificou-se efeito significativo na biomassa microbiana somente após dois anos de entrada dos animais, observando aumento de 23% no CBM em relação a área não pastejada já no primeiro ano, o que corrobora com os resultados do presente estudo.

O CBM é um atributo comumente adotado para expressar o efeito do manejo (BALOTA et al., 1998; NOGUEIRA et al., 2006; FRANCHINI et al., 2007; HUNGRIA et al., 2009; SOUZA et al., 2014). Os valores encontrados neste estudo estão na faixa esperada para áreas de pastagem e agricultura (46 – 500 mg C kg⁻¹ solo) para a região de Cerrado e especificamente, para Latossolos Vermelhos argilosos, na camada de 0–10 cm com base no teor de matéria orgânica (KASCHUK et al., 2010; MENDES et al., 2015). O manejo conservacionista em conjunto com o aumento na diversidade vegetal proporcionam maior acúmulo de carbono, devido ao maior aporte de matéria orgânica (HOFFMANN et al., 2018).

Tabela 2 - Carbono orgânico total e Parâmetros bioquímicos do solo sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense, antes da implantação (Primeira coleta) e após (Segunda coleta). (D0 – *Urochloa. brizantha* cv. BRS Paiaguás cultivo solteiro; D1 – Paiaguás e feijão caupi; D2 – Paiaguás, feijão caupi e niger; D3 - Paiaguás com feijão caupi, niger, trigo mourisco e nabo forrageiro; SP - Paiaguás cultivo solteiro sem animais).

Tratamentos	CBM	RBS	qCO_2	$qMic$	Glomalina Total
	$\mu g g^{-1}$	$mg g^{-1} h^{-1}$	$mg C-CO_2 \mu g^{-1} CBM$	%	$mg g^{-1} solo$

	Primeira Coleta				
D0	258,24 a	4,03 b	15,69 b	1,06 a	7,43 a
D1	316,52 a	3,66 ab	12,19 ab	1,31 a	7,47 a
D2	352,14 a	3,75 b	10,72 ab	1,44 a	7,32 a
D3	330,78 a	3,99 b	12,20 ab	1,30 a	6,67 a
SP	298,94 a	2,46 a	8,29 a	1,26 a	6,67 a
CV (%)	11,91	12,6	22,16	16,77	12,64
	Segunda Coleta				
D0	292,03 a	2,26 a	7,78 a	1,12 a	6,47 a
D1	233,63 a	2,62 a	11,29 a	1,07 a	6,07 a
D2	280,96 a	2,37 a	9,09 a	1,19 a	6,11 a
D3	333,39 a	2,31 a	7,41 a	1,32 a	4,29 a
SP	271,49 a	2,16 a	9,12 a	0,96 a	6,97 a
CV (%)	24,5	16,01	29,9	23,02	25,92

Legenda: Letras semelhantes na mesma coluna não diferem pelo teste Tukey 5%. COT (Carbono Orgânico), CBM (Carbono da Biomassa Microbiana), RBS (Respiração Basal do Solo), qCO_2 (Quociente Metabólico), $qMic$ (Quociente Microbiano) e Glomalina total.

A glomalina não diferenciou entre os tratamentos estudados nas duas coletas, seguido a mesma tendência observada no CBM. No entanto, valores menores foram observados na segunda coleta, ou seja, logo após a instalação do sistema, o que já era esperado devido aos fatores estudados (diversidade de planta x pastoreio). A diversidade de plantas, como já discutido acima pode ter contribuído para o estímulo da atividade microbiana, o que aumentou e acelerou a decomposição e a mineralização de compostos orgânicos nativos como a própria glomalina, ocasionando a sua redução.

A glomalina, uma glicoproteína proveniente das atividades de fungos micorrízicos no solo é uma fonte de carbono orgânico importante, pois apresenta mais recalcitrante, sendo uma forma de estoque de carbono e fortemente correlacionada com a agregação do solo (DRIVER et al., 2005; PENG et al., 2013). Nesse estudo a glomalina apresentou alta correlação positiva com o COT do solo para os tratamentos D0 ($r = 0,98^*$), D1 ($r = 1^*$) e D2 ($r = 0,95^*$). As altas correlações encontradas entre a glomalina e COT indicam a grande contribuição dessa proteína no estoque de carbono do solo, como observado por Fokon et al. (2012). Já foi observado alta correlação entre glomalina e carbono orgânico em condição de clima temperado e tropical (PURIN, 2005; BENITI et al., 2007).

Os valores de $qMic$ não diferiram entre as áreas estudadas, variando de 0,96 a 1,32% na segunda coleta (Tabela 2). Esses valores são próximos aos encontrados em sistema de plantio direto com diferentes plantas de cobertura com média (1,83% e CBM 255 mg C kg⁻¹ de solo) no florescimento do feijoeiro, em Latossolo Vermelho distrófico

de textura argilosa (SILVA et al., 2007). Essa relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total indica se o teor de carbono encontra-se estável ou variando de acordo com o manejo (SPARLING, 1992). Os valores de q_{Mic} mostraram-se na mesma tendência do CBM com pouca variação entre os tratamentos. A relação expressa pelo q_{Mic} pode indicar se o carbono está em equilíbrio, acumulando ou diminuindo (ANDERSON & DOMSCH, 1989). No presente estudo pode-se observar que todos os tratamentos houve redução, exceção para os tratamentos D0 e D3 após a implantação do sistema. Assim está ocorrendo mudanças no padrão de entrada de carbono orgânico e que os tratamentos D0 e D3 há uma maior eficiência na conversão de carbono microbiano em carbono orgânico.

A biomassa microbiana representa a parte viva da matéria orgânica do solo e seu aumento implica numa maior imobilização temporária de carbono e nutrientes como o nitrogênio e fósforo (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Nesse sentido quando estão imobilizados na biomassa microbiana, estes nutrientes não são perdidos pela lixiviação/volatilização (nitrogênio) e fixação nos coloides do solo (fósforo), portanto é um fator importante no aumento e manutenção da disponibilidade de elementos no solo.

3.3 Respiração e q_{CO_2}

A respiração basal do solo mostrou diferenças estatísticas apenas na primeira coleta, com valores entre 2,46 a 4,03 mg C-CO₂ g⁻¹ h⁻¹, uma maior variabilidade e maior taxa respiratória que aquela observada na segunda coleta (Tabela 2).

A segunda coleta não apresentou diferenças estatísticas entre os tratamentos, indicando a pouca sensibilidade desse atributo para avaliar as diferenças de manejo aplicados ao solo, como observado por ALVES et al. (2011), após estudar diferentes tipos de manejo, avaliando a atividade microbiana. A respiração consiste na liberação de CO₂ produzido durante o processo de decomposição e mineralização da matéria orgânica, o seu valor elevado indica a mineralização de nutrientes no curto prazo e perda de carbono ao longo prazo, por isso é notória que a redução da respiração em alguns tratamentos no presente estudo, acompanha o comportamento do CBM.

Em contrapartida, houve redução da respiração em áreas com pastejo e aumento no CBM, portanto, foi observado que a microbiota se manteve ativa e estável com a diversidade de planta e pastejo dos animais, acumulando carbono e nitrogênio na própria biomassa microbiana. Os valores de respiração variaram de 2,16 a 4,03 mg C-CO₂ kg⁻¹ h⁻¹

¹, considerados baixos conforme proposto para Latossolos Vermelhos argilosos do Cerrado (LOPES et al, 2013; MENDES et al., 2015). Isso é confirmado com os índices de qCO_2 que se mantiveram menores na segunda coleta em todas as áreas estudadas (Tabela 2), indicando menor susceptibilidade de perdas de carbono, refletindo um ambiente mais estável, pois, quanto maior o valor de qCO_2 , maiores podem ser as condições de estresse na atividade metabólica do solo (ANDERSON & DOMSCH, 1993).

O quociente metabólico foi maior na primeira coleta para todos os tratamentos exceto para SP ao comparar com a segunda coleta (Tabela 2). Os valores de D0, D1, D2 e D3 apresentaram o qCO_2 reduzido em 50,41, 7,38, 15,2 e 39,26 %, já a área que manteve as mesmas condições durante as duas coletas foi SP que apresentou aumento de 10%, indicando possíveis condições de estresse. O aumento de diversidade de plantas garantiu uma similaridade entre os tratamentos, pois todos têm como base o sistema plantio direto, alguns estudos confirmam que em sistema de preparo convencional com a remoção do solo favorece para maiores valores de qCO_2 devido a exposição da matéria orgânica ao ataque de microrganismos (COSTA et al., 2004); PEREIRA et al., 2007; FERREIRA et al., 2010; CUNHA et al., 2012).

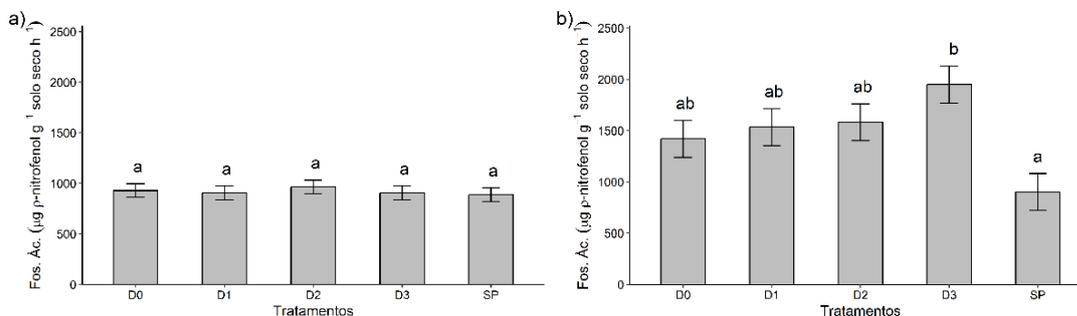
3.4 Atividade enzimática do solo

A atividade enzimática da fosfatase ácida não diferiu entre os tratamentos na primeira coleta (Figura 2). Já na segunda coleta observa-se diferenças significativas, com valores variando de 900 a 1949 μg PNP g^{-1} solo seco h^{-1} (Figura 2). Mendes & Vivaldi (2001), em área de Cerradão (Planaltina-DF), avaliando o solo na profundidade de 0-5 cm encontraram valores médios de atividade da fosfatase ácida de 2421 μg PNP g^{-1} de solo h^{-1} , próximos aos resultados encontrados nessa pesquisa.

Um ponto a ser destacado é o aumento da atividade da fosfatase na segunda coleta em relação a primeira, exceção para SP. Isso é importante pois a adoção de uma diversificação de plantas associado a entrada de animais podem ativar o sistema enzimático no solo o que contribui com a fertilidade do solo.

Alguns fatores influenciam a produção de fosfatase como pH, temperatura, fonte de carbono e nitrogênio (BEHERA et al., 2017), o uso de plantas de cobertura (leguminosas e gramíneas) também influenciam, proporcionando aumento na atividade da enzima no solo (ROSS et al., 1982; KISS et al., 1993).

Figura 2 - Atividade fosfatase ácida do solo sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense, antes da implantação (Primeira coleta) e após (Segunda coleta).



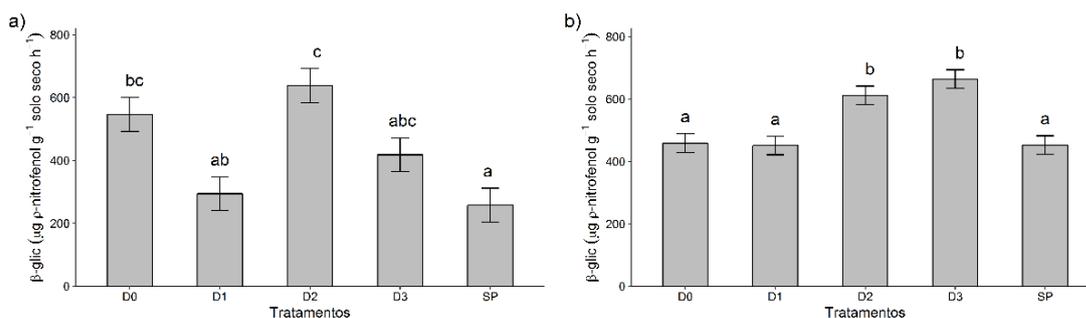
Legenda: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. (D0 – *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás cultivo solteiro; D1 – Paiaguás e feijão caupi; D2 – Paiaguás, feijão caupi e niger; D3 - Paiaguás com feijão caupi, niger, trigo mourisco e nabo forrageiro; SP - Paiaguás cultivo solteiro sem animais).

