



SMAIELLO FLORES DA CONCEIÇÃO BORGES DOS SANTOS

**ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE
DE CULTURAS ANUAIS E FORRAGEIRAS EM SISTEMAS
INTEGRADOS NO CERRADO DO MARANHÃO**

Teresina – PI

2020

SMAIELLO FLORES DA CONCEIÇÃO BORGES DOS SANTOS

**ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS ANUAIS E
FORRAGEIRAS EM SISTEMAS INTEGRADOS NO CERRADO DO MARANHÃO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal do Piauí,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação
em Agronomia - Agricultura
Tropical para obtenção do
título de mestre em Ciências.

Orientador

Dr. Henrique Antunes de Souza

Teresina – PI

2020

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Serviço de Processamento Técnico

S237a Santos, Smaielo Flores da Conceição Borges dos
Atributos biológicos do solo e produtividade de culturas anuais e
forrageiras em sistemas integrados no cerrado do Maranhão / Smaielo
Flores da Conceição Borges dos Santos . -- 2020.
69 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Pro-
dução Vegetal, Teresina, 2020.
“Orientador: Prof. Dr. Henrique Antunes de Souza.”

1. *Glycine max.* 2. ILPF. 3. Invertebrados do solo. 4. *Zea mays*.
I. Título.

CDD 633.34

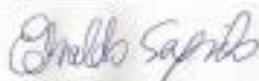
SMAIELLO FLORES DA CONCEIÇÃO BORGES DOS SANTOS

ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS ANUAIS E FORRAGEIRAS EM SISTEMA INTEGRADOS NO CERRADO DO MARANHÃO

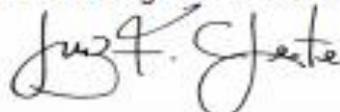
Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

APROVADA em 30 de julho de 2020

Comissão Julgadora:



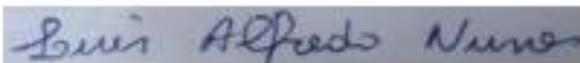
Pesq. Dr. Edvaldo Sagnilo – EMBRAPA



Pesq. Dr. Luiz Fernando de Carvalho Leite – EMBRAPA



Prof. Dr. Khalil de Menezes Rodrigues – UFMA



Prof. Dr. Luís Alfredo Pinheiro Leal Nunes – UFPI



Pesq. Dr. Henrique Antunes de Souza – EMBRAPA
(Orientador)

TERESINA-PI

2020

Dedico

Ao Deus todo poderoso pela saúde, força e sabedoria.

À minha mãe Elisabete Mendes Borges de Oliveira, minha inspiração.

Minha avó Agneta Mendes, a razão das minhas lutas.

Minhas irmãs Artemisa Moreno e Alexia Liliane, minhas incentivadoras.

Aos colegas e funcionários da UFPI e da Embrapa, meus suportes durante essa etapa.

AGRADECIMENTOS

A Deus nosso senhor pela vida, saúde, força e sabedoria para superar todos os obstáculos durante este percurso;

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida;

À Universidade Federal do Piauí (UFPI), e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura Tropical, em especial ao secretário Silas;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela disponibilidade de elaboração da pesquisa e por todo o suporte técnico e financeiro fornecido;

Aos proprietários e funcionários da Fazenda Barbosa, pelo espaço cedido para a realização do estudo e por todo o auxílio dado;

Ao meu orientador, Dr. Henrique Antunes de Souza, pela orientação, pela paciência, pela ajuda e pelos ensinamentos técnicos e pessoal que pude ter com ele;

Aos meus familiares, em especial minha avó, Agneta Mendes, minha mãe Elisabete de Oliveira e minhas irmãs Artemisa Moreno e Alexia Liliane, pelo incentivo;

Aos colegas da Embrapa, Adalisa Gomes, Amanda Héllen, Ane Caroline, Danilo Oliveira, Fátima Pires, Gabriela França, Geania Sousa, Ivanderlete Marques, Leovânio Barbosa, Lucélia Brito, Lucrécia Pacheco, Michaelly Heidy, Rodrigo Dias, Suzane Carvalho e Thais Santiago, pelo companheirismo e suporte;

Aos técnicos da Embrapa, Diego, Erisvaldo, José Afonso Abreu, José Duarte, José Moreira, Marcos e ao motorista Paranhos por toda ajuda.

Aos colegas estrangeiros em Teresina, em especial aos meus compatriotas João Ribeiro e Sofia Ribeiro, pelo suporte e pelo companheirismo, ao haitiano Jack Prospere e ao angolano Osvaldo, pela amizade;

Aos colegas da UFPI, em especial ao Kelson Bento, Emanuel Enrique, Célia Ribeiro, Raquel da Silva e Clériston Souza, pelo companheirismo e ajuda durante este percurso.

Serei eternamente grato a todos vós.

ATRIBUTOS BIOLÓGICOS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS ANUAIS E FORRAGEIRAS EM SISTEMAS INTEGRADOS NO CERRADO DO MARANHÃO

Resumo:

Os sistemas integrados têm demonstrado ser uma importante alternativa face aos desafios da agricultura moderna e sustentável. Objetivou-se com este estudo, avaliar a fauna edáfica e as características químicas e biológicas em diferentes sistemas de manejo do solo, ainda avaliou-se atributos biológicos do solo e a produtividade de forrageiras, do milho e da soja em sucessão, assim como o teor dos nutrientes em folhas de soja. Os experimentos foram realizados na Fazenda Barbosa, Brejo, MA. A fauna edáfica foi avaliada em 5 diferentes sistemas: de plantio direto em 14 anos (SPDSOJA) e 3 anos (SOJAREC); o eucalipto cultivado em renques (RENEUC); soja nos entrerenques de eucalipto (SOJAENTR); e Cerrado nativo (MATA). Coletou-se a fauna em abril de 2019, utilizando as armadilhas “*pitfall*”, onde foram colocadas 7 armadilhas permanecendo por 7 dias no campo. Posteriormente, os organismos foram identificados ao nível de classe, sub-classe, ordem e/ou famílias. Calculou-se o número de indivíduos por armadilha por dia, riqueza total, riqueza média, índice de Shannon e equitabilidade de Pielou; ainda mensurou-se os atributos biológicos, sendo o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana (C-BMS e N-BMS), respiração basal (RBS), quociente metabólico (qCO₂), quociente microbiano e atributos químicos (pH, P, K, Ca, Mg, Al e H+Al) do solo à 0-0,1 m de profundidade; de posse dos dados foram apresentados testes de médias e realizada análise multivariada. O segundo experimento foi realizado nas safras 2018 e 2019, em delineamento de blocos casualizados, com 4 blocos, testando-se o milho em consórcio com as forrageiras: Massai (*Megathyrsus maximus*); Zuri (*Megathyrsus maximum* cv. Zuri); Marandu (*Urochloa brizantha*); Ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*); e o milho solteiro na safra 2018; na safra 2019 nas mesmas parcelas do milho consorciado e solteiro cultivou-se a soja. Avaliou-se nas duas safras os atributos microbiológicos do solo: N-BMS e C-BMS, RBS, qCO₂. Na safra 2018, avaliou-se ainda as enzimas desidrogenase e a atividade da diacetato de fluoresceína (FDA); também foi quantificada a produtividade do milho, dos capins e da soja, além da diagnose foliar da soja. Os dados foram analisados por teste F e em função da significância teste de média (Tukey, 5% de probabilidade). Foram coletados organismos de 16 grupos diferentes da fauna edáfica. A MATA e o RENEUC apresentaram as maiores quantidades de indivíduos por armadilha por dia. A maior riqueza foi observada na MATA e na área de SPDSOJA. O maior índice de Shannon foi observada na SOJAREC e o maior índice de equitabilidade de Pielou na SOJAENTR. A análise multivariada distinguiu os manejos em três grupos, sendo o RENEUC e SOJAENTR um grupo, a SOJAREC com SPDSOJA outro grupo, e o Cerrado como um grupo isolado. No experimento de consórcio e rotação; o consórcio do milho com Zuri apresenta efeito positivo sobre o N-BMS, desidrogenase, e maior produção de massa seca da forrageira. O C-BMS foi beneficiado com o cultivo do milho consorciado com as *Urochloas* (Marandu e Ruziziensis), e apresentaram maior produção da soja em sucessão. O milho solteiro apresentou maiores valores de RBS, qCO₂, e de teores de K e Cu nas folhas e menor produção da soja em sucessão.

Palavras-chave: ILPF, invertebrados do solo, *Zea mays*, *Glycine max*

SOIL BIOLOGICAL ATRIBUTES AND PRODUTIVITY OF ANNUAL CROPS AND FORAGES IN INTERCROPING SYSTEMS IN THE CERRADO OF MARANHÃO

ABSTRACT:

Intercropping systems have proven to be an important alternative to the challenges of modern and sustainable agriculture. The objective of this study was to evaluate the edaphic fauna in different soil management systems, the chemical, biological characteristics and productivity of forages, intercropped corn and soybean in succession as well as the nutrient content in their leaves. The experiments was made at Fazenda Barbosa, Brejo, MA. The edaphic fauna was evaluated in 5 different systems: soybean under no-tillage system in 14 years (SPDSOJA) and 3 years (SOJAREC); eucalyptus grown in ranks (RENEUC); soybeans between the eucalyptus ranks (SOJAENTR); and native Cerrado (MATA). The fauna was collected in April 2019, using pitfall traps, where 7 traps were placed, remaining for 7 days in the field. Subsequently, the organisms were identified at the level of class, sub-class, order and/or families. The number of individuals per trap per day, total richness, average richness, Shannon index and Pielou equitability were calculated; The biological attributes, carbon and nitrogen of microbial biomass (C-BMS and N-BMS), basal respiration (RBS), metabolic quotient (qCO_2) and chemical attributes (pH, P, K, Ca, Mg, Al and H+Al, were evaluated) the soil is 0-0.1 m deep. In possession of the data, means tests were presented and multivariate analysis was performed. The second experiment was made in the cropping season 2018 and 2019, in randomized blocks, with 4 blocks, testing the corn in intercropping with forages: Massai (*Megathyrsus maximus*); Zuri (*Megathyrsus maximum* cv. Zuri); Marandu (*Urochloa brizantha*); Ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*); and single corn in the 2018 cropping season; in the 2019 cropping season, in the same plots of intercropped and single corn, soybean was grown. Soil microbiological attributes were evaluated in both season: N-BMS and C-BMS, RBS, qCO_2 . In the 2018 harvest, the enzymes dehydrogenase and the activity of fluorescein diacetate (FDA) were also evaluated; the productivity of corn, forage and soybeans was also quantified, in addition to the leaf diagnosis of soybeans. The data were analyzed using the F test. In the evaluation of the edaphic fauna, organisms 16 different groups were collected. MATA and RENEUC had the highest number of individuals per trap per day. The greatest richness was observed in MATA and in the SPDSOJA area. The highest Shannon index was observed in SOJAREC and the highest Pielou equitability index in SOJAENTR. The multivariate analysis distinguished management in three groups, with RENEUC and SOJAENTR one group, SOJAREC with SPDSOJA another group and the Cerrado as an isolated group. In the interceopping and rotation experiment; the intercropping of corn with Zuri has a positive effect on N-BMS, dehydrogenase, and greater production of dry mass from forage. The C-BMS benefited from the cultivation of corn intercropped with *Urochloas* (Marandu and Ruziziensis), and showed higher soybean production in succession. Single corn showed higher values of RBS, qCO_2 , higher levels of K and Cu in the leaves and lower soybean production in succession.

Keywords: CLFI, soil invertebrates, *Zea mays*, *Glycine max*.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I

Figura 1 - Precipitação segundo os dados da Fazenda Barbosa, Brejo, MA, e temperatura máxima e mínima no primeiro semestre de 2019 de Chapadinha, MA (INMET, 2020)29

Figura 2 - Biplot entre a relação de número de indivíduos médios dos grupos taxonômicos e os diferentes sistemas de manejos, Brejo, MA. SOJAENTR: Soja cultiva entre renques de eucalipto; RENEUC: Renques de eucalipto; SPDSOJA: Soja em sistema de plantio direto consolidada; SOJAREC: Soja em sistema de plantio direto recente; MATA: Mata Nativa.37

Figura 3 - Dendrograma de dissimilaridade entre número de indivíduos médios dos grupos taxonômicos e os diferentes sistemas de manejos, Brejo, MA. SOJAENTR: Soja cultiva entre renques de eucalipto; RENEUC: Renques de eucalipto; SPDSOJA: Soja em rotação consolidada; SOJAREC: Soja em rotação recente; MATA: Mata Nativa.....38

Capítulo II

Figura 1 - Precipitação, em mm, de acordo com os dados registados na Fazenda Barbosa, e temperatura máxima e mínima no primeiro semestre de 2018 e 2019, segundo INMET (2010), Brejo, MA53

Figura 2 - Produtividade de massa seca de forrageiras e do milho em consórcios (safra 2018), Brejo, MA57

Figura 3 - Produtividade de grãos de soja em rotação a consórcios de milho com forrageiras e milho solteiro, Brejo, MA61

LISTA DE TABELAS

Capítulo I

- Tabela 1** - Histórico do manejo das áreas na fazenda Barbosa, Brejo, MA30
- Tabela 2** - Valores de indivíduos por armadilha por dia (ind arma-1 dia-1 ± erro padrão), riqueza total, riqueza média, índice de diversidade de Shannon e índice de equitabilidade de Pielou da fauna edáfica em diferentes sistemas de manejos, Brejo, MA.....34
- Tabela 3** - Distribuição relativa (%) dos grupos taxonômicos da fauna edáfica em diferentes sistemas de manejos, Brejo, MA.....35
- Tabela 4** - Coeficientes de pesos (auto vetores), autovalores e variância explicada por cada componente principal (CP1 e CP2) dos grupos taxonômicos da fauna edáfica em diferentes sistemas de manejos, Brejo, MA.....36
- Tabela 5** - Valores médios de atributos químicos do solo em diferentes sistemas de manejos, Brejo, MA38
- Tabela 6** - Valores médios de atributos químicos e biológicos do solo em diferentes sistemas de manejos, Brejo, MA39