Fonte: Da autora (Laboratório de Biologia, Microbiologia e Processos Microbianos do Solo da UFLA), 2019.

Outros estudos corroboram com os resultados encontrados nesse trabalho (RATLIFF & FISK, 2016; MARGALEF et al., 2017; LEITE et al., 2018), onde há uma alta correlação positiva da fosfatase ácida com o COT e o NT, como foi observado nos tratamentos D2 ($r = 0,98^*$ e $r = 0,75^*$) e D3 ($r = 0,52^*$ e $r = 1^*$). As fosfatases podem estar associadas a disponibilidade de P, sendo que os baixos teores de P disponíveis pode induzir o aumento atividade da fosfatase ácida (MILANESI, 2015).

Os valores da atividade da β -Glicosidase apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, em ambas as coletas, mostrando uma heterogeneidade da área antes de implantação dos tratamentos para esta enzima (primeira coleta), com valores variando de 258 a 663 $\mu\text{g p-nitrofenol g}^{-1}$ solo seco h^{-1} (Figura 3) para as duas coletas. Os valores dessa atividade foram superiores aos encontrado em sistema de plantio direto no Cerrado (MENDES et al., 1999; MATSUOKA et al., 2002).

Figura 3 - Atividade da enzima β -Glicosidase do solo sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense, antes da implantação (Primeira coleta) e após (Segunda coleta).



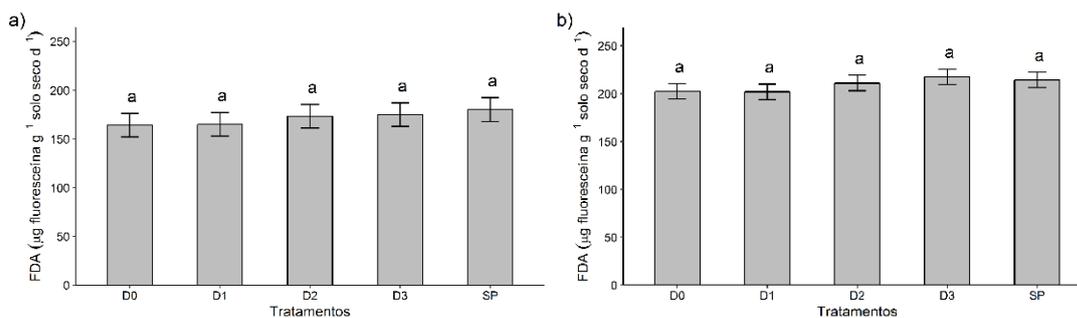
Legenda: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. (D0 – *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás cultivo solteiro; D1 – Paiaguás e feijão caupi; D2 – Paiaguás, feijão caupi e niger; D3 - Paiaguás com feijão caupi, niger, trigo mourisco e nabo forrageiro; SP - Paiaguás cultivo solteiro sem animais).

Fonte: Da autora (Laboratório de Biologia, Microbiologia e Processos Microbianos do Solo da UFLA), 2019.

Houve incremento da β -Glicosidase na segunda coleta para os tratamentos D1, D3 e SP de 53, 59 e 75%, respectivamente, indicando a presença do carbono prontamente disponível, devido a qualidade do material presente nas áreas o que proporciona alta atividade enzimática. A atividade da enzima β -glucosidase apresenta alta correlação com a MO na produção de metabolitos para os microrganismos do solo (EIVAZI & TABATABAI 1988), semelhante aos resultados deste estudo para os tratamentos D0 ($r = 0,95^*$) e D2 ($r = 0,73^*$).

A atividade da hidrólise do diacetato de fluoresceína não diferiu estatisticamente entre os tratamentos (Figura 4), com valores variando de 164 - 180 e 201 - 217 µg Fluoresceína g⁻¹ solo seco na primeira e segunda coleta, respectivamente, esses valores são inferiores aos encontrados por Santos et al. (2015), em Latossolo Vermelho distrófico no Sudoeste Goiano, sob diferentes manejos com histórico de cinco anos.

Figura 4 - Atividade da hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) do solo sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense, antes da implantação (Primeira coleta) e após (Segunda coleta).



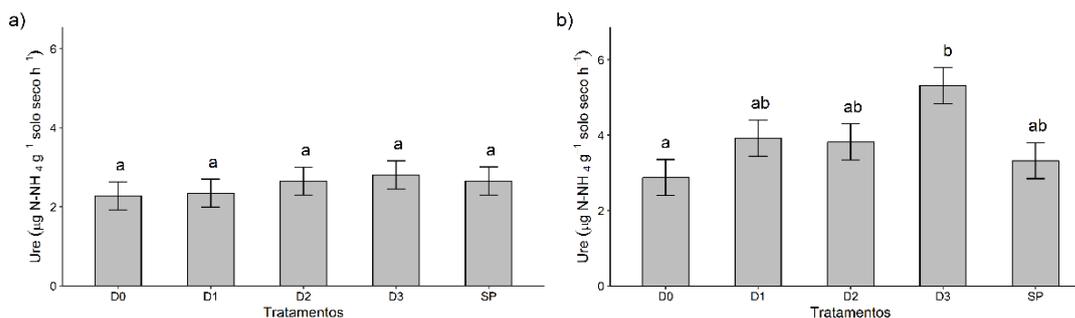
Legenda: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. (D0 – *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás cultivo solteiro; D1 – Paiaguás e feijão caupi; D2 – Paiaguás, feijão caupi e niger; D3 - Paiaguás com feijão caupi, niger, trigo mourisco e nabo forrageiro; SP - Paiaguás cultivo solteiro sem animais).

Fonte: Da autora (Laboratório de Biologia, Microbiologia e Processos Microbianos do Solo da UFLA), 2019.

Houve um incremento médio de 22 % na FDA na segunda coleta nos tratamentos, mostrando que os tratamentos têm grande influência na atividade enzimática dos solos agrícolas (ZATORRE et al., 2011), já demonstrado na fosfatase e na β -glucosidase. Esta análise mostra a atividade total hidrolítica do solo, relacionada com a atividade decompositora geral da microbiota do solo, podendo ser influenciada pelo sistema de plantio de direto com acréscimo de 18 a 186% na camada de 0-5 cm do solo (GREEN et al., 2007).

A urease não diferiu na primeira coleta (2,27 a 2,81 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1}$ solo seco h^{-1}). Ocorreu influência do manejo adotado para a segunda coleta (2,87 a 5,31 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1}$ solo seco h^{-1}) (Figura 5), o tratamento que teve maior atividade foi o que teve maior diversidade de plantas e pastejo (D3), por ter maior crescimento vegetativo e demandando N, o que pode ter estimulado a atividade da urease, pois para Stewart et al. (2016), o crescimento radicular pode estimular a atividade enzimática da urease.

Figura 5 - Atividade enzimática da urease do solo sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Matogrossense, antes da implantação (Primeira coleta) e após (Segunda coleta).



Legenda: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. (D0 – *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás cultivo solteiro; D1 – Paiaguás e feijão caupi; D2 – Paiaguás, feijão caupi e niger; D3 - Paiaguás com feijão caupi, niger, trigo mourisco e nabo forrageiro; SP - Paiaguás cultivo solteiro sem animais).

Fonte: Da autora (Laboratório de Biologia, Microbiologia e Processos Microbianos do Solo da UFLA), 2019.

Os valores deste estudo estão dentro da média encontrada por Lanna et al (2010), sob sistema de plantio direto em Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa no

Cerrado, testando diferentes coberturas vegetais, eles verificaram maior atividade ureolítica em áreas com vegetação de maior relação C/N, porém a relação para este estudo teve uma média de 8 (C/N) para os tratamentos. Portanto, a maior atividade no tratamento D3 deve estar relacionado ao estímulo a atividade dessa enzima pela maior diversidade de plantas. Esta enzima é influenciada por inúmeros fatores do solo como pH, potencial de água, aeração, textura e quantidade de C orgânico (SENGIK et al., 2001).

3.5 Comparação de diversidade de plantas e pastejo

Com base nas observações realizadas nesse estudo e devido ao curto prazo de implantação, foi possível verificar ganhos nas áreas que apresentaram maiores diversidade de plantas associado com animais, e decréscimo na área não pastejada conforme se observa na Tabela 3, resultados obtidos a partir de observações em valores absolutos.

Tabela 3 - Fatores de sensibilidade relativa dos parâmetros bioquímicos do solo na comparação entre os tratamentos com maior e menor diversidade de plantas, com e sem pastejo.

Parâmetros	Diversidade de Plantas (DP)	Animal (A)	DP + A
	D0 - D3 (%)	D0 - SP (%)	SP - D3 (%)
COT	- (10)*	< 1 (+)	- (7)
CBM	+ (14)	- (7)	+ (23)
RBS	+ (2)	- (4)	+ (7)
qCO_2	- (5)	+ (17)	- (19)
$qMic$	+ (18)	- (14)	+ (36)
β -glicosidase	+ (45)	- (1,3)	+ (47)
Fosfatase	+ (37)	- (36)	+ (117)
FDA	+ (7)	+ (6)	< 1 (+)
Urease	+ (85)	+ (16)	+ (60)
Glomalina	- (34)	+ (8)	- (38)

Legenda: *+ refere-se a ganho e – refere-se a perda de serviço. Valores entre parênteses refere-se a porcentagem. (D0 - *Urochloa brizantha* cv. BRS Paiaguás cultivo solteiro; D3 - Paiaguás com feijão caupi, niger, trigo mourisco e nabo forrageiro; SP - Paiaguás cultivo solteiro sem animais).

Os parâmetros bioquímicos que mostraram possíveis incrementos na área de SIPA com maior diversidade de plantas foram: CBM, β -glicosidase, fosfatase, FDA e urease (Tabela 3), isso mostra as vantagens do uso de maior diversidade como benefício na manutenção da atividade microbiana do solo.

O Pastejo foi eficiente em mostrar ganhos em relação a área com mesma vegetação e sem pastejo, pois, a área sem pastejo mostrou decréscimos para os parâmetros como CBM, β -glicosidase e fosfatase, q_{Mic} e aumento do q_{CO_2} .

A comparação entre D3 e SP reafirma as vantagens no comportamento dos parâmetros bioquímicos do solo para o tratamento que teve maior diversidade de plantas associado com entrada de animais, que apresentou incrementos para o CBM, q_{Mic} , β -glicosidase, fosfatase e urease e redução da RBS.

Levando em consideração ao curto prazo de implantação do sistema, ficou claro que inicialmente o uso de diversidade de plantas teve maior efeito, seguida pela entrada de animais, logo que, alguns parâmetros foram sensíveis em mostrar esse comportamento. Os parâmetros mais sensíveis foram o CBM, q_{Mic} , β -glicosidase e fosfatase. Considerando que esses parâmetros são indicadores de qualidade do solo pode-se aferir que o manejo de SIPA propicia melhorias nas condições bioquímicas do solo, aumentando a prestação de serviços ecossistêmicos nesse ambiente, mas para melhor compreensão é imprescindível a continuidade de estudos ao longo prazo.

4 CONCLUSÃO

As atividades enzimáticas da fosfatase ácida, β -glicosidase e urease foram os indicadores bioquímicos de qualidade de solo mais sensíveis em demonstrar as diferenças entre os tratamentos.

A diversidade de plantas proporcionou maiores atividades de fosfatase ácida, β -glicosidase e urease.

A inclusão de animais na área apresentou baixa influência sobre a melhoria dos parâmetros bioquímicos do solo, provavelmente por se tratar do primeiro ano de implantação do sistema.