Capítulo II

- Tabela 1** - Análise química e granulométrica do solo antes da instalação do ensaio na camada de 0-20 cm e 20-40 cm53
- Tabela 2** - Atributos biológicos do solo em função do consórcio de milho com forrageiras e em rotação com soja na safra 2018 e 2019, em Brejo, MA58
- Tabela 3** - Teores de macro e micronutrientes em folhas de soja, em função do consórcio de milho com forrageiras e em rotação com soja, Brejo, MA59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1	Sistemas integrados de produção e qualidade do solo	12
2.2	Fauna do solo	16
2.3	Indicadores microbiológicos do solo.....	18
3	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20
CAPÍTULO I		25
1	INTRODUÇÃO	27
2	MATERIAL E MÉTODOS	28
2.1	Caracterização da área.....	28
2.2	Amostragem da fauna e do solo	31
2.3	Análise dos dados.....	33
3	RESULTADOS	33
4	DISCUSSÃO	39
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
CAPÍTULO II		49
1	Introdução.....	51
2	MATERIAL E MÉTODO	52
2.1	Local do estudo, tratamentos e manejo	52
2.2	Atributos microbiológicos do solo	55
2.3	Análise foliar.....	56
2.4	Produtividade.....	56
2.5	Análise estatística.....	57
3	RESULTADOS	57
3.1	Microbiologia do solo.....	57
3.2	– Análise foliar.....	59
3.3	Produtividade.....	60
4	DISCUSSÃO	61
5	CONCLUSÕES.....	65
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1 INTRODUÇÃO GERAL

O uso intensivo do solo no Cerrado brasileiro tem causado degradação e perda de sua capacidade produtiva, em virtude do manejo inadequado adotado por certos produtores. Contudo, tecnologias de manejo mais sustentáveis e economicamente viáveis tem sido adotadas, tais como o plantio direto (PD) e os sistemas integrados de produção (BALBINO et al., 2011; CUNHA et al., 2019).

Os sistemas integrados de produção, juntamente com o plantio direto proporcionam aumentos nos teores de matéria orgânica, beneficiando assim os atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Além disso, estes sistemas proporcionam diminuições nos custos de produção, maior eficiência do uso da terra, redução na incidência de pragas e doenças, e maior estabilidade da renda (COELHO et al., 2014; SOUZA et al., 2019).

Habitualmente na região do Cerrado para produção integrada é utilizada o milho, o milheto, o sorgo, a soja e principalmente as gramíneas forrageiras tropicais, em consórcio, sucessão ou rotação e o eucalipto como componente florestal (OLIVEIRA et al., 2015; SILVA et al., 2019).

As gramíneas forrageiras consorciadas com o milho podem proporcionar uma cobertura com maior longevidade devido a sua alta relação C/N se comparada as fabaceae (NAKAO et al., 2019). Além disso, as forrageiras são importantes pela cobertura do solo e também pela reserva de nutrientes, em que a liberação poderá ocorrer de forma rápida e intensa, ou lenta e gradual, dependendo da cultura, da qualidade e da quantidade do material vegetal, assim como das condições climáticas e da atividade da biota do solo, deste modo beneficiando a cultura subsequente (CHIODEROLI et al., 2012; MENDONÇA et al., 2015).

Os componentes biológicos, constituem importantes indicadores de qualidade do solo, por estes serem sensíveis às pequenas mudanças no ecossistema, além de desempenharem funções importantes na manutenção dos serviços ecossistêmicos (BESEN et al., 2018; GIAGNONI et al., 2019).

O carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (C-NBMS e N-BMS), a respiração basal (RBS), o quociente microbiano (qCO_2), bem como as enzimas e a fauna edáfica, constituem alguns dos componentes biológicos estudados para medir a qualidade do solo nos agroecossistemas (LONGO et al., 2011; JANUSCKIEWICZ et al., 2019).

A biomassa microbiana (BMS) e a biota do solo são os principais responsáveis pela modificação da matéria orgânica, sendo que os organismos maiores fragmentam os materiais vegetais que posteriormente serão deteriorados pela microfauna. Além destes serem responsáveis pela ciclagem de nutrientes e fluxo de energia no solo sendo que, estes são influenciados pelos fatores ambientais como temperatura e umidade do solo; deste modo a cobertura vegetal é importante porque auxilia na criação de condições favoráveis a atividade dos mesmos (BARETTA et al., 2011; SANGHAW, 2017).

Deste modo, estudam-se duas hipóteses: (i) há diferença na diversidade da biota do solo nas áreas agrícolas, florestal e em área silviagrícola; (ii) há alteração na microbiologia do solo, estado nutricional e produtividade da soja cultivada em sucessão ao consórcio de milho com forrageiras em detrimento ao milho solteiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistemas integrados de produção e qualidade do solo

A qualidade do solo é refletida pela capacidade de sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar que beneficiam a saúde humana e animal (COSTA; DRESCHER, 2018).

O Cerrado brasileiro, constitui numa importante região para a agricultura e para a sociedade brasileira, por causa da sua localização geográfica, características ecológicas, condições topográficas e climáticas favoráveis, desempenhando assim um papel fundamental para a alimentação mundial nos dias atuais e futuramente, uma vez que ainda existe uma grande quantidade de áreas inexploradas (CARNEIRO FILHO; COSTA, 2016).

O uso e expansão da agricultura no Cerrado maranhense se deu principalmente na segunda metade do século XX, como um projeto para o desenvolvimento do Estado do Maranhão (ROCHA, 2015). Quanto ao uso do Cerrado piauiense foi intensificada a partir dos anos 90, com o cultivo em monocultivo de soja, adotando-se as práticas de agricultura moderna, mecanizada e uso de adubos industriais (DANTAS; MONTEIRO, 2010).

Entretanto as práticas agrícolas inadequadas vem causando diminuição na produtividade, degradação do solo e perda dos recursos naturais (SANTOS et al., 2016). Nestas áreas de agricultura mal manejadas tem-se o preparo contínuo do solo e um elevado uso de insumos externos, nomeadamente adubos e pesticidas, que alteram as propriedades físicas e químicas do solo, bem como a estrutura das comunidades, abundâncias, biomassas da fauna e microbiota. Contudo, para que se tenha e se mantenha um solo com uma boa qualidade e sustentável, é de extrema importância que a abundância e diversidade de espécies da fauna edáfica sejam mantidas e ou promovidas (LOSS et al., 2011; STEFANOSKI et al., 2013).

No entanto, a agricultura e a conservação da biodiversidade não estão necessariamente em conflito, existindo sistemas de produção integrados, que vêm numa fase de crescimento no Brasil, sendo utilizados como alternativa aos sistemas de cultivos convencionais, contribuindo assim na otimização das áreas, outrora utilizadas apenas para a produção de grãos (CARVALHO et al., 2016).

Dentre os sistemas alternativos aos sistemas convencionais pode-se destacar o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), que integram atividades agrícolas, pecuárias e florestais, visando diversificar os componentes de produção e a intensificação no uso da terra, além de ser uma opção, para proporcionar um aumento na renda dos agricultores, buscando a adequação ambiental, a valorização do homem e a viabilidade econômica, sendo atualmente considerado técnica de produção inovadora no Brasil (BALBINO et al., 2011; MACHADO 2011).

Este sistema pode ser dividido em quatro sistemas sendo integração lavoura-pecuária (ILP) ou agropastoril, que é o sistema de produção composto pelos componentes agrícola e pecuário; IPF (integração pecuária-floresta) ou silvipastoril, que consiste no sistema de produção onde é integrada em consórcio os componentes de produção da pecuária e florestal; integração lavoura-floresta (ILF) ou silviagrícola, sistema no qual se tem o consórcio de componentes arbóreos com cultivos agrícolas (anuais ou perenes) e por fim o ILPF, ou agrosilvipastoril, no qual integra os componentes lavoura, pecuária e florestal (BALBINO et al., 2011).

A intensificação da produção nos ILPF's, melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; proporciona um aumento na ciclagem e a eficiência de utilização dos nutrientes; permite a recuperação de áreas com pastagens degradadas; controle da erosão; melhoria na infiltração da água da chuva; diminuição da

evaporação da água no solo; sequestro de carbono na vegetação e no solo; mantém as espécies da fauna edáfica endêmicas e reduz a incidência de pragas (ALVARENGA et al., 2010; HUERTA e WAL, 2012).

Nos sistemas integrados se tem deposição de biomassa dos componentes lavoura, pecuária e floresta na superfície do solo, que serão decompostas e assim a matéria orgânica disponibilizada ao solo (LOSS et al., 2011; DIEHL, et al., 2014).

Na ILP, as culturas comumente utilizadas são o milho, milheto, sorgo, soja e principalmente as gramíneas forrageiras tropicais, em consórcio, sucessão ou rotação, que posteriormente a palhada podem ser usadas em plantio direto, tornando assim, a agropecuária brasileira mais sustentável e competitiva (LOSS et al., 2011; MENDONÇA et al., 2015).

A utilização de pastagens em áreas de lavouras consitui uma importante opção para a melhoria do solo, uma vez que as gramíneas fornecem palha, além de suas raízes promoverem uma elevação nos teores de carbono e melhorar as condições de aeração e capacidade de infiltração de água (BALBINO et al., 2011). Contudo uma série de fatores como o solo, o manejo das culturas, os climáticos e a intensidade do cultivo determinam o aumento ou redução do estoque de C no solo (CARVALHO et al., 2014).

Atualmente vem aumentando o interesse dos produtores, técnicos e pesquisadores pela adoção do consórcio de culturas produtoras de grãos com forrageiras tropicais em plantio direto (PD), uma vez que após a colheita do milho a forrageira se desenvolve produzindo palhada suficiente para ser usada em plantio direto (MENDONÇA et al., 2013; GARCIA et al., 2014).

Assim, sistemas onde se tem pouco ou nenhum revolvimento do solo e há o acúmulo de resíduos na superfície, desempenham importantes funções na conservação e ou na manutenção da biota do solo, uma vez que este não revolvimento aliado á rotação de culturas propícia uma menor interferência nos habitats e na disponibilidade dos alimentos para estes organismos (BEDANO et al., 2016).

De acordo com Costa et al. (2014) as forrageiras do gênero *Urochloa* (brizantha cv. Xaraés e ruziziensis) constituem boa opção para a produção de palhada, pela alta quantidade que as mesmas produzem, desta forma seu uso também na rotação de culturas, melhora a estrutura física e química do solo.

Ademais, as forrageiras ainda favorecem a conservação e ajudam na manutenção da umidade do solo, o que acaba por beneficiar também a diversidade biótica, além da alta relação C/N (carbono/nitrogênio) se comparada com as espécies da família fabaceae, desta forma proporciona uma maior longevidade da cobertura e o processo de decomposição mais tardia (LIMA et al., 2014; NAKAO et al., 2019).

No bioma Cerrado, as gramíneas representam ainda, a principal opção como planta de cobertura, sendo que cultivos consorciados com o milho constituem numa importante alternativa para o aporte anual de palhada para os solos, em antecessão ao cultivo da soja, possibilitando a obtenção de forragem na estação seca, com boa qualidade para a alimentação animal e suficiente para a estação seca, quando a finalidade é alimentação animal (MENDONÇA et al., 2014; GAZOLA et al., 2017).

Entretanto, para que se tenha um bom sistema de plantio direto é preciso que se tenha a cobertura do solo estável todo o ano, da mesma forma que é aconselhável que haja uma rotação de cultura, de preferência entre espécies de famílias botânicas diferentes, o que proporcionaria maior benefício para o solo, diversidade e consequentemente efeito positivo sobre o controle de pragas, doenças e de plantas daninhas (LIMA et al., 2014). Contudo nesta região do Cerrado, a ocorrência de estiagem em certas épocas do ano, pode constituir limitação para o fornecimento da palhada nas áreas (MOTA et al., 2020).

A decomposição da serapilheira é um processo chave tanto no fluxo de energia quanto no fluxo de massa dos ecossistemas terrestres, desempenhando importante papel na liberação de nutrientes para o crescimento das plantas, bem como influencia o ciclo do carbono (WANG et al., 2019).

Desta forma, sistemas agrícolas que mantém ou conservam uma certa cobertura do solo são importantes para a manutenção e/ou melhoria da qualidade do solo, destacando-se sistemas como os agroflorestais (SAF's) e o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (LIMA et al., 2010).

Os organismos decompositores constituem um ponto chave neste processo, de decomposição do material vegetal, sendo que a fauna de tamanhos maiores (mesofauna e macrofauna) aceleram as taxas de decomposições, em associação com a microfauna. A meso e a macrofauna fragmentam os restos vegetais em tamanho menores que posteriormente serão deterioradas pela microfauna (SANGHAW, 2019).

2.2 Fauna do solo

O solo constitui uma mistura dinâmica de componentes químicos, físicos e biológicos e nele existem inúmeros organismos, desde as formas mais simples, como bactérias e passando pela maioria dos filos de invertebrados (SNYDER et al., 2013).

A fauna edáfica é definida como os organismos invertebrados que vivem permanentemente ou que passam algumas fases de desenvolvimento no solo ou na serapilheira (AQUINO; CORREIA, 2005).

Estes organismos são importantes indicadores de qualidade de solo, pelo fato destes apresentarem uma alta sensibilidade às pequenas mudanças no ecossistema. Além destes, desempenham importantes funções na manutenção dos serviços ecossistêmicos, contribuindo na melhoria da física do solo criando canais, ajudando assim na aeração, no controle da erosão, promovendo ainda, a decomposição de matéria orgânica, auxiliando na ciclagem de nutriente e na fertilidade do solo (PEN-MOURATOV, 2010; SEGURA et al., 2018).