REFERÊNCIAS

- ABBAS, M. et al. Biodiversity Effects on Plant Stoichiometry. **Plos One**, v. 8, n. 3, 2013.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. Academic Press, 1995.
- ALVES DE CASTRO LOPES, André et al. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 2, p. 461-472, 2013.
- ALVES, T. S. et al. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 341-347, 2011.
- AMBUS, J. V. et al. Changes in composition and functional soil properties in long-term no-till integrated crop-livestock system. **Geoderma**, v. 330, p. 232-243, 2018.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO₂ (q CO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.
- ANDERSON, T.; DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. **Soil biology and biochemistry**, v. 21, n. 4, p. 471-479, 1989.
- ARAÚJO T. S. et al. 2019. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42(2) p. 347-357, 2019.
- BALOTA, E. L. et al. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Embrapa Soja-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1998.
- BATISTA, E. R. et al. Parâmetros biológicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. In: **SOUZA, E. D.; SILVA, F. D.; ASSMANN, T. S.; CARNEIRO, M. C. C.; CARVALHO, P. C. F.; PAULINO, H. P. Sistemas Integrados de Produção Agropecuária no Brasil**. 1 ed. Tubarão-Santa Catarina, Ed. Copiart, p. 662, 2018.
- BEDINI, S. et al. Effects of long-term land use on arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 120, n. 2-4, p. 463-466, 2007.
- BEHERA, B. C. et al. Phosphate solubilization and acid phosphatase activity of *Serratia* sp. isolated from mangrove soil of Mahanadi river delta, Odisha, India. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 15, n. 1, p. 169-178, 2017.
- BLANCO-CANQUI, H. et al. Cover crops and ecosystem services: Insights from studies in temperate soils. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2449-2474, 2015.

- BONETTI, J. A. et al. Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock system in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 11, p. 1239-1247, 2018.
- CARNEIRO, M. A. C. et al. **Parâmetros físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob os diferentes sistemas de uso e manejo**. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, 33, p. 147 – 157, 2009.
- CARVALHO, P.C. et al. Animal production and soil characteristics from integrated crop-livestock systems: toward sustainable intensification. **Animal Science**. 96, p. 3513-3525, 2018.
- CONG, J. et al. Analyses of soil microbial community compositions and functional genes reveal potential consequences of natural forest succession. **Scientific reports**, v. 5, p. 10007, 2015.
- CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C. Culturas de cobertura e sua influência na fertilidade do solo sob sistema de plantio direto (SPD). **Bioscience Journal**. v.24, p.20-31, 2008.
- COSTA, F. S. et al. Aumento de matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, p.587-589, 2004.
- COUTO, G. M. et al. Response of soil microbial biomass and activity in early restored lands in the northeastern Brazilian Atlantic Forest. **Restoration Ecology**, v. 24, n. 5, p. 609-616, 2016.
- CUNHA, E. Q. et al. Parâmetros físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2012.
- MENDES, I. C. et al. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 191-209, 2017.
- MORAES, J. M. A. S. et al. Arbuscular mycorrhizal fungi in integrated crop livestock systems with intercropping in the pasture phase in the Cerrado. **Rhizosphere**, p. 100165, 2019.
- DIACK, M. **Relationships between soil biological and chemical characteristics and surface soil structural properties for use in soil quality**. West Lafayette. Purdue University, 1997. 221p. (Tese de Doutorado)
- DIAS, A. T. C. et al. Plant species richness regulates soil respiration through changes in productivity. **Oecologia**, 163(3): p. 805-813, 2010.
- DICK, R. P. et al. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. **Methods for assessing soil quality**, n. methodsforasses, p. 247-271, 1996.

- DRIVER, J. D. et al. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 1, p. 101-106, 2005.
- EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, n. 5, p. 601-606, 1988.
- FERREIRA, E. P. B. et al. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage managements. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.177-183, 2010.
- FOKOM, R. et al. Glomalin related soil protein, carbon, nitrogen and soil aggregate stability as affected by land use variation in the humid forest zone of south Cameroon. **Soil Tillage Research**, v. 120, p. 69-75, 2012.
- FRANCHINI, J. C. et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1-2, p. 18-29, 2007.
- GREEN, V. S. et al. Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1/2, p.114-121, 2007.
- HOFFMANN, R. B. et al. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 168-178, 2018.
- HUNGRIA, M. et al. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied Soil Ecology** 42, 288–296, 2009.
- JARDIM, A. M. R. Ferraz et al. Symbiotic interaction in forage crop cultivations: a review. **Amazonian Journal of Plant Research**, v. 2, n. 1, p. 149-160, 2018.
- KASCHUK, G. et al. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. 1-13, 2010.
- KISS, S. et al. Enzymology of the Recurvation of Technogenic Soils. In: **Advances in Agronomy**. Academic Press, p. 229-278, 1989.
- LANGE, M. et al. Biotic and abiotic properties mediating plant diversity effects on soil microbial communities in an experimental grassland. **Plos One**, 9: 96182, 2014.
- LANNA, A. C. et al. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2010.
- LEITE, M. V. M. et al. Modeling of soil phosphatase activity in land use ecosystems and topsoil layers in the Brazilian Cerrado. **Ecological modelling**, v. 385, p. 182-188, 2018.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. A career perspective on soil management in the Cerrado region of Brazil. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 137, p. 1-72, 2016.

MARGALEF, O. et al. Global patterns of phosphatase activity in natural soils. **Scientific reports**, v. , n. 1, p. 1337, 2017.

MATSUOKA, M. et al. 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 Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2003.

MEENA, R. S. et al. Response and interaction of Bradyrhizobium japonicum and arbuscular mycorrhizal fungi in the soybean rhizosphere. **Plant growth regulation**, v. 84, n. 2, p. 207-223, 2018.

MENDES, I. C. et al. Biomassa C e atividade microbiana em solos de cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Embrapa Cerrados-Outras publicações técnicas (INFOTECA-E)**, 1999.

MENDES, I.C. & VIVALDI, L. Dinâmica da biomassa e atividade microbiana em uma área sob Mata de Galeria na região do DF. In: **RIBEIRO, J.F.; SILVA, J.C.S. & LAZARINI, C.E., eds. Conservação e recuperação da biodiversidade das Matas de Galeria do bioma Cerrado**. Planaltina, EMBRAPA Cerrados, 2001. p.665-687.

MILANESI, J.H. **Adubação da cultura da soja baseada nos teores mínimos de fósforo e potássio no solo**. 2015. 73p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MORAES, A. et al. Sistemas integrados de produção agropecuária: Conceitos básicos e histórico no Brasil. In: **SOUZA E. D.; SILVA F. D; ASSMANN T. S.; CARNEIRO M. C. C.; CARVALHO, P. C. F.; PAULINO, H. P. Sistemas Integrados de Produção Agropecuária no Brasil**. 1 ed. Tubarão-Santa Catarina, Ed. Copiart, p. 662, 2018.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Biotecnologia do Solo. **Editora UFLA**, v. ed. 2, p. 729, 2006.

NOGUEIRA, M.A et al. Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brazil. **Agriculture Ecosystems and Environment**, 115, 237–247. 2006.

PENG, S. et al. The effects of arbuscular mycorrhizal hyphal networks on soil aggregations of purple soil in sothwest China. **Soil Biology Biochemistry**, v. 57, n. 2, p. 411–417, 2013.

PEREIRA, A. A. et al. Variações qualitativas e quantitativas na microbiota do solo e na fixação biológica do nitrogênio sob diferentes manejos com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1397-1412, 2007.

PETERSON, C.A. et al. Ways forward for resilience research in agroecosystems. **Agricultural Systems**. 162, 19-27, 2018.

PROBER, S. M. et al. **Plant diversity predicts beta but not alpha diversity of soil microbes across grasslands worldwide.** *Ecology Letters*, 18, p. 85-95, 2015.

PURIN, S. **Fungos micorrízicos arbusculares: atividade, diversidade e aspectos funcionais em sistemas de produção de maçã.** Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina (Dissertação de Mestrado), 2005.

RATLIFF, T. J.; FISK, M. C. Phosphatase activity is related to N availability but not P availability across hardwood forests in the northeastern United States. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 94, p. 61-69, 2016.

ROSS, D. J. et al. Restoration of pasture after topsoil removal: effects on soil carbon and nitrogen mineralization, microbial biomass and enzyme activities. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 14, n. 6, p. 575-581, 1982.

RYSCHAWY, J. et al. Mixed crop– livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming?. **Animal**, v. 6, 1722–1730, 2012.

SANTOS, F. L. et al. Parâmetros bioquímicos do solo sob diferentes sistemas de produção no sudoeste Goiano. **Global science and technology**, v. 8, n. 2, 2015.

SENGIK, E. et al. Perdas de amônia em solo e de resíduos orgânicos autoclavados e tratados com uréia. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 23, p. 1099-1105, 2001.

SILVA, M. B. et al. Parâmetros biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 12, p. 1755-1761, 2007.

SOUZA, E. D. et al. Matéria orgânica do solo em sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil. **In: SOUZA E. D.; SILVA F. D; ASSMANN T. S.; CARNEIRO M. C. C.; CARVALHO, P. C. F.; PAULINO, H. P. Sistemas Integrados de Produção Agropecuária no Brasil.** 1 ed. Tubarão-Santa Catarina, Ed. Copiart, p. 662, 2018.

SOUZA, E. D. et al. Soil quality indicators in a Rhodic Paleudult under long term tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 139, p. 28-36, 2014.

SOUZA, E.D. et al. Fitomassa e acúmulo de nitrogênio, em espécies vegetais de cobertura do solo para um Latossolo Vermelho distroférico de Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.30, n.4, p.525-531, 2008.

SOUZA, DMG de; LOBATO, Edson. Cerrado: correção do solo e adubação. **Planaltina: Embrapa Cerrados**, 2004.

SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v.30, p.195-207, 1992.

STEWART, C. E. et al. N fertilizer and harvest impacts on bioenergy crop contributions to SOC. **GCB Bioenergy**, v. 8, p. 1201–1211, 2016.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Distribution of Total and Available Sulfur in Selected Soils and Soil Profiles 1. **Agronomy Journal**, v. 64, n. 1, p. 40-44, 1972.

VANCE, E. D. et al. An extraction method for measuring soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 19:703-707, 1987.

WITHERS, P. J. A. et al. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific reports**, v. 8, n. 1, p. 2537, 2018.

WRIGHT, S. F. et al. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, v. 181, n. 2, p. 193-203, 1996.

WRIGHT, Sara F.; UPADHYAYA, Abha. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil science**, v. 161, n. 9, p. 575-586, 1996.

WRIGHT, Sarah F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and soil**, v. 198, n. 1, p. 97-107, 1998.

ZATORRE, N. P. et al. Influência dos sistemas agrícolas na atividade enzimática do solo. In: **Embrapa Agrobiologia-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. SEMANA CIENTÍFICA JOHANNA DÖBEREINER, 11, 2011, Seropédica. Mudanças climáticas, desastres naturais e prevenção de riscos: resumos. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2011.