A fauna edáfica está presente em diversos níveis tróficos dentro da cadeia alimentar no solo, desempenhando um importante papel na condução e na regulação do ciclo e das interações dos nutrientes, que estão envolvidos em várias funções importantes nos ecossistemas, na formação das paisagens e do sistema climático da terra, influenciando assim direta ou indiretamente a produção agrícola (XU et al., 2012; LIMA et al., 2010), os quais podem ser classificados de acordo com classes e tamanho ou de acordo com seus aspectos funcionais (COLEMAN, 2019; MOÇO et al., 2005).

Quanto ao tamanho, a fauna edáfica pode ser classificada em: microfauna, mesofauna, macrofauna e megafauna. Esta classificação compreende todo o intervalo desde o menor (1 - 2 μm , os flagelados) até ao maior com vários metros, como é o caso de algumas minhocas (COLEMAN, 2019; CORREIA; OLIVEIRA, 2000).

A microfauna do solo habita exclusivamente filmes de água, possuindo um diâmetro que varia de 2 a 100 μm , sendo composta por protozoários, nematóides, rotíferos, e em pouca quantidade pequenos indivíduos do grupo Collembola, Acari e outros, atuando de forma indireta, na ciclagem de nutrientes e na regulação das populações de bactérias e fungos (COLEMAN, 2019).

Já a mesofauna habita espaços de poros, cheios de ar, porém estes não constroem espaços no solo, os quais apresentam animais com diâmetro corporal entre 100 μm e 2 mm, tendo como constituintes os grupos: Acari, Collembola, Hymenoptera,

Diptera, Protura, Diplura, Symphyla, Enchytraeidae, Isoptera, Chilopoda, Diplopoda, Araneida e Molusca. Os ácaros e as Collembolas representam a maior quantidade e grupos mais dispersos da mesofauna do solo, desempenhando papel importante na decomposição da matéria orgânica, não apenas decompondo serapilheira, mas também regulando a comunidade microbiana através da predação direta de outros grupos de fauna, desta forma se tornam um grupo importante da cadeia alimentar do solo (COLEMAN et al., 2019 ; MOÇO et al., 2005; BEDANO et al, 2016).

Por sua vez a macrofauna, também denominada de engenheiras do ecossistema, são responsáveis pela modificação do solo, através da formação de agregados estáveis, distribuição e tamanho dos poros e na dinâmica da matéria orgânica, por meio de escavação, degradação de detritos e aumento das atividades microbianas, melhorando assim a sua estrutura, as propriedades hidráulicas e as características químicas. Apresentam diâmetro corporal entre 2 e 20 mm, incluem mais de 20 grupos taxonômicos como: Isoptera, Hymenoptera, Formicidae, Chilopoda, Diplopoda, Araneae, Coleoptera, Orthoptera, Hemiptera, Scorpiones, Pseudoscorpiones, Blattaria, Isopoda, Dermaptera, Diptera, Lepidoptera e Thysanura (COLEMAN et al., 2019; MOÇO et al., 2005).

No que se refere aos grupos funcionais, a fauna edáfica pode ser classificada como: Geófago / bioturbador, detritívoro/ decompositor, fitófago / praga, predadores / parasitas (BROWN et al., 2015).

A fauna edáfica é influenciada pelo uso e manejo do solo, que podem modificar a sua abundância e diversidade, principalmente pela perturbação do ambiente e pelas alterações na quantidade e qualidade da matéria orgânica, além de, ainda poder ser influenciada pela fertilização, calagem, compactação e porosidade do solo, disponibilidade de nutrientes e minerais, pressão osmótica, entre outros (PAUL et al., 2013).

A redução ou a extinção de alguns organismos do solo faz com que um determinado ecossistema perca essas funções importantes, como a decomposição do material vegetal, melhoria na física do solo, controle biológico, entre outras, o que pode levar a uma deterioração, na perda da fertilidade, redução dos nutrientes e ainda o aumento de alguns grupos de organismos e pragas para as culturas (SILVA et al., 2018).

Nesse sentido, os sistemas conservacionistas de manejo do solo podem reduzir os impactos sobre a biodiversidade edáfica por revolver o solo somente na linha de semeadura, manter o solo coberto com resíduos culturais e adotar a rotação de culturas, o que pode elevar o teor de carbono orgânico total e nutrientes no solo, desta forma favorecendo uma maior diversidade de indivíduos do solo (GEORGE et al., 2017).

Além disso, sistemas integrados podem melhorar os atributos físicos e químicos do solo quando comparados com a prática convencional, associados à monocultura e ao preparo excessivo do solo que reduzem a quantidade e qualidade dos resíduos orgânicos, o que limitaria o estabelecimento de determinados táxons (BARETTA et al., 2011).

2.3 Indicadores microbiológicos do solo

A biomassa microbiana é um importante indicador da qualidade do solo, uma vez que representa a fração lábil da matéria orgânica, de natureza dinâmica e é bastante sensível à variação ambiental, desta forma sua alteração é rapidamente detectada (SILVA et al., 2010).

Fatores ambientais como temperatura e umidade do solo têm sido amplamente reconhecidos como controles primários da biomassa microbiana. Estudos comprovam que altas temperaturas provocam rápida deterioração do material vegetal e limitação de nutrientes influenciando assim a biomassa microbiana (SCHINDLBACHER et al., 2015).

A alta umidade do solo também influencia a atividade microbiana, por diminuir a difusividade e a disponibilidade de O₂, o que poderia inibir a atividade microbiana e a respiração, bem como provocar respiração anaeróbica e fermentação nos solos, assim como a baixa da umidade do solo induz respostas microbianas ao estresse, levando a sua inatividade, cuja respostas metabólicas face a esse estresse afetam a respiração e conseqüentemente o crescimento microbiano (WANG et al., 2015).

O solo é o principal reservatório de carbono orgânico (C) em ecossistemas terrestres, sendo que este grande reservatório de C orgânico é decomposto e transformado por microrganismos do solo (XU et al., 2013).

A fauna edáfica heterotrófica consome o carbono orgânico, sendo que uma parte é transformada em biomassa microbiana que se estabiliza em solos, porém uma

parte do carbono absorvido é mineralizado para o dióxido de carbono (CO₂), tendo assim uma influência significativa nos fluxos globais de CO₂, deste modo valores baixos do carbono microbiano implicam um potencial reduzido para o sequestro de C a longo prazo nos solos (DA SILVA et al., 2010; WANG et al., 2015).

O ciclo do N no solo está estreitamente associado à matéria orgânica, por isso a biomassa microbiana tem sido considerada sua importante fonte, uma vez que constitui sua fração ativa e potencialmente mineralizável. A ciclagem do N microbiano é mais rápida do que o N de outras frações da matéria orgânica do solo (MOS), sendo que a biomassa microbiana atua como um poder tampão do N no solo, controlando a disponibilidade desse nutriente por meio dos processos de mineralização e imobilização (SMITH; PAUL, 1990).

A respiração basal do solo (RBS) é mensurada pela liberação do CO₂ pelos microrganismos, através da decomposição da matéria orgânica (SILVA et al., 2013). Contudo apenas os dados de RBS não nos permite inferir sobre a qualidade do solo, deste modo, conforme Silva et al. (2007), o quociente metabólico (qCO₂), que é a razão entre a respiração basal e a biomassa microbiana do solo, por unidade de tempo, representando assim, o quanto de CO₂ é liberado pela biomassa microbiana determinado tempo, sendo que valores maiores indicam uma certa instabilidade no sistema e valores menores o inverso.

Do mesmo modo, as enzimas constituem importantes indicadores microbiológicos do solo, principalmente por estas originarem-se de células de organismos vivos, sendo que esta representa a atividade oxidativa da microbiota edáfica (YADA et al., 2015).

A hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) é hidrolisado por diversas enzimas (lípsases, proteases e esterases), que estão nos microrganismos, sendo que estas atuam em processos de biodegradação e transformações de substâncias orgânicas (CHÁVEZ et al., 2011; YADA et al., 2015).

No que se refere a desidrogenase, esta é considerada também um bom indicador de qualidade de solo, pois é fácil de ser detectada no solo, por refletir a atividade oxidativa total da microbiota, sua ação intracelular de baixa intensidade, sendo que sua atividade é modificada com adição da matéria orgânica no solo (GARCIA et al., 1997).

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARENGA, R.C.; SILVA, V.P.; NETO, M.M.G.; VIANA, M.C.M.; VILELA, L. Sistema integração lavoura-pecuária-floresta: condicionamento do solo e intensificação da produção de lavouras. **Embrapa Florestas - Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2010.
- AQUINO, A.M.; CORREIA, M.E.F. **Invertebrados edáficos e o seu papel nos processos do solo**. Seropédica, Embrapa Agrobiologia, 2005. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 201).
- ARAUJO, T.D.S.; GALLO, A.D.S.; ARAUJO, F.D.S.; SANTOS, L.C.D.; GUIMARÃES, N.D.F. SILVA, R.F.D. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42 n.2, p.51-60, 2019.
- BALBINO, L.C.; CORDEIRO, L. A. M.; DA SILVA, V. P.; MORAES A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R.C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R.S.; DOS SANTOS, H.P.; FRANCHINI, J.C; GALERANI, P.R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, 2011.
- BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P. S.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; FILHO, L. C. L. O.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. **Tópicos Ciências do Solo**, 2011, v.7, p.119-170.
- BEDANO, J. C.; DOMÍNGUEZ, A.; AROLFO, R.; WALL, L. G. Effect of Good Agricultural Practices under no-till on litter and soil invertebrates in áreas with diferente soil types. **Soil and Tillage Research**, v.158, p.100-109, 2016.
- BESEN, R. M.; RIBEIRO, R. H.; MONTEIRO, A. N. T.R.; IWASAKI, G.S.; PIVA, J. T. Práticas conservacionistas do solo e emissão de gases do efeito estufa no Brasil. **Scientia Agropecuaria**, v.9, n.3, 2018.
- CARNEIRO FILHO, A.; COSTA, K. **A expansão da soja no cerrado: caminhos para a ocupação territorial, uso do solo e produção sustentável**. São Paulo: Agroicone, 2016. 30p.
- CARVALHO, J.L.N.; RAUCCI, G.S.; FRAZÃO, L.A.; CERRI, C.E.P.; BERNOUX, M.; CERRI, C.C. Crop pasture rotation: A strategy to reduce soil green house gas emissions in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment, Amsterdam**, v.183, p.167–175, 2014.
- CARVALHO, J.S.; KUNDE, R.J.; STOCKER, C.M.; DE LIMA, A.C.R.; DA SILVA, J.L.S. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, 2016.

CHÁVEZ, L.F.; ESCOBAR, L.F.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.D.F.; MEURER, E.J. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1254-1261, 2011.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.37-43, 2012.

COELHO, J.S.; ARAÚJO, S.A.C.; VIANA, M.C.M.; VILLELA, S.D.J.; FREIRE, F.M.; BRAZ TGS. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim braquiária em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais. **Semina: Ciências Agrárias**, v.35, p.1487-1500, 2014.

COLEMAN, D.C.; CALLAHAM, M.A; CROSLLEY JR, D.A. **Fundamentals of soil ecology**. Academic Press, 376p, 2017.

CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. Fauna de solo; aspectos gerais e metodológicos. Seropédia: Embrapa Centro Nacional de Pesquisa de Agrobiologia, 46p. (Documento, 112)

COSTA N.R.; ANDREOTTI M.; FERNANDES J.C.; CAVASANO F.A.; ULIAN N.A.; PARIZ C.M.; SANTOS F.G. Acúmulo de nutrientes e decomposição da palhada de braquiárias em função do manejo de corte e produção do milho em sucessão. **Revista Brasileira de Ciências Agrônomicas**. v.9, p.166-73, 2014.

COSTA, L.M.; DRESCHER, M.S. Implicações do manejo agropecuário sobre a fauna epigeica e propriedades físicas de um Latossolo argiloso. **Revista Ceres**. v.65, n.5, p.443-449, 2018.

CUNHA, N. R.S.; LIMA, J. E.; GOMES, M. F.M.; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos cerrados, Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.46 n.2, p.91-323, 2019.

Dantas, K.P.;& Monteiro, M.D.S.L. Valoração econômica dos efeitos internos da erosão: impactos da produção de soja no cerrado piauiense. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.48, n.4, p.619-633, 2010.

DIEL, D.; BEHLING, M.; NETO, A.L. F.; ISERNHAGEM, E.C.C. Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.8, 2014.

GARCIA, C.M.D.P.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; LOPES, K.S.M.; BUZETTI, S. Decomposição da palhada de forrageiras em função da adubação nitrogenada após o consórcio com milho e produtividade da soja em sucessão. **Bragantia**, v.73 n.2, p.143-152, 2014.

GARCIA, T.C; HERNANDEZ, T.; COSTA, F. Potential use of dehydrogenase activity as index of microbial activity in degraded soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.28, n.1-2, p.123-134, 1997

GEORGE, P.B.; KEITH, A.M.; CREER, S.; BARRETT, G.L.; LEBRON, I.; EMMETT, B.A.; ROBINSON, D.A.; JONES, D.L Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national level monitoring programme. **Soil Biology and Biochemistry**, v.115, p.537-546, 2017.

GIAGNONI L, MAIENZA A, BARONTI S, VACCARI FP, GENESIO L, TAITI C, MANCUSO S. Long-term soil biological fertility, volatile organic compound and chemical properties in a vine yard soil after biochar amendment. **Geoderma**, v.344, p.127-136, 2019.

HUERTA, E.; WAL, H. Soil macro invertebrates abundance and diversity in home gardens in Tabasco, Mexico, vary with soil texture, organic matter and vegetation cover. **European Journal of Soil Biology**, v. 50, p. 68-75, 2012.

JANUSCKIEWICZ, E. R.; RAPOSO, E.; MARTINS, B. M. P. R.; MAGALHÃES, M. A.; PANOSSO, A. R.; MELO, G. M. P.; RUGGIERI, A. C. Atividade enzimática do solo de pastos de Brachiaria manejados sob ofertas de forragem. **Boletim de Indústria Animal**, v.76, p. 1-12, 2019.