CAPITULO 2 COMPORTAMENTO DOS PARÂMETROS BIOQUÍMICOS DO SOLO EM UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO NO CERRADO MATO-GROSSENSE SUBMETIDO A DIVERSIDADE DE PLANTAS SOB SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

RESUMO

O uso de práticas conservacionistas é um avanço na agricultura, principalmente com o uso de culturas de alto valor econômico. O estado do Mato Grosso (MT) é referência na produção de *commodities*, e com área expressiva de solos arenosos, com destaque para Neossolo Quartzarênico que denota baixa retenção hídrica e de cátions, considerado como ambiente vulnerável para muitas práticas agrícolas. Portanto, a adoção do SIPA (Sistemas Integrados de produção Agropecuária) associado com a diversidade contribui para melhor aproveitamento dos nutrientes disponíveis às plantas, e com isso maior diversidade de compostos orgânicos que favorece maior atividade microbiana no solo. O objetivo deste trabalho, portanto, consistiu em avaliar o comportamento dos parâmetros bioquímicos do solo em Neossolo Quartzarênico submetido a diversidade de planta em SIPA. Este estudo foi realizado na área experimental do Instituto Mato-grossense do Algodão (IMA), na cidade de Rondonópolis – MT, com temperatura média anual de 24,8 °C, e pluviosidade média anual de 1524 mm. O delineamento foi em blocos casualizados com três repetições, os tratamentos consistiram: S1 – Pousio; S2 – *Urochloa ruziziensis*, niger e nabo forrageiro; S3 - *U. ruziziensis*, niger, nabo forrageiro e estilosante; S4 - *U. ruziziensis* e Mamona; S5 - *U. ruziziensis*, niger, nabo forrageiro, estilosante e animais. Os parâmetros bioquímicos avaliados foram: carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), atividade enzimática (fosfatase ácida, hidrólise do diacetato de fluoresceína, urease e β -glicosidase). O valores de CBM diferiram pelo teste de Tukey a 5%, com valores de 86 a 190 $\mu\text{g g}^{-1}$ maiores valores foram obtidos para os tratamentos S3 e S5 que foram as áreas com maior diversidade de plantas. Ao ser comparado a valor inicial antes da implantação do experimento houve um decréscimo médio para todas as áreas de 40 % no CBM, devido, provavelmente, a qualidade e quantidade da fitomassa decorrente das diferentes plantas utilizadas nos sistemas estudados assim como o curto prazo de implantação do experimento. Ao comparar os tratamentos pousio (S1) como referência houve incremento de CBM para todas as áreas com destaque para S3 e S5 (115 e 121%). A atividade enzimática do solo foi sensível em verificar diferenças entre o manejo adotado, A β -glicosidase variou de 389 a 642 $\mu\text{g p-n g}^{-1}$ e urease 1, 6 a 5,5 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{ h}^{-1}$. A adoção de sistemas de manejo favoreceu o incremento de carbono no solo quando comparado ao pousio. A entrada de animais favoreceu a atividade microbiana do solo e entrada de carbono no sistema com maior diversidade de plantas.

Palavras-chaves: Diversidade de plantas. Atividade microbiana. Solo.

ABSTRACT

The Cerrado is one of the biomes with great prominence in the productive scenario of the country, but for this it was necessary to optimize management techniques such as no-till, crop rotation, plant diversity and SIPA (Integrated Agricultural Production Systems). The use of these conservation practices has improved agricultural advancement, especially with crops of high economic value. The state of Mato Grosso (MT) is a reference in the production of (commodities), and with an expressive area of sandy soils with emphasis on Entisols (Neossolo Quartzarênico) that denotes low water retention and cations, considered as a vulnerable environment for many practices including agriculture. Therefore, the adoption of SIPA associated with diversity contributes to better utilization of nutrients available to plants, and thus greater diversity of organic compounds that favors greater microbial activity in the soil. The objective of this work was to evaluate the behavior of soil biochemical parameters in Entisols (Neossolo Quartzarênico) under plant diversity in SIPA. This study was conducted in the experimental area of the Mato Grosso Cotton Institute (IMA), in the city of Rondonópolis - MT, with an annual average temperature of 24.8 °C, and average annual rainfall of 1524 mm. The design was in randomized blocks with three replications. The treatments consisted of: S1 - Fallow; S2 - *Urochloa ruziziensis*, niger and forage turnip; S3 - *U. ruziziensis*, niger, forage turnip and styling; S4 - *U. ruziziensis* and castor bean; S5 - *U. ruziziensis*, niger, forage turnip, styling and animals. The biochemical attributes evaluated were: microbial biomass carbon (CMB), soil basal respiration (RBS), enzymatic activity (acid phosphatase, fluorescein diacetate hydrolysis, urease and β -glucosidase). CMB values differed by Tukey test at 5%, with values from 86 to 190 $\mu\text{g g}^{-1}$ higher values were obtained for treatments S3 and S5 which were the areas with the highest plant diversity. When compared to the initial value before the implementation of the experiment there was an average decrease for all areas of 40%, this decrease must be associated with the quality and quantity of the phytomass resulting from the different plants used in the studied systems as well as the short term of implantation. experiment. When comparing the treatments being fallow (S1) as reference, there was an increase for all areas with emphasis on S3 and S5 (115 and 121%). The enzymatic activity of the soil was sensitive to verify differences between the management adopted for β -glucosidase ranging from 389 to 642 $\mu\text{g p-n g}^{-1}$ and urease 1, 6 to 5.5 $\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{h}^{-1}$. The adoption of management systems favored the increment of carbon in the soil when compared to the fallow. Animal feed favored soil microbial activity and carbon intake in the S5 system.

Keywords: Plant diversity. Microbial activity. Soil.

1 INTRODUÇÃO

Com o aumento da demanda por alimento houve a expansão das áreas agrícolas e o desenvolvimento de tecnologias, a fim de melhorar as práticas agrícolas e introduzir novas áreas no cenário produtivo nacional, como por exemplo, as áreas do Cerrado (DONAGEMMA et al., 2016). O Cerrado destaca-se por seu clima tipicamente quente e tropical, com duas estações, verões chuvosos e invernos secos, e solos altamente intemperizados com baixa disponibilidade de nutrientes, o que exige manejos intensivos para serem cultivados (LOPES & GUILHERME, 2016). Com uso de práticas conservacionistas observa-se um grande avanço na agricultura, principalmente com culturas de alto valor econômico, como grãos, fibras, carne e biocombustível, que atualmente são utilizadas no sistema de rotação de culturas (SANTOS et al., 2008).

O estado do Mato Grosso, é referência na produção de *commodities* no Cerrado, possui uma elevada diversidade de solos, sendo que aproximadamente 13% são solos arenosos, com destaque a presença de Neossolo Quartzarênico. Esses solos têm baixa aptidão agrícola e são extremamente frágeis apresentando cerca 85% de areia, com baixa retenção hídrica e de cátions, o que condiciona um manejo diferenciado de outros solos para serem produtivos (RAMALHO FILHO & BEEK, 1995; SALVIANO, 2017).

Os solos arenosos são diversos, apresentando-se desde rasos a profundos. Segundo Salviano et al. (2017), os solos arenosos que apresentam elevada profundidade efetiva e topografia plana, como alguns Neossolos Quartzarênicos, permitem a exploração agrícola mecanizada, no entanto, um dos principais fatores limitantes são seus baixos teores de matéria orgânica. Dessa forma, a incorporação de solos arenosos para o agronegócio deve dispor de manejos que visem elevar a matéria orgânica. Nesse sentido, os sistemas conservacionistas de produção, por exemplo o SIPA (Sistemas Integrado de Produção Agropecuário), são alternativas de manejo que melhoram a dinâmica do carbono no solo e podem contribuir com a sustentabilidade do solo.

O uso de SIPA é uma tecnologia que vem apresentando bons resultados em diferentes regiões do país, pois, favorecem os parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo como o: maior acúmulo de carbono ao solo, ciclagem de nutrientes e atividade microbiana, contribuindo para a não degradação desses solos (ALVARENGA et al., 2010; CARNEIRO et al., 2013; BONETTI et al., 2018).

A adoção do SIPA associado com a diversidade contribui para maior diversidade de compostos orgânicos que entram no solo via necromassa (fitomassa e raízes) e pela

rizodeposição, favorecendo uma maior atividade microbiana no solo. Portanto, solos cultivados com diferentes espécies de plantas e associados ao sistema de plantio direto favorecem a sua qualidade (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009). A adoção do pastejo animal no SIPA pode favorecer ainda mais a entrada de carbono no solo (fezes e urina) e contribuir com uma elevada produtividade, tornando o sistema rentável e sustentável, principalmente em solos frágeis como os Neossolo Quartzarênico.

O uso de parâmetros bioquímicos do solo pode auxiliar na adoção de estratégias de manejo mais adequado para solos frágeis como Neossolo Quartzarênico, no entanto, estudos com este foco ainda são escassos (CARNEIRO et al., 2013; LEITE, 2017). O objetivo deste trabalho consiste em avaliar o comportamento dos parâmetros bioquímicos do solo em Neossolo Quartzarênico submetido à diversidade de planta em SIPA e a entrada de animais em sistema integrados de produção agrícola no Cerrado.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área

Este estudo foi realizado na área experimental do Instituto Mato-grossense do Algodão (IMA), na cidade de Rondonópolis - MT (latitude 16° 28' 15" S, longitude 54° 38' 08" W e altitude 227 m). O clima é de acordo com Köppen classificado como Aw (com verões chuvosos e invernos secos) com temperatura média anual de 24,8 ° C, e pluviosidade média anual de 1524 mm.

O solo classificado como Neossolo Quartzarênico com teores de argila 11,4, silte 4,8 e areia 83,28 (dag kg⁻¹), área era formada por pastagem até o início de cultivo sucessivo de soja/pasto (*Urochloa ruziziensis*) no ano de 2014 até a implantação do experimento. Os tratamentos culturais adotados antes da implantação do experimento foram os recomendados para a região, 2,5 toneladas de calcário ha⁻¹ e 10 toneladas ha⁻¹ de pó de rocha, plantio direto, adubação na linha da soja, 250 kg ha⁻¹ de MAP (fosfato monoamônico 10% de N e 46 a 50% de P₂O₅), sem adubação no pasto. O experimento foi implantado após a colheita da soja na safra/2017, delineamento experimental foi em blocos casualizados com cinco tratamentos e três repetições, em área total de 5,6 ha. Os tratamentos foram constituídos de arranjos com diferentes coberturas de plantas e entrada de animais, exceto um sem pastejo conforme (Tabela 4).

Tabela 4 - Composição dos tratamentos, semeadura e matéria seca.

Tratamentos	Organização	Semeadura	Matéria Seca (Mg/ha)
Sistema 1	Soja / Pousio;		8056
Sistema 2	<i>Urochloa ruziziensis</i> , niger, nabo forrageiro;	<i>U. ruziziensis</i> (10 kg ha ⁻¹) consorciado com niger e nabo forrageiro (3.5 kg ha ⁻¹ cada);	8280
Sistema 3	<i>U. ruziziensis</i> , niger, nabo forrageiro e estilozantes;	<i>U. ruziziensis</i> (10 kg ha ⁻¹) consorciado com niger, nabo forrageiro e estilozantes (3.5 kg ha ⁻¹ cada);	12205
Sistema 4	<i>U. ruziziensis</i> e mamona;	Mamona consorciada (3 sementes m ⁻¹ 90 cm de espaçamento) com <i>U. ruziziensis</i> (8 kg ha ⁻¹ com 90 cm de espaçamento entre as linhas de mamona);	7709
Sistema 5	<i>U. ruziziensis</i> , niger, nabo forrageiro com entrada de animais.	<i>U. ruziziensis</i> (8 kg ha ⁻¹) consorciado com niger, nabo forrageiro e estilozantes (3.5 kg ha ⁻¹ cada).	10473

A prática de semeadura a lanço para plantas de cobertura foi adotada em função de sucesso em algumas propriedades no Mato Grosso, já a semeadura para as gramíneas foi com uso de semeadora, conforme (Tabela 4).

O pastejo foi contínuo, com entrada dos animais em altura média da pastagem de 80 cm. O pastejo foi utilizando um rebanho bovino formado por animais fêmeas, mestiças da raça nelore com holandês, na fase de recria com média de peso 250 kg. A taxa de lotação foi de cinco animais por parcela (2,7 UA ha⁻¹) entraram dia 19/6/18, 2 animais foram retirados de cada parcela dia 22/08 (32 dias), reduzindo a taxa de lotação para 1,6 UA ha⁻¹, finalizando o pastejo no dia 12/09 (53 dias).

Foram realizadas duas coletas de solo antes e após a implantação do experimento. A primeira coleta foi realizada na última quinzena de novembro/2017 no florescimento da soja, antes da implantação do experimento. Após a implantação do experimento foi realizado uma segunda coleta em dezembro/2018 no florescimento da soja. O solo em ambas coletas foi coletado na profundidade de 0-10 cm, encaminhado para o laboratório de microbiologia do solo da UFLA (Universidade Federal de Lavras), as amostras foram secas ao ar e passadas na peneira de 2 mm, para posteriormente realização das análises químicas e bioquímicas. As análises químicas foram adotadas para caracterização da área (Tabela 5).

Tabela 5 - Caracterização química da área de estudo, antes e após implantação do experimento.

	Primeira Coleta					
	S1	S2	S3	S4	S5	CV (%)
pH ⁽¹⁾	6,8 a	7,1 a	6,8 a	7,2 a	7,2 a	3,17
P ⁽²⁾ (mg dm ⁻³)	82,7 a	100,8 a	102 a	82,3 a	115,1 a	14,25
K (mg dm ⁻³)	48,9 a	77,7 a	55,5 a	64 a	68,1 a	18,81
Ca ²⁺ (3)(cmol _c dm ⁻³)	2,5 a	2,9 a	2,7 a	2,6 a	2,9 a	11,65
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,1 a	1,3 a	1,2 a	1,2 a	1,3 a	11,79
N ⁽⁴⁾ (g kg ⁻¹)	0,93 a	1,01 a	0,88 a	0,87 a	1,06 a	21,49
Al ³⁺ (3) (mg dm ⁻³)	0,03 a	0,03 a	0,03 a	0,02 a	0,03 a	8
Zn (mg dm ⁻³)	2,67 ab	4,66 a	0,96 a	2,90 ab	3,16 ab	27,33
Fe (mg dm ⁻³)	50,93 a	76,36 a	45,22 a	45,92 a	62,37 a	21,69
Mn (mg dm ⁻³)	15,68 a	18,52 a	17,28 a	18,26 a	18,82 a	27,14
Cu (mg dm ⁻³)	0,13 a	0,23 a	0,13 a	0,20 a	0,13 a	73,89
MO ⁽⁵⁾ (dag kg ⁻¹)	1,4 a	1,6 a	1,7 a	1,5 a	1,7 a	7,92
P-rem	49,3 a	51,6 a	51,7 a	48,9 a	51,8 a	4,36
	Segunda Coleta					
	S1	S2	S3	S4	S5	CV (%)
pH (H ₂ O)	6,4 a	6,6 a	6,5 a	6,7 a	6,6 a	3,08
P (mg dm ⁻³)	58 a	136 c	114 bc	83 ab	65 a	12,2
K(mg dm ⁻³)	115 a	153 ab	190 b	142 ab	142 ab	14,47
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	2,6 a	2,8 a	2,8 a	2,5 a	2,8 a	8,11
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,0 a	1,1 a	1,2 a	1,0 a	1,1 a	11,31
N (g kg ⁻¹)	0,88 a	1,0 a	0,93 a	0,84 a	0,84 a	10,86
Al ³⁺ (3) (mg dm ⁻³)	0,04 a	0,05 a	0,05 a	0,04 a	0,02 a	31,2

Zn (mg dm ⁻³)	3,9 a	3,3 a	3,1 a	3,3 a	3, 6 a	19,06
Cu (mg dm ⁻³)	0,25 a	0,34 a	0,20 a	0,26 a	0,46 a	45,26
Fe (mg dm ⁻³)	49 a	41 a	45 a	60 a	57 a	26,19
Mn (mg dm ⁻³)	18 a	21 a	18 a	19 a	18 a	28,33
MO (dag kg ⁻¹)	1,3 ab	1,7 b	1,4 ab	1,2 a	1,5 ab	19,06
Prem (mg dm ⁻³)	50 b	52 b	43 ab	51 b	36 a	9,58

Legenda: ⁽¹⁾pH em H₂O; ⁽²⁾P, K, Zn, Fe, Cu e Mn: Mehlich 1; ⁽³⁾Ca, Mg e Al: KCl -1mol/L; ⁽⁴⁾N: Kjeldahl; ⁽⁵⁾(MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N+ H₂SO₄ 10N. Médias seguidas na mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (p ≤ 0.05). Sendo: S1 – Pousio; S2 – *Urochloa ruziziensis*, niger e nabo forrageiro; S3 - *U. ruziziensis*, niger, nabo forrageiro e estilosante; S4 - *U. ruziziensis* e Mamona; S5 - *U. ruziziensis*, niger, nabo forrageiro, estilosante e animais.

2.2 Análises bioquímicas

2.2.1 Estimativa do carbono da biomassa microbiana (CBM)

A metodologia adotada para a extração do carbono foi a de Vance et al. (1987), com uso de K₂SO₄ (Sulfato de Potássio) a 0,5 M, após fumigação com clorofórmio (livre de álcool), podendo ser usado em solos ácidos e/ou neutros. As amostras foram feitas triplicatas, sendo três fumigadas e três não fumigadas (controle), pesado 20 g para cada amostra de solo úmido. As amostras não fumigadas foram acondicionadas num dessecador por 27 °C por 24 horas e as fumigadas foram acondicionadas num dessecador (fornado com papel toalha úmido), com a 25 mL de clorofórmio purificado em um becker pequeno, com pérolas de vidro. Incuba-se à 27 °C por 24 horas. Para a extração, a amostra de solo foi transferida para erlenmeyer de 125 mL, adicionando-se 100 ml de K₂SO₄, agitado por 30 minutos à 150 rpm e a suspensão é filtrada (papel de filtro Whatman no 42). O carbono orgânico dos extratos foi determinado pela digestão de 8 ml do extrato filtrado com 2 mL de K₂Cr₂O₇ (Dicromato de Potássio) e uma mistura de 2 partes (10 mL) de H₂SO₄ concentrado e uma parte de (5 mL) de H₃PO₄ concentrado. A mistura é levada a chapa quente deixando por 5 minutos após o surgimento das primeiras bolhas. Após o resfriamento é acrescentado 10 mL de água destilada. O excesso de K₂Cr₂O₇ é determinado por titulação com sulfato ferroso amoniacal, usando difenilamina como indicador até a mudança de cor azul para a cor verde garrafa. Nas amostras em interferência dos reagentes a quantidade de K₂Cr₂O₇ consumida é calculada pela diferença entre uma digestão “em branco” de 8 mL de K₂SO₄, menos aquela restante na digestão do extrato de solo.

2.2.2 Respiração basal

A determinação da Respiração basal do solo (RBS) foi conforme a metodologia proposta por Alef (1995). Alíquotas de 20 g de solo foram mensuradas em copos de plástico e incubados por 72 h a 28 °C em frascos de vidro hermeticamente fechados juntamente com um segundo frasco contendo 20 mL de hidróxido de sódio (NaOH, 0,05 M). Após a incubação o CO₂ evoluído das amostras e capturado pelo NaOH foi quantificado por titulometria utilizando HCl (0,05 M), na presença de fenolftaleína a 0,1% como indicador.

2.2.3 Quociente metabólico do solo (qCO_2)

Para análise do quociente metabólico foi calculado o índice da relação da RBS pela unidade de BMS-C em determinado tempo, analisado para verificar o teor de substrato consumido pelos microrganismos do solo (ANDERSON & DOMSCH, 1993), com uso da formula ($\mu\text{g CO}_2 \mu\text{g}^{-1} \text{BMS-C h}^{-1}$).

2.2.4 β -glicosidase

A metodologia utilizada foi a de Eivazi & Tabatabai (1988). Uma alíquota de 1 g de solo foi pesada em erlenmeyer de 50 mL, adicionado 4 mL de MUB (pH 6,0), 1 mL da solução de p-nitrofenil- β -D-glucosídeo (PNG), agitado por alguns segundos para misturar o conteúdo. Fechado o frasco e incubado por 1 hora à 37 °C. Amostras controle também foram feitas, seguindo o mesmo procedimento, só que sem a adição de substrato. Após esse período, adicionado 1 mL de de CaCl₂ e 4 mL do tampão THAM (pH 12), agitado por alguns segundos e filtrado a solução com papel filtro Whatman 12. A leitura foi realizada por espectrofotômetro a 410 nm. O cálculo do conteúdo PNF foi calculado pela diferença de densidade óptica (D.O.) entre amostra e controle, plotando no gráfico obtido da curva da solução padrão contendo 0,10, 20, 30, 40 e 50 μg de PNF, considerando o peso seco do solo.

2.2.4 Fosfatase ácida

A mensuração da atividade da fosfatase é baseada na leitura em espectrofotômetro do *p*-nitrofenol resultante da atividade enzimática, conforme descrito por Dick et al. (1996). Usado 1 g de solo, adicionando as seguintes soluções: 4 mL de tampão (pH 6,5) e 1 mL de *p*-nitrofenil-fosfato (PNF: 0,05 mol L⁻¹). As amostras controle (branco) não receberam PNF no início, somente no fim do processo após adição de CaCl₂ e NaOH, agitado por 3 minutos e levado à incubação a 37 °C pelo período de 1 hora. A reação foi interrompida com 1 mL de CaCl₂ (0,5 mol L⁻¹) e 4 ml de NaOH (0,5 mol L⁻¹), agitado a solução por 3 minutos para homogeneizar a amostra. Adicionado 1 mL de PNF aos brancos, filtradas em papel de filtro (Whatman n° 42) e lidas em espectrofotômetro.

2.2.5 Urease

Foi adotado a metodologia de Tabatabai & Bremner (1972). Pesado 5 g de solo, adicionado 9 mL de tampão (pH 9) e 1 mL de solução com ureia (0,2 mol L⁻¹), incubado por 2 horas a 37 °C. Após a incubação adicionar 40 mL de KCl – Ag₂SO₄ para interromper a reação e agitado por 30 minutos à 150 rpm. O sobrenadante da solução obtida foi filtrado e pipetado 20 mL, levado para o microdestilador adicionando-se 0,2 g de MgO. No microdestilador foi adicionado 15 mL de NaOH (13 mol L⁻¹) e levado para aquecimento, o destilado foi recolhido em erlenmeyer com solução de ácido bórico, contendo como indicadores o vermelho de metila e verde de bromocresol. A titulação é feita com solução padronizada de ácido sulfúrico (0,005 mol L⁻¹). Para cada amostra foi feita o controle, sendo que nestes a ureia foi adicionada somente após a solução de KCl – Ag₂SO₄.

2.2.6 Hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA)

A estimativa da Hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) foi segundo à metodologia proposta por Diack (1997). Pesado 2 g de solo em um tubo com capacidade para 100 mL, adicionado 50 mL da solução tampão com a fluoresceína e incubado em rotação a 35 °C por 24 horas. Após este período, foi adicionado 2 mL de acetona para interromper a reação, centrifugado o solo em suspensão a 3840 RPM por 5 minutos e filtrado o sobrenadante com papel de filtro Whatman n° 42. Efetuado a mensuração em

espectrofotômetro em 490 nm. Feito o controle seguindo os mesmos procedimentos descritos acima exceto a adição de substrato.

2.3 Análise estatística

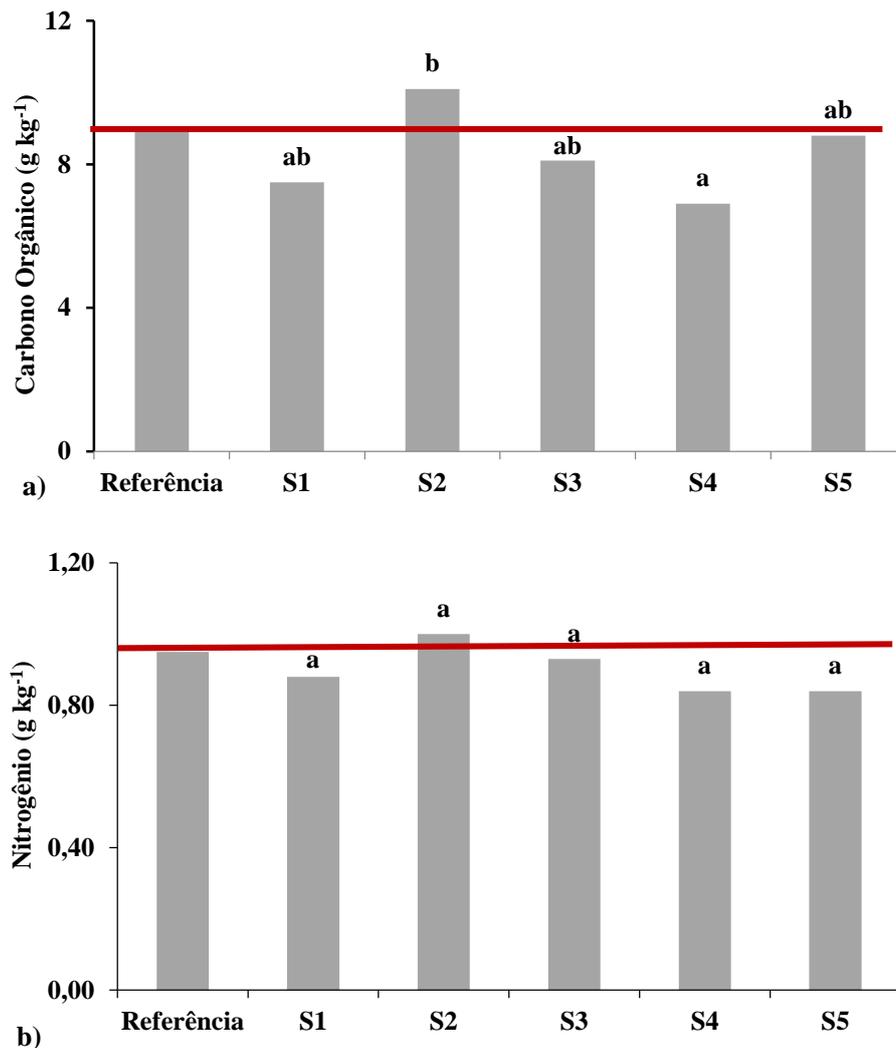
Os resultados foram submetidos a teste de normalidade e quando atendiam as premissas de normalidade e homocedasticidade submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade na comparação das médias utilizando-se os programas SISVAR versão 5.6 (Ferreira, 2014) e R (R Development Core Team, 2011). Os teores de COT e N foram comparados descritivamente em relação a referência (que foi tomada como a média dos valores da primeira coleta). Também foram feitas análises estatísticas descritivas das comparações dos tratamentos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 COT (carbono orgânico total) e NT (nitrogênio total)