LIMA, S.F.; TIMOSSI, P.C.; ALMEIDA, D.P.; SILVA, U.R. da. Palhada de braquiária ruziziensis na supressão de plantas daninhas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, v.7, p.541-551, 2014.

LIMA, S.S.; DE AQUINO, A.M.; LEITE, L.F.C.; VELÁSQUEZ, E.; LAVELLE, P. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n.3, 2010.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í.; MELO, W. J. D. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. **Bragantia**, v.70 n.1, p.132-138, 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GLÁCOMO.; S.G.; PERIN, A.; DOS ANJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n.10, 2011.

MACHADO, L.A.Z.; BALBINO, L.C.; CECCON, G. Integração lavoura-pecuária-floresta. 1. Estruturação dos sistemas de integração lavoura-pecuária. **Embrapa Agropecuária Oeste-Documentos (INFOTECA-E)**, 46 pp., 2011.

MENDONÇA, V. Z. D.; MELLO, L. M. M. D.; ANDREOTTI, M., PARIZ, C. M.; YANO, É. H.; PEREIRA, F. C. B. L. Nutrient release from forage straw intercropped with maize and followed by soybean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n.1, p.183-193, 2015.

MENDONÇA, V.Z.D.; MELLO, L.M.M.D.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, F.C.B.L.; LIMA, R.C.; VALÉRIO FILHO, W.V.; YANO, É.H. Avaliação dos atributos físicos do

solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.1, p.251-259, 2013.

MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.4, 2005.

MOTA, P.K.; BORGUI, E.; VIANA, J.H.M.; RESENDE, A.V.; MOURA, M.S.; Soil physical in response to intensification of grain production systems. **Revista Brasileira de Engenharia e Ambiental**, v.24, n.10, p.647-655, 2020.

NAKAO, A.H.; ANDREOTTI, M.; SOARES, D.D.A.; MODESTO, V.C.; PECHOTO, E.A.P.; FREITAS, L.A. Soybean in succession to the residue of the sorghum/Paiaguás grass straw with *Azospirillum brasilense*. **Revista Ceres**, v.66, n.5, p.395-401, 2019.

OLIVEIRA, F. L. R. D.; CABACINHA, C. D.; SANTOS, L. D. T.; BARROSO, D. G.; SANTOS JÚNIOR, A. D.; BRANT, M. C.; SAMPAIO, R. A. Crescimento inicial de eucalipto e acácia, em diferentes arranjos de integração lavoura-pecuária-floresta. **Cerne**, v.21, n.2, p.227-233, 2015.

Rocha, R. G. O Processo de ocupação do Sul do Maranhão: Dinamismo econômico e des (re) ordenamento territorial. *Inter Espaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v.1, n.1, p.5-26, 2015.

RODRIGUES, J. L. M.; PELLIZARI, V. H.; MUELLER, R.; BAEK, K.; JESUS, E. C.; PAULA, F. S.; MIRZA, B.; HAMAOUJI JR., G. S.; TSAI, S. M.; FEIGL, B.; TIEDJE, J. M.; BOHANNAN, B. J. M.; NÜSSLEIN, K. Conversion of the Amazon rain forest to agriculture results in biotic homogenization of soil bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v.110, n.3, p.988-993, 2013.

SANGHAW, R IWAI, C.B.; CHOOSAI.; C. E VITYAKON, P. Initial contents of residue quality parameters predict effects of larger soil fauna on decomposition of contrasting quality residues. **Agriculture And Natural Resources**, v. 51, 2017.

SANTOS, D. P.; SANTOS, G. G.; SANTOS, I. L.; SCHOSSLER, T. R.; NIVA, C.C.; MARCHÃO, R. L. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, 2016.

SCHINDLBACHER, A.; SCHNECKER, J.; TAKRITI, M.; BORKEN, W.; WANEK, W.V. MICROBIAL physiology and soil CO₂ efflux after 9 years of soil warming in a temperate forest - no indications for thermal adaptations. **Global Change Biology**, v.21, p.4265–4277, 2015.

SILVA, J. M.; ALBURQUERQUE, L. S. D.; SANTOS, T. M. C. D.; OLIVEIRA, J. U. L. D.; GUEDES, E. L. F. Mineralização de vermicompostos estimada pela respiração microbiana. **Revista Verde**, v.8, n.4, p.132-135, 2013.

SILVA, R. A.; AGUIAR, A. D. C. F.; REBÊLO, J.; MACÁRIO, M.; FRANÇA E SILVA, Ê. F. D.; SILVA, G. F. D.; SIQUEIRA, G. (2019). Diversity of edaphic fauna in diferente soil occupation systems. **Revista Caatinga**, v.32 n.3, p.647-657, 2019.

SILVA, R. A.; SIQUEIRA, G. M.; COSTA. M. K. L.; FILHO, O. G.; SILVA, Ê. F. F. Variabilidade espacial da fauna do solo sob diferentes usos e manejos da terra. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.42, n.1, 2018.

SILVA, R.R.D.; SILVA, M.L.N., CARDOSO, E.L.: MOREIRA, F.M.D.S.; CURI, N.; ALOVISI, A.M.T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.5, p.1584-1592, 2010.

SNYDER, B.; CALLAHAM JR, M.A; LOWE, C.N.; HENDRIX, P.F. Earthworm invasion in North America: Food resource competition affects native millipede survival and invasive earthworm reproduction. **Soil Biology and Biochemistry**, v.57, n.1, 2013.

SOUZA, J. F. D.; PERUSSO, R. L. S.; BONINI, C. S. B.; SOUZA, C. T.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGHETTO, C.; PEDRO, F. G. Atributos físicos, matéria orgânica do solo e produção de capim marandu em sistema de integração lavoura-pecuária - floresta. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.13, n.1, p.51-64, 2019.

STEFANOSKI, D.C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L.P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1301-1309, 2013.

WANG, L.; ZHANG., J.; HE, R.; CHEN, Y. Impacts of soil fauna on lignin and cellulose degradation in litter decomposition across an alpine forest-tundra ecotone. **European Journal of Soil Biology**, v.87, n.1, p.53-60, 2019.

WANG, Z.; YIN, X.; LI, X. Soil mesofauna effects on litter decomposition in the coniferous forest of the Changbai Mountains, China. **Applied Soil Ecology**, v.92, p.64-71, 2015.

YADA, M. M.; MINGOTTE, F. L. C.; MELO, W. J. D.; MELO, G. P. D.; MELO, V. P. D.; LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í. Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração de estanho e em fase de recuperação em ecossistema amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 3, p 714-724, 2015.

CAPÍTULO I

DIVERSIDADE DA FAUNA EDÁFICA EM COMPONENTES DE SISTEMAS INTEGRADOS NO CERRADO DO LESTE MARANHENSE

Resumo

Os sistemas integrados constituem uma alternativa viável face aos desafios da agricultura moderna e sustentável. Objetivou-se avaliar a fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo no Cerrado maranhense, assim como seus atributos microbiológicos. Os sistemas avaliados estão dispostos na Fazenda Barbosa, Brejo, MA, sendo: soja cultivada em sistema consolidado de plantio direto (SPDSOJA) em mais de dez safras; soja em plantio direto adotado recentemente (SOJAREC), em três safras; eucalipto cultivado em renques de três linhas (RENEUC) espaçamento de 4x3 m; cultivo da soja nos entrerenques de eucalipto (SOJAENTR) e uma área de Cerrado nativo (MATA). Os organismos foram coletados em abril de 2019, durante o período chuvoso utilizando as armadilhas de queda tipo “*pitfall*”, onde em cada sistema foram colocadas 7 armadilhas permanecendo na área por 7 dias, e posteriormente foram identificados ao nível classes, sub-classe, ordem ou famílias. Procedeu-se o cálculo do número de indivíduos por armadilha por dia, riqueza total, riqueza média, índice de Shannon e equitabilidade de Pielou; além da análise do carbono e nitrogênio da biomassa microbiana (C-MBS e N-BMS), respiração basal (RBS), quociente metabólico (qCO_2) e atributos químicos do solo (pH, P, K, Ca, Mg, Al e H+Al). Com os dados foram realizadas a análise de variância, e utilizado o teste de Tukey (5% de probabilidade) para indivíduos por armadilha por dia, riqueza média, atributos químicos e biológicos do solo, e foi realizada análise de componentes principais e agrupamentos entre o número de indivíduos e os sistemas estudados. Foram coletados organismos de 16 grupos (sub-classe, classe e/ou ordem) diferentes, com destaque para os grupos Collembola, Acari, Formicidea e Coleoptera, os quais foram de maior ocorrência, e que juntamente com Oligochaeta, Diptera e Araneae estiveram presentes em todos os sistemas. A MATA e RENEUC apresentaram as maiores quantidades de indivíduos por armadilha por dia. A maior riqueza foi observada na MATA e na área de SPDSOJA. Quanto ao índice de diversidade Shannon, o manejo SOJAREC apresentou o maior valor, e o maior índice de equitabilidade de Pielou foi observado na soja cultivada entre renques. A análise multivariada distinguiu os manejos em três grupos, sendo o sistema silviagrícola (RENEUC e SOJAENTR), os sistemas cultivados com soja (SOJAREC e SPDSOJA) e o Cerrado. Evidenciando assim, os efeitos positivos da integração e do uso de cobertura vegetal sobre os atributos biológicos do solo.

Palavras-chave: ILPF, invertebrados do solo, Pitfall.

CHAPTER I
DIVERSITY OF EDAPHIC FAUNA IN COMPONENTS OF INTEGRATED SYSTEMS
IN THE CERRADO OF THE EAST MARANHENSE.

Abstract

Intercropping systems are a viable alternative to the challenges of modern and sustainable agriculture. The objective was to evaluate the edaphic fauna in different cultivation systems in the Cerrado of eastern Maranhão, as well as its microbiological attributes. The evaluated systems are in the Barbosa Farm, Brejo, MA, being: soybeans grown under consolidated no-tillage system (SPDSOJA) in more than ten crops; no-tillage soybeans recently adopted (SOJAREC), in three cropping seasons; eucalyptus grown on three ranks (RENEUC) 4x3 m spacing; cultivation of soybeans between the eucalyptus ranks (SOJAENTR) and an area of native Cerrado (MATA). The organisms were collected in April 2019, during the rainy season using pitfall-type fall traps, where in each system 7 traps were placed in the area for 7 days, and subsequently were identified at the class, sub-class, order or families. The number of individuals per trap per day, total wealth, average wealth, Shannon index and Pielou equitability were calculated; in addition to carbon and nitrogen analysis of microbial biomass (C-MBS and N-BMS), basal respiration (RBS), metabolic quotient (qCO_2) and soil chemicals (pH, P, K, Ca, Mg, Al and H + Al). The data were carried out through analysis of variance, and the Tukey test 5% was used for individuals per trap per day, average richness, chemical and biological attributes, and analysis of main components and groupings between the number of individuals and the systems studied was performed. Organisms were collected from 16 different groups (sub-class, class and/or order) with emphasis on the groups Collembola, Acari, Formicidae and Coleoptera, which were the most common, and which together with Oligochaeta, Diptera and Araneae were present in all systems. MATA and RENEUC had the highest number of individuals per trap per day. The greatest richness was observed in MATA and in the SPDSOJA area. As for the Shannon diversity index, the SOJAREC management presented the highest value, and the highest Pielou equitability index was observed in soybean grown between rows. The multivariate analysis distinguished management in three groups, the silviagricultural system (RENEUC and SOJAENTR), the systems cultivated with soybean (SOJAREC and SPDSOJA) and the Cerrado. Thus evidencing the positive effects of integration and the use of vegetation cover on the biological attributes of the soil.

Keywords: CLFI, soil invertebrates, Pitfall.

1 INTRODUÇÃO

As práticas agrícolas inadequadas tem provocado diminuição na produtividade e degradação do solo, por ocorrer um desequilíbrio nestas áreas, ocasionado pelo uso excessivo de insumos, não adoção de rotação ou cultivos integrados, assim como uma baixa variedade de entrada de fontes orgânicas, deste modo levando ao decréscimo na biodiversidade do solo, afetando negativamente estas áreas (LOSS et al., 2011; LIMA et al., 2011; RODRIGUES et al., 2013).

As práticas agrícolas mais sustentáveis e economicamente viáveis como o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), surgem como alternativas, integrando atividades agrícolas, pecuárias e florestais, no qual são mais eficientes na ciclagem de nutrientes no solo, visando melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (BALBINO et al., 2011; SALTON et al., 2014; CARVALHO et al., 2016).

Nos sistemas integrados, têm-se uma maior deposição de biomassa dos componentes lavoura, pecuária e floresta na superfície do solo que serão decompostas e assim a matéria orgânica será disponibilizada ao solo (DIEL et al., 2014), sendo que os organismos decompositores constituem um ponto chave neste processo (SANGHAW, 2017).

O solo é uma estrutura bastante complexa e uma mistura dinâmica, de componentes químicos, físicos e biológicos, representando um dos mais importantes reservatórios da biodiversidade, onde os componentes bióticos e abióticos (umidade, temperatura do solo), interagem conjuntamente no processo da decomposição da matéria orgânica, na reciclagem de nutrientes e nas modificações físicas do solo (WANG et al., 2019; SNYDER et al., 2013).

A fauna edáfica é definida como os organismos invertebrados que vivem permanentemente ou que passam algumas fases de desenvolvimento no solo ou na serapilheira (AQUINO; CORREIA, 2005). Para uma maior facilidade nos estudos dos grupos que constituem a fauna do solo, estes são classificados de acordo com classes de tamanho; microfauna: 2 a 100 μm , mesofauna: 100 μm a 2 mm, macrofauna: 2 e 20 mm e seus grupos funcionais: geófago/bioturbador; detritívoro/decompositor; fitófago/praga e predador/parasita (BROWN et al., 2015).