O carbono COT teve decréscimo de aproximadamente 13% para todos os tratamentos exceto para S2 que mostrou um incremento de 12%, quando comparado ao valor médio antes da implantação do experimento (Referência). O sistema SIPA (S5) foi que apresentou menor redução do COT apenas 2,2 %, já o sistema com menor diversidade de plantas (S4) mostrou decréscimo maior, de 23% (Figura 6). Os valores encontrados para S2, S3 e S5 são considerados como médios para solos de textura arenosa em condições de Cerrado, e para S1 e S4 são valores considerados baixos (SOUSA & LOBATO, 2004). Os valores observados nesse estudo estão abaixo dos observados em áreas de consórcios e SIPA em solos arenosos com média de 12 g kg⁻¹ (CARNEIRO et al., 2013; MEDEIROS et al., 2015), mas, com tempo maior de implantação. Isso se deve ao curto período de implantação do experimento assim como a qualidade das plantas de cobertura adotadas.

Figura 6 - Teores de COT (carbono orgânico total) e NT (nitrogênio total) em Neossolo Quartzarênico, sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense, após implantação.



Legenda: Referência – media geral da área antes da implantação dos tratamentos; S1 – Pousio; S2 – *Urochloa ruziziensis*, niger e nabo forrageiro; S3 - *U. ruziziensis*, niger, nabo forrageiro e estilosante; S4 - *U. ruziziensis* e Mamona; S5 - *U. ruziziensis*, niger, nabo forrageiro, estilosante e animais. A linha vermelha representa a linha de base entre a referência, antes do experimento, e os tratamentos. Letras semelhantes na coluna dos tratamentos não diferem pelo de teste Tukey 5%.

Fonte: Da autora (Laboratório de Biologia, Microbiologia e Processos Microbianos do Solo da UFLA), 2019.

Os teores de NT apresentaram decréscimo para todos os tratamentos, exceto para S2 que incrementou 5% ao serem comparados com Referência. O NT acompanhou os teores de COT para todos os tratamentos. O valor presente de NT na matéria orgânica foi de 11%, estando acima do normalmente esperado que é de 3,7 a 4,15% (SOUZA et al., 2018).

3.2 Carbono da biomassa microbiana (CBM) e Quociente Microbiano (q_{Mic})

O CBM variou de 86 a 190 $\mu\text{g g}^{-1}$, com os maiores valores nos tratamentos S3 e S5 (Tabela 6), indicando que a maior diversidade de plantas proporcionou incremento na biomassa microbiana no solo. Com base no valor de CBM presente na área antes da implantação do experimento que foi de 248 $\mu\text{g g}^{-1}$ houve decréscimo para todos os tratamentos, correspondendo a 65, 48, 25, 42, e 23% para S1, S2, S3, S4 e S5 (Tabela 6). Esse decréscimo deve estar associado a qualidade e quantidade da fitomassa das diferentes plantas utilizadas nos sistemas estudados. Assim como observado para COT, a baixa entrada de fitomassa associado à sua qualidade principalmente no pousio e no S4, tem reduzido a entrada de carbono no sistema. Esse fato pode ser verificado na relação CMB/COT em que se observou menor relação para o pousio e uma tendência de redução do S4 quando comparado ao S3 e S5.

Nesse sentido os tratamentos S1 e S4 apresentaram baixa eficiência de conversão. De fato, tanto na área de pousio e S4 apresentaram baixas entradas de fitomassa (Tabela 4) e, conseqüentemente, afetou a conversão em COT. Segundo Anderson & Domsch (1989) o q_{Mic} pode variar de 0,27 a 7,0% em função de vários fatores como manejo e tipo de solo. A alteração dessa relação reflete o padrão de entrada de carbono no solo, eficiência de conversão do CBM, perdas de carbono e a própria estabilização do carbono pela fração mineral do solo (SPARLING, 1992).

Tabela 6 - Parâmetros bioquímicos do solo sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense em um Neossolo Quartzarênico, antes da implantação (1ª coleta) e após (2ª coleta. Sendo: S1 – Pousio; S2 – *Urochloa ruziziensis*, niger e nabo forrageiro; S3 - *U. ruziziensis*, niger, nabo forrageiro e estilosante; S4 - *U. ruziziensis* e Mamona; S5 - *U. ruziziensis*, niger, nabo forrageiro, estilosante e animais.

	CBM $\mu\text{g g}^{-1}$	q_{Mic} %	RBS $\text{mg g}^{-1} \text{h}^{-1}$	q_{CO_2} $\text{mg C-CO}_2 \mu\text{g}^{-1}$ CBM
Média 1ª Coleta	248	2,8	1,7	7,3
Segunda Coleta				
S1	86 a	1,1 a	1,6 a	1,9 a
S2	118 a	1,1 a	6,9 bc	5,9 c
S3	185 b	2,3 b	7,8 c	4,2 b

S4	142 ab	2 ab	5,3 b	3,7 b
S5	190 b	2,1 ab	6,6 bc	3,4 ab
CV%	15,4	21,18	14,73	14,49

Legenda: Letras semelhantes na coluna não diferem pelo teste Tukey 5%. CBM (Carbono da Biomassa Microbiana), RBS (Respiração Basal do Solo), qCO_2 (Quociente Metabólico) e $qMic$ (Quociente Microbiano).

Alguns estudos têm encontrado redução do CBM em curto tempo de avaliação, devido ao recente período de implantação do manejo, que pode ser considerada em relação às condições adversas àquele ambiente (D'ANDREA et al., 2002; SOUZA, et al 2006). Mudanças nos teores de CBM nas diferentes épocas de coleta podem estar associadas a quantidade e qualidade do resíduo vegetal adicionado ao solo (BALOTA et al., 1998; FRANCHINI et al., 2007; SILVA et al., 2019). Outros fatores que favorecem o declínio de CBM é baixa qualidade da matéria orgânica do solo, principalmente nas áreas que apresentam interferência antrópica (ELEFTHERIADIS & TURRIÓN, 2014). A comunidade microbiana no solo é influenciada pela diversidade de plantas, independentemente do tipo de solo, mas isso fica mais claro após um período de implantação do novo sistema, e segundo Eisenhauer et al. (2012) leva em média quatro anos. Nesse sentido, o campo experimental possui apenas um ano de implantação, não sendo possível ver mudanças representativas no solo.

A biomassa microbiana é a fração viva da matéria orgânica, importante em diversos processos no solo como ciclagem de nutrientes, decomposição e mineralização, além de fonte de nutrientes facilmente disponíveis (Moreira e Siqueira, 2006). Também é a responsável pelo controle de perdas de carbono para a atmosfera (BARDGETT et al., 2008). Considerando o pousio como referência houve ganho em todas as áreas, mas S3 e S5 foram os que apresentaram maiores incrementos 115 e 121%.

Os valores de CBM variaram de 86 a 190 $\mu g g^{-1}$, encontram-se semelhantes aos encontrados por Leite (2017), que observaram valores médios de 221 $\mu g g^{-1}$ para CBM no Cerrado sob sistemas agroflorestais e áreas nativas, no município de Dourados-MS. Porém, os valores de CBM desse estudo foram inferiores aos observados em sistema de SIPA por Carneiro et al. (2013), que foi em média 338 $\mu g g^{-1}$. Outros trabalhos em Neossolo Quartzarênico, com diferentes condições edafoclimáticas, apresentaram valores médios de CBM semelhantes aos encontrados nesse estudo, como os observados por Xavier et al., (2006) em cultivo orgânico de acerola e mata nativa em Ubajara- CE (41 a 252 $\mu g g^{-1}$); por Diógenes et al. (2017) em áreas de cultivo de feijão caupi sob diferentes regimes de irrigação (169,6 $\mu g g^{-1}$); e valores inferiores aos encontrados por Medeiros et

al. (2015), em solo de textura arenosa, com média de $48,4 \mu\text{g g}^{-1}$ em áreas de monocultura, consórcio e floresta na Caatinga em Pernambuco.

Poucos estudos têm avaliado os parâmetros bioquímicos do solo em Neossolo Quartzarênico sob Cerrado, o que torna a comparação entre os resultados difíceis, uma vez que vários fatores interferem na biomassa e na atividade microbiana, como tipo de vegetação, práticas de manejo, pH, umidade, temperatura, estabilidade dos agregados e teor de matéria orgânica do solo (SILVA et al., 2019), mais trabalhos nessa área ajudarão a entender como a microbiota nesse ambiente é afetada por mudanças no manejo e por mudanças em relação ao efeito do clima, por exemplo.

O tratamento S5 apresentou maiores valores de CBM. O pastejo reduziu o decréscimo do CBM que foi o menor valor, correspondendo a 23% entre a primeira e a segunda coleta, propiciando melhores condições a microbiota do solo. O pastejo interfere na dinâmica da matéria orgânica assim como nas propriedades físicas do solo, o que tem total relação com a microbiota do solo, favorecendo a redução da perda de carbono, além do aumento no armazenamento de água, o que estimula o crescimento microbiano (RAKKA & BLANCO-CANQUI, 2018). Em vista disso, o SIPA tem sido considerado eficiente no uso de recursos, aumento da produtividade do solo e melhoria da qualidade ambiental (NIEL et al., 2016).

Os valores de q_{Mic} diferiram estatisticamente entre os tratamentos com maior valor para S3 (2,3%). Houve um decréscimo variando de 18 a 60% para todos os tratamentos com base no valor da primeira coleta (Tabela 6). Esses valores estão abaixo dos verificados por Carneiro et al. (2013) de 4,8 % em SIPA sob Neossolo Quartzarênico no Cerrado. Portanto, o q_{Mic} teve a mesma tendência do CBM e COT, isso deve estar associado ao curto prazo de implantação do experimento. Essa relação entre e o CBM/COT demonstra se o teor de carbono encontra-se estável ou variando de acordo com o manejo (SPARLING, 1992).

3.3 Respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (q_{CO_2})

A respiração basal do solo diferiu significativa entre os tratamentos, com menor e maior valor, respectivamente, para S1 ($1,6 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e S3 ($7,8 \text{ mg g}^{-1} \text{ h}^{-1}$). A respiração basal do solo resulta na oxidação da matéria orgânica como fonte de energia pelos microrganismos do solo resultante da atividade microbiana (PARKIN et al., 1996). Neste estudo foi observado que para os tratamentos que tinha maior diversidade de plantas S3

e S5 tiveram maiores teores de CBM, pois o aumento da diversidade propicia diferentes fontes de exsudatos atraindo uma diversidade de microrganismos para a rizosfera (COUTO, et al., 2016).

Nessas áreas é nítido o aumento da respiração, muito relacionado a uma maior atividade devido à maior oferta de alimento para a microbiota, pois, o quociente metabólico foi baixo (4,2 e 3,4 mg C-CO₂ µg⁻¹ CBM), mostrando o equilíbrio em função à oferta de CBM (Tabela 6). Para os tratamentos S2 e S4 o comportamento foi semelhante em apresentar alta taxa de respiração basal, porém baixa oferta de energia, isso confere possivelmente condições de estresse, já que tiveram os mais altos índices de $q\text{CO}_2$ (5,9 e 3,7 mg C-CO₂ µg⁻¹ CBM). Fatores como a baixa quantidade de resíduos orgânicos e umidade do solo podem ter influenciado o uso de carbono pelos microrganismos (GAMA-RODRIGUES & GAMA-RODRIGUES, 2008; MENDES et al., 2012), além da maior difusão de oxigênio em solos arenosos, que favorece a decomposição dos materiais orgânicos e aumenta a respiração aeróbica e a atividade heterotrófica dos decompositores.

3.4 Atividade enzimática do solo

A atividade enzimática do solo é sensível em verificar diferenças entre os manejos adotados, apesar de algumas enzimas serem mais sensíveis às mudanças e responder mais rapidamente que outras, conforme observa-se nesse estudo (Tabela 7).

A atividade da fosfatase ácida não diferiu significativamente entre os tratamentos, variou de 1979 a 2905 µg PNP g⁻¹ solo seco h⁻¹, o tratamento S3 foi que teve maior atividade (Tabela 7). A fosfatase foi crescente para todos os tratamentos com incremento variando de 69 a 147%, com base no valor médio de 1172 µg PNP g⁻¹ solo seco h⁻¹ antes da implantação dos tratamentos. A alta atividade da fosfatase nesse estudo não está relacionada aos teores de P presente nas áreas, podendo ter sido influenciada por outros fatores, como disponibilidade de nutrientes, diversidade de exsudatos radiculares e a própria estrutura microbiana (HENDRIKSEN et al., 2016; SILVA et al., 2019). Os valores encontrados nessa pesquisa estão semelhantes ao observado por Medeiros et al., (2015) em solos arenosos em Caatinga, sob monoculturas e consórcios.

Tabela 7 - Atividade enzimática em Neossolo Quartzarênico, sob consórcio de plantas e pastejo em um Sistema Integrado de Produção Agropecuária (SIPA) no Cerrado Mato-grossense, antes da implantação (1ª Coleta) e após implantação (2ª Coleta). S1 – Pousio; S2 – *Urochloa ruziziensis*, niger e nabo forrageiro; S3

- *U. ruziziensis*, niger, nabo forrageiro e estilante; S4 - *U. ruziziensis* e Mamona; S5 - *U. ruziziensis*, niger, nabo forrageiro, estilante e animais.

	Fosfatase	Urease	β -glicosidase	FDA
	$\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$\mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1}$	$\mu\text{g } \rho\text{-n g}^{-1}$	$\mu\text{g F g}^{-1}$
Média 1ª Coleta	1172	4,5	346	189
2ª Coleta				
S1	2342 a	3,0 ab	441 ab	127 a
S2	2595 a	3,5 b	642 b	127 a
S3	2905 a	3,6 b	389 a	125 a
S4	1979 a	5,5 c	574 ab	132 a
S5	1980 a	1,6 a	445 ab	122 a
CV%	27,4	17,8	17,23	8,17

Legenda: Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A atividade da urease diferiu entre os tratamentos, com os maiores valores para o tratamento S4 (Tabela 7). Com base no valor médio antes da implantação do experimento que foi de $4,5 \mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para a área, a atividade da urease apresentou decréscimo de 24% para todos os tratamentos exceto para o S4 que teve um aumento da atividade em 22%. Foi possível observar que essa foi uma média de valores para áreas de plantio direto encontrado por Lanna et al. (2010), porém inferiores aos encontrados por Laroca et al. (2018) em áreas de consórcio de Latossolo no Cerrado, com valores médios de $14,76 \mu\text{g NH}_4\text{-N g}^{-1} \text{ h}^{-1}$. Em geral, os valores médios de urease foram baixos, o que provavelmente deve-se a qualidade dessa palhada com baixa relação C/N, além das características do solo, como textura, por esse solo ser arenoso e ter facilidade de perdas de nutrientes e rápida degradação da matéria orgânica. Assim como os baixos teores de matéria orgânica, pois é esperado que a atividade da urease aumente à medida que aumenta a matéria orgânica do solo pois está ligada diretamente ao processo de decomposição e fornecimento de carbono (BOWLES et al., 2014; VINHAL-FREITAS et al., 2017).

A atividade enzimática da β -glicosidase foi alta, variando de 389 a $642 \mu\text{g } \rho\text{-n g}^{-1}$. A β -glicosidase está associada ao ciclo do carbono, atuando principalmente no processo final de decomposição da celulose formando o açúcar simples β -D-glucose (TABATABAI, 1994; PAUL & CLARK, 1996), o que torna essa enzima sensível em

demonstrar as mudanças que possam ocorrer no manejo e uso do solo, pois é sensível as modificações na exsudação pelas raízes e a deposição de material via serapilheira, o que a torna um indicativo da qualidade do material a ser decomposto.

A atividade enzimática da β -glicosidase foi influenciada pelo manejo adotado, pois foi crescente em todos os tratamentos, com acréscimos de 12 a 86%. A atividade enzimática do solo representa a sua capacidade em realizar reações bioquímicas, que é altamente influenciado pelo manejo adotado (NANNIPIERI et al., 2018). Essa enzima é altamente dependente das condições edafoclimáticas, pH, cobertura do solo e tipo de solo pois não há uma homogeneidade entre os valores médios encontrados, variando de 17 a 260 $\mu\text{g } \rho\text{-n } \text{g}^{-1}$ para Latossolo em região de Cerrado (MATSUOKA et al., 2002; MENDES et al., 2003; FERREIRA et al., 2017; LOROCA et al., 2018). Acosta-Martínez et al. (2019), avaliando diferentes manejos de cultivo encontraram valores inferiores com média de 106 a 132 $\mu\text{g } \rho\text{-n } \text{g}^{-1}$ para solos de Minnesota e Texas. Poucos estudos têm sido realizados em Neossolo Quartzarênico avaliando a atividade da β -glicosidase, mas Notaro et al. (2018) encontraram valores inferiores em áreas com Neossolo cobertos com florestas e culturas anuais e perenes em áreas de Caatinga.

A hidrólise diacetato de fluoresceína (FDA) é comumente usada para medir a atividade enzimática total do solo (CHINTALA et al., 2014), entretanto, nessa pesquisa a atividade não foi capaz de diferenciar os manejos estudados, com valores variando de 122 a 132 $\mu\text{g } \text{FDA } \text{g}^{-1}$, houve um decréscimo médio para todos os tratamentos de 33%, em relação a primeira coleta. Através na hidrólise diacetato é possível quantificar a atividade enzimática do solo, sendo realizada pelas enzimas hidrolíticas, como amilases e glucosidases, eficiente em avaliar a atividade dos microrganismos (LUNDGREN, 1981; BATISTA et al. 2009). Esses valores estão dentro da faixa encontrada em Neossolo Quartzarênico no Cerrado, pois resultados semelhantes foram encontrados em SIPA (151 $\mu\text{g } \text{F } \text{g}^{-1}$) por Carneiro et al. (2013), corroborando com este estudo.

Observamos que apesar de baixos teores de CMB a atividade enzimática do solo foi alta, ou seja, a microbiota estava ativa no processo de decomposição e mineralização de nutrientes. Os parâmetros físico, químicos e biológicos do solo são influenciados pelo manejo adotado e o tipo de cultura, que resulta na disponibilidade de nutrientes e atividade microbiana do solo (MATSUOKA et al., 2002; MAIA et al., 2010). Mas esse efeito muitas vezes precisa de um tempo para ser percebido, mesmo utilizando parâmetros tão sensíveis como os bioquímicos do solo.

3.5 Comparação de diversidade de plantas e pastejo

Ao comparamos os tratamentos de pousio, com maior diversidade de plantas e entrada de animais observamos que tanto a diversidade como a entrada de animais favoreceram as propriedades bioquímicas do solo (Tabela 8).

Tabela 8 - Fatores de sensibilidade relativa dos parâmetros bioquímicos do solo na comparação entre os tratamentos com maior e menor diversidade de plantas, com e sem pastejo.

Parâmetros	Diversidade de Plantas (DP)	Animal (A)	DP + A
	S1 - S3 (%)	S3 - S5 (%)	S1 - S5 (%)
COT	+ (8)	+ (9)	+ (15)
CBM	+ (115)	+ (3)	+ (121)
Respiração	+ (387)	- (15)	+ (312)
qCO_2	+ (95)	- (19)	+ (79)
$qMic$	+ (109)	+ (9)	+ (91)
β -glucosidase	- (11)	+ (14)	< 1 (+)
Fosfatase	+ (24)	- (32)	- (15)
FDA	- (2)	- (2,4)	- (4)
Urease	+ (20)	- (55)	- (46)

Legenda: *+ refere-se a ganho e – refere-se a perda de serviço. Valores entre parênteses refere-se a porcentagem. S1 – Pousio; S3 - *Urochloa ruziziensis*, niger, nabo forrageiro e estilossante; S5 - *U. ruziziensis*, niger, nabo forrageiro, estilossante e animais.

Quando comparamos o pousio com a área com maior diversidade de plantas observamos incremento positivos para COT, CBM, respiração, qCO_2 , $qMic$, fosfatase e urease. Provavelmente o alto ganho de CBM culminou em uma maior taxa de respiração da comunidade microbiana, assim como o aumento do qCO_2 , isso devido à alta oferta de energia no sistema.

Ao verificarmos a influência do componente animal comparando os tratamentos com a mesma composição vegetal, observamos como pontos positivos os incrementos para COT, CBM, $qMic$, β -glicosidase, e redução na taxa de respiração e no qCO_2 .

O comportamento de tratamento com diversidade de plantas associado a entrada de animais apresentou positivo ao ser comparado com pousio, pois, houve incremento para COT, CBM, q_{Mic} e um aumento expressivo na respiração e qCO_2 semelhante ao resultado de (S1 - S3).

De modo geral a diversidade de plantas proporcionou aumentos de 56%, já o componente animal (pastejo) 67%, para os parâmetros avaliados. É importante ressaltar que este estudo foi realizado em um curto tempo de observação, portanto, a microbiota foi sensível em demonstrar alterações realizadas no manejo adotado. Além disso, é muito importante a continuidade de estudos ao longo prazo nesse tipo de sistema de produção para verificar o comportamento desses parâmetros, assim como de outros menos sensíveis ao curto prazo de avaliação, uma vez que as áreas agricultáveis permanecem por anos sob ações antrópicas.

4 CONCLUSÃO

Dentre os sistemas estudados, o consórcio *Urochloa ruziziensis* e Mamona demonstrou baixa eficiência na incorporação de carbono no solo de carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana e quociente microbiano.

As atividades enzimáticas da β -glicosidase e da uréase, assim como o carbono da biomassa microbiana, respiração basal e coeficientes metabólico e microbiano foram os indicadores mais sensíveis em mostrar as diferenças entre os sistemas de manejo.

A entrada de animais favoreceu a atividade microbiana do solo e aumento no carbono no consórcio de maior diversidade de plantas.

REFERÊNCIAS

ACOSTA-MARTÍNEZ, V. Simultaneous determination of β -glucosidase, β -glucosaminidase, acid phosphomonoesterase, and arylsulfatase activities in a soil sample for a biogeochemical cycling index. **Applied Soil Ecology**, v. 142, p. 72-80, 2019.

ALEF, Kassem; NANNIPIERI, Paolo. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. Academic Press, 1995.

ALVARENGA, R. C. Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. Informe Agropecuário, v.31, p.59-67, 2010.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient of CO₂ (q CO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental condition, such as pH, on the microbial of forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

BALOTA, E. L. M. Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22:641-649, 1998.

BARDGETT, R. D. et al. Microbial contributions to climate change through carbon cycle feedbacks. **The ISME journal**, v. 2, n. 8, p. 805, 2008.