Os organismos do solo são importantes indicadores de qualidade, por estes apresentarem uma alta sensibilidade às pequenas mudanças no ecossistema, além de desempenharem funções importantes na manutenção dos serviços ecossistêmicos (BARETTA et al., 2005; SEGURA et al., 2018).

A fauna edáfica é influenciada pelo uso e manejo do solo, modificando a sua abundância e diversidade, principalmente pelas alterações na quantidade e qualidade da matéria orgânica, pela fertilização, calagem, compactação do solo, disponibilidade de nutrientes e minerais, assim como umidade, temperatura e irradiação (GEORGE et al., 2017), sendo que a redução ou a extinção de alguns organismos provoca perda na qualidade física, na fertilidade e o aumento de grupos de organismos pragas para as culturas (SILVA et al., 2019).

Alguns estudos tem demonstrado os efeitos negativos sobre a fauna do solo, em áreas agrícolas quando comparada as áreas de mata nativa. Santos et al. (2017) estudando diferentes formas de cultivo, na região Cerrado/Caatinga no Piauí, e Crepaldi et al. (2014), pesquisando as formigas na região de Dourados, Mato Grosso do Sul, concluíram que a manutenção dos fragmentos florestais (Cerrado e Floresta Semidecídua) e a adoção de sistemas integrados, como a lavoura-pecuária, contribuem na manutenção da qualidade do solo. Os autores concluíram que esses manejos causam menores impactos sobre a mesofauna do solo além de auxiliar na conservação da diversidade de formigas.

Nesse sentido, os sistemas conservacionistas de manejo do solo podem reduzir os impactos negativos sobre a biodiversidade edáfica, visto que estes mantem o solo coberto com resíduos culturais e adotam rotação de culturas, o que pode ainda elevar o teor de carbono orgânico total e nutrientes no solo, favorecendo a biota do solo (GEORGE et al., 2017).

Contudo, ainda são poucos os trabalhos sobre estes organismos nos sistemas de ILPF. Desta forma, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a diversidade da fauna edáfica em diferentes manejos no solo na região do Cerrado maranhense.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área

O estudo foi realizado na Fazenda Barbosa, situada na cidade de Brejo, estado do Maranhão (03°42'44" S; 42°55'44" W e 55m de altitude).

O clima, segundo a classificação climática de Köppen--Geiger, é do tipo Aw, clima tropical com duas estações do ano, a estação chuvosa (dezembro - junho) e estação seca (julho - novembro). A precipitação pluvial média é de 1.426 mm de acordo com os dados da Fazenda Barbosa e a temperatura máxima de 32 °C e mínima de 23 °C, em 2019 (INMET, 2020)(Figura 1). O solo da área experimental foi classificado como ARGISSOLO AMARELO distrocoeso típico, textura franco-arenosa, com a presença de horizonte coeso, sendo o bioma da região do tipo Cerrado (RESENDE et al., 2014).

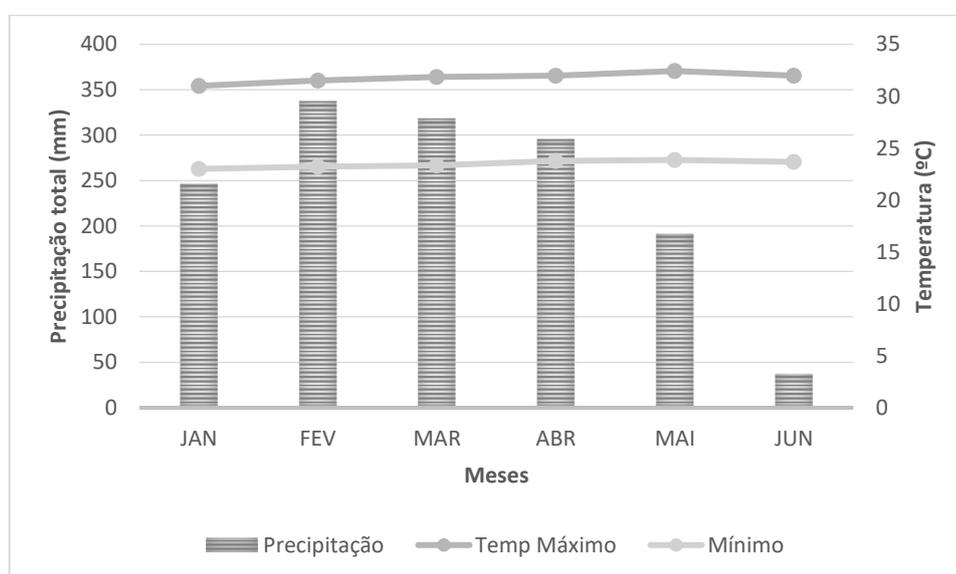


Figura 1 - Precipitação segundo os dados da Fazenda Barbosa, Brejo, MA, e temperatura máxima e mínima no primeiro semestre de 2019 de Chapadinha, MA (INMET, 2020).

Foram estudadas cinco áreas de manejos silviagrícola, no qual foram divididos em dois componentes o florestal e o agrícola (eucalipto – renque e soja – entrerenque), uma área consolidada de cultivo de grãos em plantio direto em 14 anos, uma área recente de cultivo de grãos, também em sistema de plantio direto e uma área de Cerrado nativo. A área silviagrícola foi implantada na safra 2016/2017, além da área recente de cultivo de grãos (Tabela 1).

As áreas sillviagrícolas e as sojas em plantio direto consolidado e recente foram todas desmatadas em 2004, e no ano posterior prosseguiu-se o cultivo do arroz de terra alta. No período de 2006 a 2010 foi adotado o sistema de plantio direto com

monocultivo da soja, com manejo da fertilidade do solo baseado na análise química do solo a cada ano.

A partir do ano de 2011, foi adotado o plantio da *Urochloa brizantha* cv. Marandu em sobressemeadura a cultura da soja (*Glycine max* L.), sendo que após a colheita da soja e do adequado desenvolvimento da forrageira, os animais entravam na pastagem. Em torno de 30 dias antes do plantio da soja para a próxima safra, ocorria a dessecação da forrageira para uso da palhada sob plantio direto. Em 2017, iniciou-se na área o projeto desenvolvido pela Embrapa Meio-Norte, intitulado “Tecnologias para sistemas de produção integrados na região Meio-Norte do Brasil”, exceto a área SPDSOJA, sendo o manejo de cada sistema após esta data apresentada na Tabela 1.

Tabela 1- Histórico do manejo das áreas na fazenda Barbosa, Brejo, MA.

Sistema de uso do solo	Histórico
Soja cultivada entre renques de eucalipto (SOJAENTR)	<ul style="list-style-type: none"> • 2017: Instalação do ILPF: renques de eucalipto com três fileiras em espaçamento de 4x3 m, e entre renques com cultivo de culturas anuais de 26 m; plantio de milho consorciado com capim nos entre renques e na instalação foi realizada aração e gradagem. • 2018: Plantio de soja no entrerenque de eucalipto (sem revolvimento do solo, com plantio de milheto como planta de cobertura). • 2019: Plantio de soja – manejos realizados da seguinte forma: <ul style="list-style-type: none"> • Dessecação da palhada com 2 L/ha de glifosato e 1 L/ha de 2.4 D amina. • Adubação, ambas com 280 kg/ha, sendo no plantio com NPK 09-46-00 e com 09-00-36, 30 dias após o plantio; • Adubação foliar em duas aplicações com os nutrientes Cu (Bigred®, 0,014 L/ha), Mn (Budacre®, 0,2 L/ha), Zn (Max Zinc®, 0,05 L/ha), Mo (PotamolPlus®, 1 L/ha) e empragado espalhante adesivo (TA 35®, 0,05 L/ha); • Controle de plantas daninhas com herbicidas (Poquer®, 0,45 L/ha, Iharol®, 0,1 L/ha e espalhante adesivo - TA 35®, 0,05 L/ha); • Controle de doenças e pragas (Score flex®, 0,15 L/ha, Unizeb Gold®, 1,5 kg/ha, Nomolt®, 0,2 L/ha, e espalhante adesivo TA 35®, 0,05 L/ha).
Renques de eucalipto (RENEUC)	<ul style="list-style-type: none"> • 2017: Plantio do eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>), realizado na direção leste-oeste, com fileiras triplas (4 m entre fileiras e 3 m entre plantas). A distância entre renques é de 26 m e comprimento de 160 m. No entrerenque

	<p>cultiva-se culturas anuais. Na instalação foi realizada aração e gradagem. A adubação e correção do solo foi realizada conforme recomendações técnicas para a cultura com base em análise de solo.</p>
<p>Soja em sistema de plantio direto consolidada (SPDSOJA)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Área de plantio direto com cultivo de soja em rotação com milho a cada 4-5 anos, sendo milho consorciado com capim. A adubação e correção do solo foi realizada conforme recomendações técnicas para a cultura com base em análise de solo. • 2016: Soja (sem revolvimento do solo, com plantio de milheto como planta de cobertura). • 2017: Milho consorciado com braquiária cv. Marandu (escarificado antes do cultivo do milho). • 2018 e 2019: Soja (sem revolvimento do solo, com plantio de milheto como planta de cobertura). Manejo de adubação e da cultura segundo SOJAENTR.
<p>Soja em sistema de plantio direto recente (SOJAREC)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2017: Área cultivada com sorgo e após a colheita os resíduos culturais foram empregados como palhada para o cultivo sucessivo. • 2018: Área cultivada com milho consorciado com braquiária (cv. Marandu); • 2019: Cultivo de soja (sobre a palhada do milho e braquiária cv. Marandu). Manejo de adubação e da cultura segundo SOJAENTR.
<p>Mata Nativa (MATA)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Área de Cerrado nativo. Em 2017 a área sofreu com um incêndio no segundo semestre.

2.2 Amostragem da fauna e do solo

A coleta da fauna edáfica foi realizada durante o período de chuvas, em abril de 2019, sendo o acumulado de precipitação do mês de 295,5 mm (Figura 1). A captura dos organismos foi efetuada por meio de armadilhas do tipo “Pitfall”, de acordo com metodologia descrita por Moldenke (1994) e adaptada por Aquino et al. (2006).

As armadilhas foram constituídas de recipientes plásticos de 10 cm de altura e 10 cm de diâmetro, no qual foram enterradas no solo, com a borda ao nível da superfície. Em cada armadilha, com o auxílio de três palitos de madeira foram colocadas um recipiente de plástico com 20 cm de diâmetro, para assim reduzir ou impedir, que restos vegetais e ou água de possíveis precipitações entrassem nos recipientes. Foram instaladas 7 armadilhas, de forma aleatória, por sistema de manejo, evitando-se as bordaduras de cada sistema. Ainda, foram adicionados 300

mL de uma solução conservante de formol com concentração de 4% por armadilha, para evitar a deterioração dos organismos.

Após sete dias de instaladas no campo, as armadilhas foram retiradas do solo, transportadas ao Laboratório de Solo e Planta da Embrapa Meio-Norte, lavadas em água corrente utilizando um filtro de 0,10 mm para a retirada de solo e/ou restos vegetais que possam ter caído nos potes. Posteriormente, os organismos foram transferidos para um recipiente de plástico de 50 mL, onde estes foram conservadas em álcool 70% para futura identificação.

No Laboratório de Entomologia da Embrapa Meio-Norte com o auxílio de uma lupa ótica, os indivíduos coletados foram identificados e classificados segundo o nível de sub-classe, classe, ordem ou família de acordo com Gallo et al. (1988) e Dindal (1990).

Nas mesmas áreas onde foram realizadas as coletas da fauna também se procedeu amostragem de solo a 0-0,1 m de profundidade, as amostras foram refrigeradas para análises microbiológicas, de carbono (C-BMS) e o nitrogênio (N-BMS) da biomassa microbiana e respiração basal do solo (RBS). O C-BMS e o N-BMS foram determinados através do método da irradiação-extração, segundo Ferreira et al. (1999).

A respiração basal do solo foi determinada conforme descrito em Alef (1995), que consiste na determinação por meio da quantificação de CO₂ liberado durante 7 dias, porém a primeira determinação foi realizada após 48 h de incubação em condições aeróbias.

Foram também calculadas o quociente metabólico (qCO₂), onde se fez relação entre a respiração basal do solo, expressa em mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, e o C da biomassa microbiana, expresso em mg C g⁻¹ h⁻¹ (SILVA et al., 2007). O quociente microbiano (qMIC), ou relação C_{mic}/COT foi calculado de acordo com Sparling (1992). Determinou-se, ainda os teores de carbono orgânico total (COT), pelo método proposto por Donagemma et al. (2011).

Na mesma profundidade (0-0,1 m) foram coletadas amostras de solos e foi realizada análise química, onde foram secos ao ar e, posteriormente, peneirado em peneira de malha de 2 mm para a realização das seguintes análises: pH, P, K, Ca, Mg, Al e COT, conforme Donagemma et al. (2011).

2.3 Análise dos dados

A abundância da fauna foi calculada através do número de indivíduos por armadilha por dia, ainda foram calculados os índices ecológicos de riqueza total (S); riqueza média (RM); índice Shannon-Weaver (H); e equitabilidade de Pielou (e).

O índice Shannon-Weaver (H) quantifica a diversidade de uma área pelo número de espécies e abundância relativa sendo expressa através da equação 1:

$$\text{Eq. 1: } H = -\sum p_i \cdot \ln p_i$$

Onde: $p_i = n_i/N$; n_i = abundância de cada grupo; N = abundância total.

A equitabilidade de Pielou (e) representa a uniformidade das espécies nos sistemas de plantio e é determinada pela equação 2:

$$\text{Eq. 2: } e = H/\log S$$

Onde: H = Índice de Shannon e S = Riqueza total (ODUM, 1988).

Os valores próximos de 0 indicam que um grupo é mais dominante no sistema, e valores próximos de 1 denota que há um equilíbrio entre os grupos.