BATISTA, Q. R., et al. Bioqualidade de área degradada pela extração de argila, revegetada com *Eucalyptus* spp. E Sabiá. **Revista Caatinga**, v.22, n.1, p.146- 154, 2009.

BONETTI, J. A. et al. Soil physical and biological properties in an integrated crop-livestock system in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 11, p. 1239-1247, 2018.

BOWLES, T. M. et al. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. 252-262, 2014.

CARNEIRO, M. A. C. et al. Parâmetros indicadores de qualidade em solos de cerrado no entorno do parque nacional das emas, Goiás. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, 2013.

CHINTALA, R. et al. Molecular characterization of biochars and their influence on microbiological properties of soil. **Journal of Hazardous Materials**, v. 279, p. 244-256, 2014.

D'ANDREA, A. F. et al. Parâmetros biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 913-923, 2002.

DIACK, M. **Relationships between soil biological and chemical characteristics and surface soil structural properties for use in soil quality**. West Lafayette, Purdue University, 1997. 221p. (Tese de Doutorado)

DICK, R. P.; BREAKWELL, Donald P.; TURCO, Ronald F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. **Methods for assessing soil quality**, n. methodsforasses, p. 247-271, 1996.

DIÓGENES, L. C. et al. Microbial activities, carbon, and nitrogen in an irrigated Quartzarenic Neosol cultivated with cowpea in southwest Piauí. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 1765-1773, 2017.

DONAGEMMA, G. K. et al. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1003–1020, 2016.

- EISENHAUER, N. et al. Increasing plant diversity effects on productivity with time due to delayed soil biota effects on plants. **Basic and Applied Ecology**, v. 13, n. 7, p. 571-578, 2012.
- EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, n. 5, p. 601-606, 1988.
- ELEFTHERIADIS, A.; TURRIÓN, M. Soil microbiological properties affected by land use, management, and time since deforestations and crop establishment. **European journal of soil biology**, v. 62, p. 138-144, 2014.
- FERREIRA, E. P. B. et al. Population and microbial activity of the soil under an agro-ecological production system. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.
- FRANCHINI, J. C. et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 92, n. 1-2, p. 18-29, 2007.
- GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese**, p. 227-243, 1999.
- GIL, S. V. et al. Field trial assessment of biological, chemical, and physical responses of soil to tillage intensity, fertilization, and grazing. **Environmental management**, v. 44, n. 2, p. 378-386, 2009.
- HENDRIKSEN, N. B. et al. Soil exo-enzyme activities across Europe—The influence of climate, land-use and soil properties. **Applied soil ecology**, v. 97, p. 44-48, 2016.
- LAROCA, J. V. S. et al. Qualidade do solo e produtividade de soja em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 11, p. 1248-1258, 2018.
- LEITE, D. R. et al. Parâmetros químicos, físicos e biológicos de um Neossolo Quartzarênico sob sistemas agroflorestais biodiversos. 2017.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. A career perspective on soil management in the Cerrado region of Brazil. **Advances in Agronomy**, Newark, v. 137, p. 1-72, 2016.
- LUNDGREN, B. Fluorescein diacetate as a stain of metabolically active bacteria in soil. **Oikos**, p. 17-22, 1981.
- MAIA, Stoccio MF et al. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 106, n. 2, p. 177-184, 2010.
- MATSUOKA, M. et al. 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 Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 425-433, 2002.

- MEDEIROS, E. V. et al. Absolute and specific enzymatic activities of sandy entisol from tropical dry forest, monoculture and intercropping areas. **Soil and Tillage Research**, v. 145, p. 208-215, 2015.
- MENDES, I. C. et al. Biological functioning of Brazilian Cerrado soils under different vegetation types. **Plant and soil**, v. 359, n. 1-2, p. 183-195, 2012.
- MENDES, I. C. et al. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 435-443, 2003.
- NANNIPIERI, P. et al. Soil enzyme activity: a brief history and biochemistry as a basis for appropriate interpretations and meta-analysis. **Biology and fertility of soils**, v. 54, n. 1, p. 11-19, 2018.
- NIE, Z. et al. Benefits, challenges and opportunities of integrated crop-livestock systems and their potential application in the high rainfall zone of southern Australia: A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 235, p. 17-31, 2016.
- NOTARO, Krystal A. et al. Enzymatic activity, microbial biomass, and organic carbon of Entisols from Brazilian tropical dry forest and annual and perennial crops. **Chilean journal of agricultural research**, v. 78, n. 1, p. 68-77, 2018.
- PAUL, E.A. & CLARK, F.E. Soil microbiology and biochemistry. San Diego, Academic Press, 1996. 340p.
- RAIESI, F.; BEHESHTI, A. Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands. **Ecological Indicators**, v. 50, p. 173-185, 2015.
- RAKKAR, M. K.; BLANCO-CANQUI, H. Grazing of crop residues: Impacts on soils and crop production. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 258, p. 71-90, 2018.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. **EMBRAPA**, n. 3, p. 65, 1995.
- SALVIANO, A. M. et al. Potencialidades e Limitações para o uso agrícola de solos arenosos na região semiárida da Bahia. **MAGISTRA**, v. 28, n. 2, p. 137-148, 2017.
- SANTOS, F.C. et al. Produtividade e aspectos nutricionais de plantas de soja cultivadas em solos de Cerrado com diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2015–2025, 2008.
- SILVA, E. O. et al. Seasonal effect of land use type on soil absolute and specific enzyme activities in a Brazilian semi-arid region. **Catena**, v. 172, p. 397-407, 2019.
- SOUZA, E. D. et al. Matéria orgânica do solo em sistemas integrados de produção agropecuária no Brasil. In: **SOUZA E. D.; SILVA F. D.; ASSMANN T. S.; CARNEIRO M. C. C.; CARVALHO, P. C. F.; PAULINO, H. P. Sistemas Integrados de Produção Agropecuária no Brasil**. 1 ed. Tubarão-Santa Catarina, Ed. Copiart, p. 662, 2018.

SOUZA, E. D. et al. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 3, p. 323-329, 2006.

SOUZA, DMG de; LOBATO, Edson. Cerrado: correção do solo e adubação. **Planaltina: Embrapa Cerrados**, 2004.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Distribution of Total and Available Sulfur in Selected Soils and Soil Profiles 1. **Agronomy Journal**, v. 64, n. 1, p. 40-44, 1972.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W.; SCOTT, A. & BOTTOMELEY, P.J., eds. *Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.778-835.

VANCE, E. D. et al. An extraction method for measuring soil microbial biomass. *Soil Biol. Biochem.*, 19:703-707, 1987.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre a qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.743-755, 2009.

VINHAL-FREITAS, I. C. et al. Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators. **Ecological indicators**, v. 74, p. 182-190, 2017.

WRIGHT, S. F. et al. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, v. 181, n. 2, p. 193-203, 1996.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, Abha. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil science**, v. 161, n. 9, p. 575-586, 1996.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and soil**, v. 198, n. 1, p. 97-107, 1998.

XAVIER, F. A. S. et al. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba-CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 2, p. 247-258, 2006.

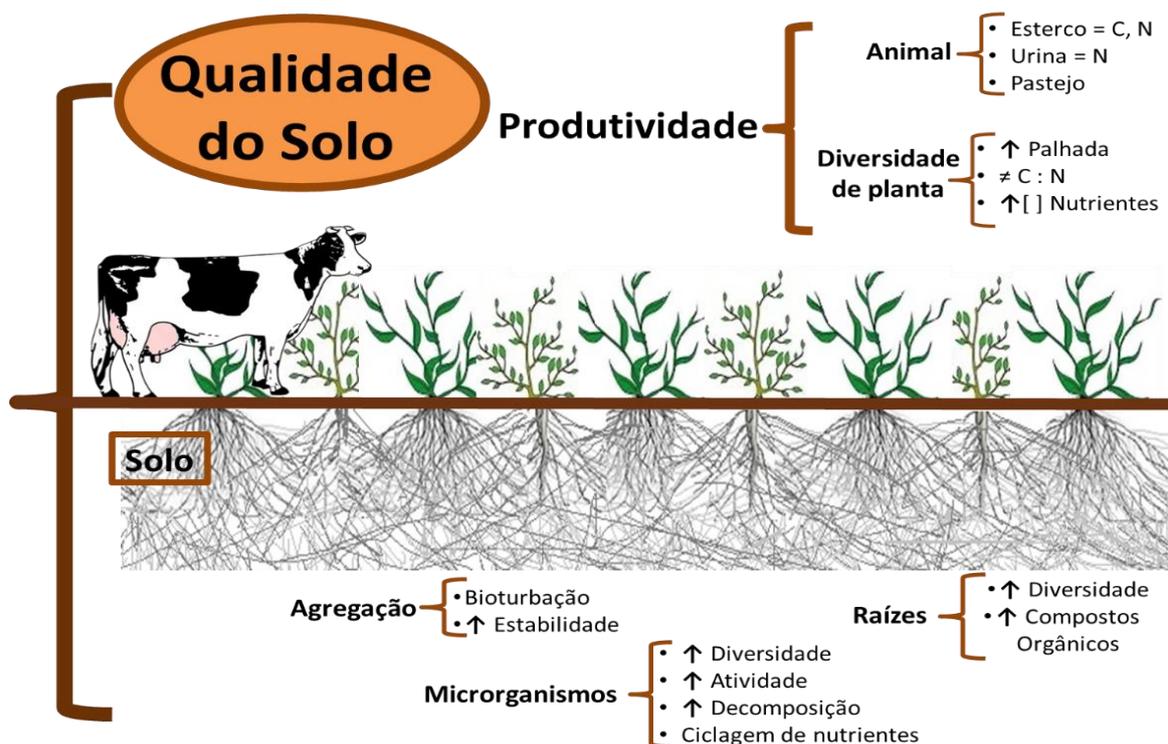
3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O solo tem sua qualidade assegurada quando consegue desenvolver todas as suas funcionalidades de forma que os serviços ecossistêmicos são garantidos, e a diversidade das atividades desenvolvidas vêm promover o equilíbrio nesses agroecossistemas. Conforme a Figura 7, o solo é o componente que sente toda a interferência realizada no manejo adotado, constituído de parâmetros químicos, físicos e biológicos, essas ações são refletidas nesses parâmetros que expressam se o manejo adotado se encontra adequado ou não.

Atualmente, tenta-se desenvolver práticas agropecuárias que assegurem boas condições ao solo e a manutenção de sua sustentabilidade. Semelhantes as que foram abordadas nesse estudo, evidenciando as vantagens do uso de SIPA, assim como, aumentar a diversidade de plantas afim de proporcionar um melhor equilíbrio entre os parâmetros do solo e sua sustentabilidade a longo prazo (Figura 7). O presente estudo, demonstrou que mesmo em um período curto de tempo foi possível averiguar tais benefícios.

A diversidade de plantas garante uma maior diversidade de metabolitos para os microrganismos dos solos devido ao sistema radicular diversificado das plantas, com diferentes relações C/N, aumento na deposição de palhada, manutenção da cobertura do solo, aumento de matéria orgânica e conseqüentemente o aumento e concentração de nutrientes, além de proteção física ao solo.

Figura 7 - Esquema de funcionamento do sistema integrado com animais e diversidade de plantas.



Fonte: Da autora (Laboratório de Biologia, Microbiologia e Processos Microbianos do Solo da UFLA), 2019.

Em diferentes regiões do país, o pastejo associado ao cultivo tem sido eficiente, pois, o animal ao pastejar retorna ao solo seus dejetos que são ricos em nutrientes, sendo reutilizado pelas plantas e microrganismos do solo. O consumo da forragem pelo animal assim como, o seu pisoteio são considerados estresses moderados às plantas, que funcionam como estímulos de crescimento as mesmas, favorecendo a manutenção do sistema. Apesar da Figura 7 abordar de uma maneira geral, isso acontece mais rápido no Latossolo enquanto que no Neossolo, em função de suas características texturais, a dinâmica do carbono possui menor rapidez na sua concentração no solo.

Portanto, apontamos como alternativas de manejo o uso de SIPA e a diversidade de plantas, pois, conforme nossa pesquisa foi possível observar benefícios ao solo, assegurando a sua sustentabilidade, porém, enfatizamos a importância de continuidade de pesquisas similares, levando em consideração maior tempo de observação.