O número de indivíduos por armadilha por dia, riqueza média, as análises biológicas e químicas do solo foram submetidas a análise de variância e a comparação de médias entre cada sistema, através da aplicação do teste Tukey a 5% de probabilidade. Sendo o modelo estatístico empregado o delineamento inteiramente casualizado

Procedeu-se ainda a análise multivariada de componentes principais e agrupamento, empregando-se à distância euclidiana, entre a fauna edáfica (número médio de indivíduos) e os sistemas de manejos estudados, empregando-se o software R (R Core Team, 2017).

3 RESULTADOS

A MATA e o renque do eucalipto (RENEUC) apresentaram uma maior abundância de invertebrados, os quais não diferiram entre si. A área de plantio direto com soja recente (SOJAREC), a área de soja em sistema de plantio direto em 14 anos (SPDSOJsA) e a área de soja entre os renques de eucalipto (SOJAENTR) apresentaram os menores valores diferindo da MATA, contudo os mesmos não diferiram entre si e nem do RENEUC (Tabela 2).

Os indivíduos coletados representam treze (13) ordens (Araneae, Blattodea, Coleoptera, Dermaptera, Diptera, Hemiptera, Hymenoptera, Isoptera, Larvas, Orthoptera, Pseudoscorpiones, Scolopendromorpha, Thysanoptera), três (3) subclasses (Acari, Collembola e Oligochaeta)1 (uma) classe (Diplopoda) e 1(uma) família (Formicidae) (Tabela 3).

Tabela 2 - Valores de indivíduos por armadilha por dia (ind arma⁻¹ dia⁻¹± erro padrão), riqueza total, riqueza média, índice de diversidade de Shannon e índice de equitabilidade de Pielou da fauna edáfica em diferentes sistemas de manejos, Brejo, MA.

Sistema de manejo	Ind. arma ⁻¹ dia ⁻¹ ± erro padrão	Riqueza Total	Riqueza Média	Índice de Diversidade de Shannon	Índice de Equitabilidade de Pielou
MATA	62,00 ± 14,57 a	15	8,1 a	1,13	0,29
RENEUC	35,76 ± 11,18 ab	12	7,7 a	1,40	0,39
SOJAREC	10,73 ± 2,21 b	15	6,1 a	2,49	0,64
SOJAENTR	8,29 ± 3,11 b	11	7,2 a	2,27	0,65
SPDSOJA	9,93 b ± 2,48 b ¹	12	7,2 a	2,20	0,61

¹Médias seguidas mesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (5% de probabilidade). SOJAENTR: Soja cultivada entre renques de eucalipto; RENEUC: Renques de eucalipto; SPDSOJA: Soja em sistema de plantio direto consolidada; SOJAREC: Soja em sistema de plantio direto recente; MATA: Mata Nativa.

Em relação à riqueza total os valores estiveram próximos, e para a riqueza média não houve diferença entre as áreas. O índice de Shannon apresentou maior valor em ordem decrescente para SOJAREC (2,49) > SOJAENTR (2,27) > SPDSOJA (2,20) > RENEUC (1,40) > MATA (1,13), contudo a ordem decrescente de valores para equitabilidade de Pielou foram SOJAENTR (0,65) > SOJAREC (0,64) > SPDSOJA (0,61) > RENEUC (0,39) > MATA (0,29), ou seja, para ambos os índices os dois manejos que possuem componentes florestais (lenhoso) apresentaram menores valores dos dois índices (RENEUC e MATA).

De maneira geral, os Collembola, Acari, Formicidae, Coleoptera, Oligoqueta, Diptera e Araneae constituem os grupos encontrados em todos os sistemas de manejo do solo, onde a ordem Collembola apresentou maior distribuição relativa, em todos os sistemas de manejo, sendo maior na MATA, seguido pelo renque eucalipto, soja em plantio direto consolidada, soja cultivada entre renques de eucalipto e por fim a soja em plantio direto recente (Tabela 3).

Tabela 3 - Distribuição relativa (%) dos grupos taxonômicos da fauna edáfica em diferentes sistemas de manejos, Brejo, MA.

Grupos	SPDSOJA	SOJAREC	SOJAENTR	RENEUC	MATA
	%				
Acari	15,59	11,60	6,90	1,71	8,03
Araneae	1,68	9,32	5,17	6,74	0,33
Blattodea	-	-	-	2,40	0,10
Coleoptera	12,71	20,72	6,03	2,68	5,30
Collembola	51,08	43,35	50,57	77,28	81,40
Dermaptera	-	0,38	-	-	-
Diplopoda	-	0,19	-	-	0,10
Diptera	11,75	3,42	20,69	2,63	0,46
Formicidae	1,68	4,75	4,02	4,97	1,61
Hemiptera	0,48	-	2,59	0,91	0,10
Hymenoptera	-	0,57	-	0,06	0,03
Isoptera	1,20	2,66	0,57	-	1,38
Larva	0,24	-	2,30	0,46	0,23
Oligoqueta	0,72	1,52	0,86	0,06	0,07
Orthoptera	-	0,76	-	-	0,53
Pseudoscorpiones	0,48	0,19	0,29	-	-
Scolopendromorpha	-	0,19	-	-	-
Thysanoptera	2,40	0,38	-	0,11	0,33

SOJAENTR: Soja cultivada em entrelinhas de eucalipto; RENEUC: Linhas de eucalipto; SPDSOJA: Soja em sistema de plantio direto consolidado; SOJAREC: Soja em sistema de plantio direto recente; MATA: Mata Nativa.

Os ácaros formaram o segundo grupo taxonômico com maior distribuição relativa nas áreas da MATA, SPDSOJA, sendo que no SOJAREC e na SOJAENTR foi o terceiro grupo de maior expressão, contudo no RENEUC os ácaros apresentaram distribuição menor que nos demais sistemas de manejo (Tabela 3).

As ordens Araneae, Coleoptera, Diptera e a família Formicidae apresentaram proporções consideráveis nos sistemas estudados, contudo os grupos como Blattodea, Hymenoptera, Oligoqueta, Isoptera, Pseudoscorpiones e Thysanoptera observam-se frequências relativamente baixas (Tabela 3).

A análise de componentes principais mostrou que os dois componentes selecionados explicaram 62,29% da variância total dos dados, sendo que o componente principal 1 explicou 34,12% da variação e componente principal 2 explicou 28,14% (Tabela 4).

Tabela 4 - Coeficientes de pesos (auto vetores), autovalores e variância explicada por cada componente principal (CP1 e CP2) dos grupos taxonômicos da fauna edáfica em diferentes sistemas de manejos, Brejo, MA.

Grupos	CP1	CP2
Acari	-0,38	-0,06
Araneae	0,08	0,19
Blattodea	-0,38	0,12
Chilopoda	0,08	-0,34
Coleoptera	-0,34	-0,20
Collembola	-0,36	0,16
Dermaptera	0,08	-0,34
Diplopoda	0,19	0,17
Diptera	0,03	-0,02
Formicidae	-0,13	0,25
Hemiptera	0,06	0,32
Hymenoptera	-0,02	-0,15
Isopoda	0,20	0,18
Isoptera	-0,36	-0,11
Larvas	-0,04	0,40
Oligochaeta	0,14	-0,37
Orthoptera	-0,37	-0,06
Pseudoscorpiones	0,10	-0,28
Thysanoptera	-0,24	-0,12
Autovalores	6,48	5,34
Variância total (%)	34,12	28,14
Variância acumulada (%)	34,12	62,29

A análise de componentes principais distinguiu os manejos, sendo que a MATA esteve atrelada aos grupos que apresentaram valores negativos para o componente principal 1, como Acari, Blattodea, Coleoptera, Collembola, Isoptera e Orthoptera (Figura 2). O sistema silviagrícola (soja entre renques e renque de eucalipto) estiveram

atrelados aos grupos que apresentaram valores positivos para o componente principal 1 e 2, como Aranae, Diplopoda, Hemiptera e Isopoda; e para os manejos com soja em sistema de plantio direto, recente e consolidado, se diferenciaram por estarem próximos aos grupos que apresentavam escores positivos no componente principal 1 e negativos para o componente principal 2, como Chilopoda, Dermaptera, Hymenoptera, Isoptera, Oligochaeta e Pseudoscorpiones.

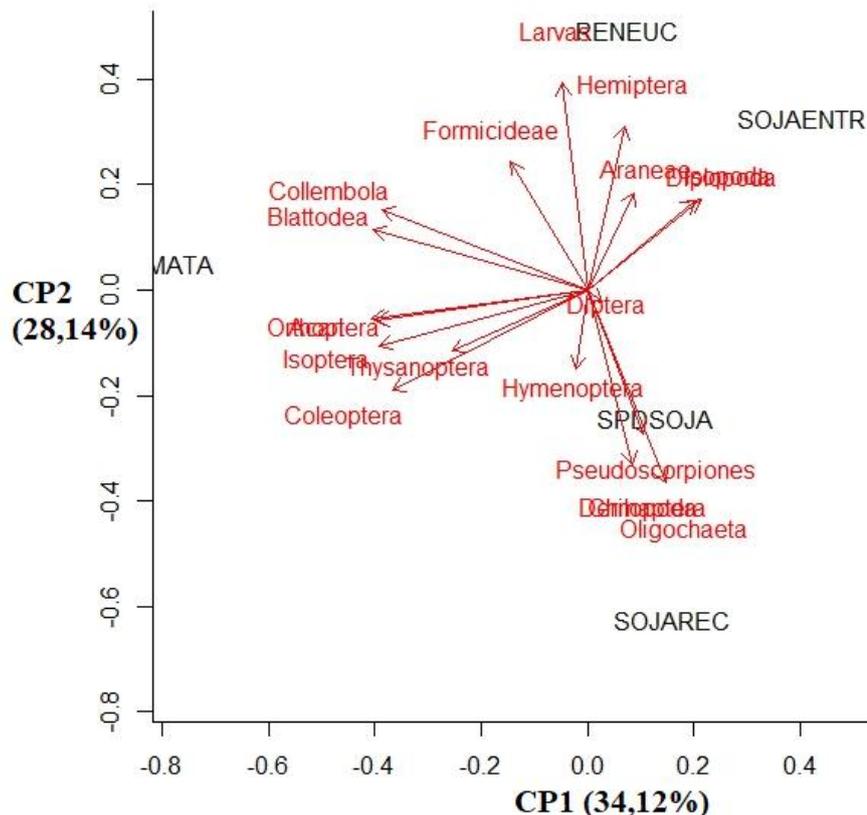


Figura 2 - Biplot entre a relação de número de indivíduos médios dos grupos taxonômicos e os diferentes sistemas de manejos, Brejo, MA. SOJAENTR: Soja cultiva entre renques de eucalipto; RENEUC: Renques de eucalipto; SPDSOJA: Soja em sistema de plantio direto consolidada; SOJAREC: Soja em sistema de plantio direto recente; MATA: Mata Nativa.

A análise de agrupamento evidencia a dissimilaridade entre os sistemas de manejo do solo a partir da análise conjunta dos números de indivíduos dos diferentes grupos taxonômicos (Figura 3). Analisando-se o dendograma houve a formação de três grupos, sendo um a área de Cerrado nativo, outro as duas áreas de soja em sistema de plantio direto (recente e consolidada) e a área silviagrícola, a qual foi formada pelo componente arbóreo (renques de eucalipto) e agrícola (entre renque de soja), de modo que há diferença na fauna edáfica da cultura da soja, quando cultivada

junto a renques de lenhosas, mesmo com o pouco tempo de adoção, diferenciando-se do cultivo solteiro.

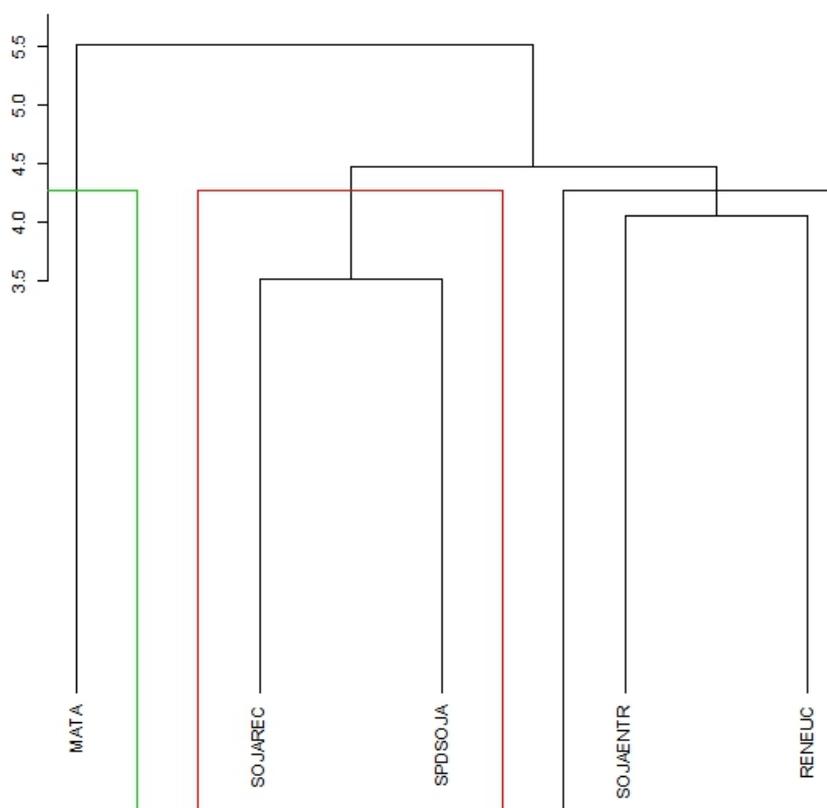


Figura 3 - Dendrograma de dissimilaridade entre número de indivíduos médios dos grupos taxonômicos e os diferentes sistemas de manejos, Brejo, MA. SOJAENTR: Soja cultiva entre renques de eucalipto; RENEUC: Renques de eucalipto; SPDSOJA: Soja em rotação consolidada; SOJAREC: Soja em rotação recente; MATA: Mata Nativa.

Quanto às características químicas e biológicas do solo, verifica-se que a área de Cerrado nativo apresentou os menores valores para pH, fósforo, e para macronutrientes catiônicos (Ca e Mg), além de maior valor de Al em relação aos demais manejos, os quais em sua implantação receberam a aplicação de fertilizantes e corretivos (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores médios de atributos químicos do solo em diferentes sistemas de manejos, Brejo, MA.

Sistemas	pH _{CaCl2}	P	K	Ca	Mg	Al
		mg dm ⁻³		----- cmol _c dm ⁻³ -----		
MATA	4,8c ¹	2c	0,09a	2,0d	1,1b	0,091a
RENEUC	4,8c	28b	0,09a	3,0c	0,9b	0,039b

SOJAREC	5,2b	30b	0,10a	2,7c	1,3a	0,005c
SOJAENTR	5,2b	52 a	0,10a	3,6b	1,3a	0,007c
SPDSOJA	5,7a	32b	0,09a	4,1a	1,3a	0,002c

¹Médias seguidas dasmesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (5% de probabilidade). SOJAENTR: Soja cultivada entre renques de eucalipto; RENEUC: Renques de eucalipto; SPDSOJA: Soja em sistema de plantio direto consolidada; SOJAREC: Soja em sistema de plantio direto recente; MATA: Mata Nativa.

Contudo, para carbono orgânico total e respiração basal do solo, destaca-se a área do RENEUC que apresentou maiores e menores valores, respectivamente. Para carbono este manejo diferiu somente da SOJAENTR, e para respiração basal não diferiu da área MATA e da SPDSOJA. As demais variáveis não apresentaram diferença entre os manejos estudados (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores médios de atributos químicos e biológicos do solo em diferentes sistemas de manejos, Brejo, MA.

Sistemas	COT	C-BMS	N-BMS	RBS	qCO ₂	qMic
	g kg ⁻¹	---- μ g ⁻¹ ----		mg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	mg g ⁻¹ dia ⁻¹	%
MATA	12ab	81a	1,1a	30b	0,40a	0,7a
RENEUC	13a	105a	1,1a	25b	0,29a	0,9a
SOJAREC	9ab	111a	0,8a	46 a	0,46a	1,4a
SOJAENTR	8b	67a	0,3a	45 a	0,81a	0,9a
SPDSOJA	11ab	82a	0,8a	31b	0,41a	0,7a

¹Médias seguidas dasmesmas letras na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (5% de probabilidade). SOJAENTR: Soja cultivada entre renques de eucalipto; RENEUC: Renques de eucalipto; SPDSOJA: Soja em sistema de plantio direto consolidada; SOJAREC: Soja em sistema de plantio direto recente; MATA: Mata Nativa.

4 DISCUSSÃO

O maior número de indivíduos observados na MATA justifica-se por apresentar aporte constante de material vegetal, provenientes dos variados componentes arbóreos e das outras plantas presente nesta área, possibilitando assim maior número de indivíduos e contínua fonte de alimentos e compostos orgânicos com diferentes estágios de decomposição. Além disso, ocorre a influência da copa das plantas, que proporciona menor variação climática (temperatura e umidade do solo), favorecendo o aparecimento de maior variabilidade de nichos para colonização, além de haver

menor competição entre os grupos nestes ambientes (NUNES et al., 2019; SILVA et al., 2019; ZAGATTO et al., 2019).

Ademais, há ausência do tráfego de maquinário, além do não uso de agroquímicos, apresentando assim menor interferência antrópica, tornando desta forma estes ambientes mais estáveis, favorecendo a fauna edáfica.

A maior abundância de indivíduos na área do Cerrado corrobora com o observado por Santos et al. (2016), que ao estudarem a fauna edáfica em diferentes áreas agrícolas na Caatinga/Cerrado no Estado do Piauí; constataram maior densidade de indivíduos na mata nativa.

Por outro lado, Silva et al. (2019) estudando a fauna edáfica em diferentes sistemas de cultivo, em Mata Roma, Estado do Maranhão, constataram que o maior número de indivíduos foi observado no milho (1.424,81 ind. arma⁻¹. dia⁻¹), seguido por eucalipto (548,71 ind. arma⁻¹. dia⁻¹) e posteriormente no Cerrado (340,57 ind. arma. dia⁻¹), valores estes influenciados, principalmente, pela grande quantidade de cobertura vegetal presente nestas áreas.

Os sistemas SPDSOJA, SOJAREC e SOJAENTR apresentaram menores valores de abundância, em relação a MATA, o que pode ser justificado por apresentarem os mesmos manejos de solo e tratos culturais, como adubação, inseticidas, herbicidas, fungicidas, além destas áreas serem homogêneas, ou seja, aportarem menores quantidades de material vegetal, proporcionando assim menor disponibilidade de alimentos, condições climáticas (temperatura, umidade e radiação) não favoráveis, provocando efeitos negativos de forma direta ou indireta na fauna edáfica (MENTA, 2012; SILVA et al., 2013; ROSA et al., 2015 ; BRITO et al., 2016).

Quanto a maior riqueza total observada na área de MATA, justifica-se pelo fato do Cerrado apresentar uma maior diversidade florística, então uma vez que quanto mais heterogênea é a cobertura vegetal, maior será a diversidade dos organismos, levando assim a maior riqueza neste ambiente (NUNES et al., 2012).

A maior riqueza total no SOJAREC, em relação aos demais sistemas cultivados com soja e o RENEUC, ocorreu em função do uso de braquiária na safra anterior, que normalmente resulta numa maior produção de fitomassa. Para Canolego et al. (2012) o ideal para o plantio direto seria o uso do consórcio entre gramíneas e leguminosas, visto que as primeiras contribuem com quantidades relativamente elevadas de fitomassa, caracterizada pela alta relação C/N, o que viria a contrabalançar um

material vegetal cuja decomposição é relativamente rápida gerado pelas leguminosas, e assim aumentar a persistência da cobertura do solo, favorecendo a uma maior diversidade de invertebrados no solo.

Com relação ao RENEUC, a menor riqueza total comparada ao Cerrado, pode ter ocorrido pelo fato dos eucaliptos apresentarem nas folhas substância tóxica para certos organismos (óleos e polifenóis), além das raízes liberarem exsudatos apresentando ações alelopáticas, levando a redução do pH do solo, tendo influência na germinação de sementes de algumas plantas nativas, além da maior relação C/N nas folhas, afetando desta forma direta ou indiretamente a riqueza faunística do solo (MENTONE et al., 2011; PILLON et al., 2011; LARRAÑAGA et al., 2009).

A maior distribuição relativa dos Collembolas observada na MATA e no RENEUC, se dá pelo fato destas áreas apresentarem um grande aporte de material vegetal no solo, uma vez que estes, auxiliam na decomposição destes resíduos, catalisando as atividades microbianas, ciclagem de nutrientes, e na estruturação dos solos (BRITO et al., 2016; COLEMAN et al., 2017).

Quando a frequência relativa dos ácaros constatado nos sistemas cultivados com soja (SPDSOJA; SOJAENTR; SOJAREC), pode estar relacionado a adubação, além da elevação do pH (calagem) e do uso de inseticidas que diminui o número de seus predadores, favorecendo assim este grupo (BARETTA et al., 2011; CASARIL et al., 2019). Ainda segundo Alves et al. (2006) áreas de plantio direto com poucos anos tendem a ter um número significativo de ácaros.

Portanto, as Collembolas e Acari constituem dois importantes grupos de estudos sobre a qualidade de solo por apresentarem maiores abundâncias, são facilmente encontrados nas amostras, e mostram rápida resposta aos distúrbios no ecossistema, com decréscimo acentuado; entretanto em condições ideais apresentam crescimento explosivo e rápido (BARETTA et al., 2011; MENTA, 2012; COLEMAN et al., 2017).

Outros grupos encontrados com frequência relativa considerável foram os Formicidae e os Coleópteros. As formigas são bastante generalistas e com uma maior resistência, fazendo com que deste modo estas sejam encontradas em habitats diferentes (ROMÃO; MARCHORI, 2017).

As formigas ainda possuem representantes tanto, geófagos, saprófagos e predadores (BROWN et al., 2015; NUNES et al., 2019), desempenhando importantes

serviços ecossistêmicos, como melhorias na aeração e na infiltração da água no solo e na incorporação da matéria orgânica (SILVA et al., 2012; SNYDER et al., 2013), sendo importantes indicadores de qualidade do solo por serem sensíveis às ações antrópicas, contudo algumas são beneficiadas pela adubação (POMPEO et al., 2016). Essas características possibilitaram o aparecimento destes grupos em todas as áreas.

Os Coleópteros constituem uma ordem importante sobre o estudo da fauna edáfica, pelo fato de existir um grande número de insetos praga que provocam danos significativos em áreas agrícolas. Contudo também fazem parte da ordem muitos indivíduos benéficos, como os predadores, no qual são importantes para o controle biológico nas áreas, além de espécies que desempenham importante papel na ciclagem de nutrientes e melhoria da física do solo (GARLET et al., 2015; SANTOS et al., 2016).

A ordem Araneae e Diptera também estiveram presentes em todos os sistemas (Tabela 3), sendo que o grupo Araneae é predador, deste modo este grupo sobressai nestes ambientes se alimentando de outros indivíduos, além deste ser frequentemente encontrado em áreas com plantio recente de forrageiras, como é o caso do sistema com cultivo de soja recente (NUNES et al., 2012; Santos et al., 2012).

Quanto a ordem Díptera este não é considerado edáfico, contudo algumas famílias depositam suas larvas em áreas onde se tem matéria orgânica em processo de decomposição (ROSA et al., 2015).

Em relação aos grupos Blattodea, Hemiptera, Hymenoptera, Oligoqueta, Isoptera, Pseudoscorpiones e Thysanoptera segundo Lima et al. (2019), apesar da frequência relativa menores, isso não significa que são irrelevantes, uma vez que em conjunto com os demais grupos de maior abundância, atuam direta ou indiretamente nos processos essenciais para sustentabilidade nos agroecossistemas, sendo que principalmente indivíduos dos grupos Hemíptera e Thysanoptera constituem insetos pragas importantes para a cultura da soja.

Quanto a ordem Isoptera, este constitui um dos táxons comumente encontrado nas regiões de Cerrado, estando presente nos mais diversos sistemas de cultivo, como no estudo sobre a fauna edáfica de Santos et al. (2016). Estes, alimentam de materiais vegetais, possuindo simbioses intestinais que conseguem consumir da melhor forma culturas com alta relação C/N, assimilando os produtos da

decomposição da celulose, nomeadamente a hemicelulose, amido e açúcares (MEDEIROS, 2004).

No que tange aos índices de Shannon e Pielou, os menores valores foram encontrados na MATA e RENEUC (Tabela 2), pode ser justificado pela dominância do grupo Collembola nestas áreas, uma vez que a MATA sofreu o incêndio em 2017, sendo os Collembolos um grupo com reprodução rápido em condições favoráveis, como disponibilidade de alimentos, temperatura e umidade do solo adequados, evidenciando assim que a área de mata está numa boa fase de regeneração.

Esses resultados evidenciam que o alto número de indivíduos de fauna, na época avaliada, pode ter reduzido a diversidade, uma vez que, quanto maior o número de indivíduos, maior será a chance de algum grupo estar predominando. Isso induz redução da equitabilidade (Índice de Pielou), e a diversidade de espécies está associada a uma relação entre distribuição do número de indivíduos entre as espécies (equitabilidade) e o número de espécies (riqueza de espécies).

Por outro lado, os sistemas de manejo com a cultura da soja mostraram maiores valores dessas variáveis. Isto acontece normalmente quando o sistema apresenta poucos grupos e baixa densidade. Neste caso, como os valores de indivíduos não são muito discrepantes entre os grupos, o componente “equitabilidade” do índice de diversidade torna-se alto, elevando o índice de Shannon.

A análise multivariada mostrou que o manejo do solo influencia a fauna edáfica. Houve formação de três grupos, sendo um formado pelo sistema silviagrícola (SOJAENTR e RENEUC), indicando assim que a soja cultivada entre os renques do eucalipto sofreram influência do mesmo, o qual pode se tornar um refúgio para estes organismos.

Verifica-se que os sistemas de plantio direto, mesmo com diferentes anos de adoção tendem a se agrupar, pois apresentam os mesmo grupos, principalmente aqueles que atuam na melhoria da qualidade física do solo (Hymenoptera, Chilopoda e Oligochaeta) (BROWN et al., 2015) e verificado na análise de componentes principais.

A área de Cerrado nativo foi separada dos demais sistemas e esteve atrelada aos grupos que possuem representantes decompositores, saprófagos e ou predadores, que atuam na decomposição do material vegetal, como os Collembola,

Ácari, Coleoptera, Blatodea e Orthoptera (SANTOS et al., 2016), e o grupo Isoptera (Géofago/Saprofágo/Fitofágo).

A alta RBS verificada na SOJAENTR e no SOJAREC foi influenciada pela alta atividade microbiológica o que pode ser justificado pela palhada do milho cultivado na entressafra, por outro lado a não diferença quanto ao qCO_2 mostra que apesar da alta RBS os sistemas estão no mesmo nível de intensidade da atividade microbiana e de equilíbrio.

A maior fertilidade observada nas áreas de soja é em função da aplicação de fertilizantes, fato que não ocorreu na mata e no eucalipto a adubação foi realizada somente na implantação. Por outro lado o maior COT observado nas áreas de mata e eucalipto se justifica pelos resíduos culturais, os quais são superiores ao depositado pelo sistema soja/milho. Os maiores valores de matéria orgânica contribuem, desta maneira, para o maior número de indivíduos por armadilha nas áreas da mata e do eucalipto.

Conclusões

1. Os sistemas com componentes arbóreos propiciam um maior número de indivíduos da fauna edáfica;
2. Os grupos Collembola, Acari, Coleoptera, Araneae, Formicidae e Diptera, estiveram presentes em maior frequência em todos os sistemas;
3. Os sistemas com cultivo de soja apresentaram melhores índices de Shannon e de equitabilidade de Pielou.
4. A análise multivariada evidenciou similaridade entre os componentes dos sistemas integrados, renque do eucalipto e soja cultivada entre os renques; a soja cultivada em sistema de plantio direto (consolidada e recente); os quais apresentaram dissimilaridade da área de Cerrado.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.). **Methods in soil microbiology and biogeochemistry**. New York: Academic, p.464-470, 1995.

AQUINO, A.M.; CORREIA, M.E.F. **Invertebrados edáficos e o seu papel nos processos do solo**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2005. 52 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 201).

BALBINO, L.C.; CORDEIRO, L. A. M.; DA SILVA, V. P.; MORAES A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R.C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R.S.; DOS SANTOS, H.P.; FRANCHINI, J.C; GALERANI, P.R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, 2011.

BARETTA, D.; MAFRA, A.L.; SANTOS, J.C.P.; AMARANTE, C.V.T.; BERTOL I. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.11, p.1675-1679, nov. 2006.

BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P. S.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; FILHO, L. C. L. O.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo, in: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A.L.; GATIBONI, L.C. (Eds), **Tópicos Ciências do Solo**, Sociedade Brasileira de Ciências do solo, Viçosa, 2011, p.141-192

BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. de A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. de A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SILVA, E; ANTONIOLLI, Z. I. DECAËNS, T.; LAVELLE, P. M.; SOUSA, J. P.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In PARRON, L.M.; GARCIA, J.R.; OLIVEIRA, E.B. de.; BROWN, G.G.; PRADO, R.B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, 2015. P.121-154.

CARVALHO, J.S.; KUNDE, R.J.; STOCKER, C.M.; LIMA, A.C.R.; DA SILVA, J.L.S. Evolução de atributos físicos, químicos e biológicos em solo hidromórfico sob sistemas de integração lavoura-pecuária no bioma Pampa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.9, 2016.

CASARIL, C. E.; FILHO, L. C. L. O. Santos, J. C. P.; Rosa, M. G. da. Fauna edáfica em sistemas de produção de banana no Sul de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.14, n.1, 2019

COLEMAN, D.C.; CROSLLEY JR, D.A.; HENDRIX, P.F.; Fundamentals, of soil ecology. 2.ed. Academic Press. 2017.

DA ROSA, M.G.; KLAUBERG FILHO, O.; BARTZ, M. L.C.; MAFRA, Á. L.; AFONSO DE SOUSA, J. P. F.; BARETTA, D. Macrofauna edáfica e atributos físicos e químicos em sistemas de uso do solo no planalto catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.6, 2015.

DIEL, D.; BEHLING, M.; NETO, A.L. F.; ISERNHAGEM, E.C.C. Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.8, 2014.

DINDAL, D. Soil biology guide. New York: John Wiley and Sons, 1990.

DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M(Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Revista Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

GARLET, J.; COSTA, E. C.; BOSCARDIN, J.; MACHADO, D. N.; PEDRON, L. Fauna de Coleoptera edáfica em eucalipto sob diferentes sistemas de controle químico da mata competição. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 239-248, 2015.

LIMA, S.S.; DE AQUINO, A.M.; LEITE, L.F.C.; VELÁSQUEZ, E.; LAVELLE, P. Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.3, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J.; PERIN, A.; DOS ANJOS, L. H. C. Densidade e fertilidade do solo sob sistemas plantio direto e integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.55, n.4, p.260-268, 2012.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; GLÁCOMO.; S.G.; PERIN, A.; DOS ANJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, 2011.

MEDEIROS, M.B. de. Metabolismo da celulose em isóptera: como agem os flagelados que nidificam o intestino de cupins inferiores. **Revista biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v.33, p. 76-81, 2004.

MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.4, 2005.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO, A. S. F.; PESSOA, M. M. C.; R. S. SOUSA, J. D. C. SILVA AND C. H. A. MATOS-FILHO. Edaphic fauna in a vegetation gradient in the Sete Cidades National Park. **Brazilian Journal of Biology**, vol. 79, n. 1, 2019.

PEN-MOURATOV, S.; MYBLAT, T.; SHAMIR, I.; BARNES, G.; STEINBERGER. Soil biota in the Arava Valley of Negev Desert, Israel. **Pedosphere**, v. 20, n.3, pp.272-284, 2010.

PINCELLI, A. L. S. M.; DE MOURA, L. F.; BRITO, J. O. Quantificação dos resíduos da colheita em florestas de Eucalyptus grandis e Pinus caribaea var. hondurensis. Quantification of Harvest residues in Eucalyptus grandis and Pinus caribaea var. hondurensis forests. **Scientia Forestalis**, v. 45, n.115, p.519-526, 2017.

POMPEO, P.N.; OLIVEIRA FILHO, L.C.I.; KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, Á.L.; BARETTA, C.R.D.M; BARETTA, D. Diversidade de Coleoptera (Arthropoda: Insecta) e atributos edáficos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Scientia Agraria**, v.17, n.1, 2016.

RESENDE, J. M. D. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; DANTAS, J. S.; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. D. B. Spatial variability of the properties of cohesive soils from eastern Maranhão, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.4, p. 1077-1090, 2014.

ROMÃO, D.C.; MARCHIORI, N.M. Caracterização da fauna edáfica em áreas com diferentes usos do solo. **Revista faculdades do Saber**, v.2, n.4, 2017.

SALTON, J. C.; MERCANTE, F. M.; TOMAZI, M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.190, n.1, p. 70-79, 2014.

SANGHAW, R IWAI, C.B.; CHOOSAI.; C. E VITYAKON, P. Initial contents of residue quality parameters predict effects of larger soil fauna on decomposition of contrasting quality residues. **Agriculture And Natural Resources**, v. 51, 2017.

SANTOS, D. P.; SANTOS, G. G.; SANTOS, I. L.; SCHOSSLER, T. R.; NIVA, C.C.; MARCHÃO, R. L. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.51, n. 9, 2016.

SANTOS, S.R.Q.; VITORINO, M.I.; HARADA, A.Y.; SOUZA, A.M.L.; SOUZA, E.B. A riqueza das formigas relacionadas aos períodos sazonais em Caxiuanã durante os anos de 2006 e 2007. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.3, p.308- 314, 2012.

SEGURA, D.G; MURRIETA, I.M.CASTILLO.; RABELO, F. MARTÍNEZ.; ANAYA, A. GOMEZ.; CAMPOS, J. RODRÍGUEZ.; CASTELLANOS, B. HERNÁNDEZ.; BAROIS, I. Macrofauna and mesofauna from soil contaminated by oil extraction. **Geoderma**, V.332, p.180-189, 2018.

SILVA, E.E.; AZEVEDO, P.H.S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). **Embrapa Agrobiologia - Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2007.

SILVA, R. A.; AGUIAR, A. D. C. F.; REBÊLO, J.; MACÁRIO, M.; FRANÇA E SILVA, Ê. F. D.; SILVA, G. F. D.; SIQUEIRA, G. Diversidade da fauna edáfica em diferentes sistemas de ocupação do solo. **Revista Caatinga**, v. 32, n. 3, p. 647-657, 2019.

SILVA, R. A.; SIQUEIRA, G. M.; COSTA. M. K. L.; FILHO, O. G.; SILVA, Ê. F. F. Variabilidade espacial da fauna do solo sob diferentes usos e manejos da terra. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v.42, 2018.

SILVA, R. F.; CORASSA, G. M.; BERTOLLO, G.M.; SANTI, A. L.; STEFFEN, R. B. Fauna edáfica influenciada pelo uso de culturas e consórcios de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.2, Goiânia, 2013.

SNYDER, B.; CALLAHAM JR, M.A; LOWE, C.N.; HENDRIX, P.F. Earthworm invasion in North America: Food resource competition affects native millipede survival and invasive earthworm reproduction. **Soil Biology And Biochemistry**, v.57, n.1, 2013.

WANG, L.; ZHANG., J.; HE, R.; CHEN, Y. Impacts of soil fauna on lignin and cellulose degradation in litter decomposition across an alpine forest-tundra ecotone. **European Journal of Soil Biology**, v.87, pp.53-60, 2019.

CAPÍTULO II

ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO, DIAGNOSE FOLIAR E PRODUTIVIDADE DE SOJA EM ROTAÇÃO AO CONSÓRCIO MILHO COM FORRAGEIRAS NO CERRADO MARANHENSE

Resumo

Conhecer os benefícios do uso de forrageiras em consorciação nas condições edafoclimáticas do Cerrado maranhense é preponderante para a adoção de sistemas diversificados e conservacionistas. Objetivou-se avaliar diferentes forrageiras em consórcio como milho e sua influência na atividade biológicas do solo, e os efeitos na cultura sucessora no Cerrado maranhense. O ensaio foi realizado na Fazenda Barbosa, Brejo, MA, em duas safras 2018 e 2019, em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, onde foram testadas milho em consórcio com as forrageiras: Massai (*Megathyrsus maximus*); Zuri (*Megathyrsus maximum* cv. Zuri); Marandu (*Urochloa brizantha*); Ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*); e o milho solteiro, cultivados na safra de 2018 e o cultivo de soja sob as parcelas do milho solteiro e consorciado com as forrageiras na safra 2019. Avaliaram nas duas safras os atributos microbiológicos do solo: carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana (N-BMS e C-BMS), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO_2), na safra 2018 avaliou-se ainda as enzimas desidrogenase e a atividade da diacetato de fluoresceína (FDA), e na safra 2019, a produtividade da soja e os teores de nutrientes nas folhas. De posse dos dados procedeu-se análise de variância e teste de médias em função da significância. O N-BMS e desidrogenase na safra 2018 apresentaram maiores concentrações no consórcio do milho+zuri, sendo superior ao milho+ruziziensis, não diferindo dos demais consórcio e milho solteiro. Com relação ao C-BMS, os consórcios de milho com as *Urochloas* (marandu e ruziziensis) foram superiores ao milho+massai, mas não diferindo dos demais tratamentos. A RBS foi superior no cultivo do milho solteiro em relação aos consórcios de milho com marandu e massai, porém não diferiu dos demais. O qCO_2 foi superior no milho solteiro em relação a todos os consórcios nas duas safras. Para FDA não houve diferença entre os tratamentos. O zuri apresentou maior produção de massa seca, e a menor produtividade da soja em sucessão foi observada no milho solteiro. Quanto aos teores dos nutrientes nas folhas o K na soja cultivada sob o milho solteiro apresentou maior teor diferindo dos demais. O uso do milho consorciado com marandu proporcionou maior produtividade de soja em relação ao milho solteiro, mostrando desta forma os benefícios do consórcio milho e forrageiras para o solo e para produtividade das culturas em sucessão.

Palavras-chave: *Zea mays*, *Glycine max*, Consórcio, Sistemas Integrados.

CHAPTER II

MICROBIOLOGICAL SOIL ATTRIBUTES, FOLIAR DIAGNOSIS AND SOYBEAN PRODUCTIVITY IN ROTATION WITH CORN INTERCROPPING WITH FORAGE IN CERRADO MARANHENSE

ABSTRACT

Know the benefits of using forages in intercropping in the edaphoclimatic conditions of eastern Maranhão is preponderant for the adoption of diversified and conservationist systems. The objective was to evaluate different forage in intercropping with maize and its influence on soil biological activity, and the effects on the successor crop in eastern Maranhão. The experimente as madein the Barbosa Farm, Brejo, MA, in two croppingseasons 2018 and 2019, in a randomized block design, with four replications, where maize was tested in consortium with forages: Massai (*Megathyrsus maximus*); Zuri (*Megathyrsus maximum* cv. Zuri); Marandu (*Urochloa brizantha*); Ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*); and single corn, cultivated in the 2018 croppingseason and soybean cultivation under the single corn plots and intercropped with forages in the 2019 croppingseason. In both croppingseasons, the microbiological attributes of the soil were evaluated: carbon and nitrogen from microbial biomass (N- BMS and C-BMS), basal soil respiration (RBS) and metabolic quotient (qCO₂), in the 2018 harvest the enzymes dehydrogenase and the activity of fluorescein diacetate (FDA) were also evaluated, and in the 2019 cropping season, the productivity of the soybean and the levels of nutrients in the leaves. With the data in place, analysis of variance and mean test were performed according to significance. N-BMS and dehydrogenase in the 2018 cropping season showed higher concentrations in the corn + zuri intercropping, being higher than corn + ruziziensis, not differing from the other intercropping and single corn. Regarding C-BMS, maize intercropping with Urochloas (marandu and ruziziensis) were superior to maize + massai, but not differing from other treatments. The RBS was superior in the cultivation of single corn in relation to the corn intercropping with marandu and masai, however it did not differ from the others. qCO₂ was higher in single corn in relation to all intercropping in the two croppingseasons. For FDA there was no difference between treatments. The zuri showed the highest production of dry matter, and the lowest productivity of soybean in succession was observed in single corn. As for the levels of nutrients in the leaves, the K in soybean grown under single corn showed a higher content, differing from the others. The use of corn intercropped with marandu provided greater soybean productivity compared to single corn, thus showing the benefits of intercropping maize and forage for the soil and for productivity of crops in succession.

Keywords: *Zea mays*, *Glycine max*, Consortium, Integrated systems.

1 Introdução

As práticas agrícolas mais conservacionistas, sustentáveis e economicamente viáveis, vem recebendo maior atenção por parte dos pesquisadores, e adotados pelos agricultores no Brasil, como o sistema de IntegraçãoLavoura-Pecuária (ILP), sobretudo em sistemas de rotação, ou na implantação de cultivos (ARAUJO et al., 2019).

A ILP consiste no cultivo de culturas produtoras de grãos com forrageiras, numa mesma área, em rotação, sucessão ou consorciado, com o intuito de diversificar a produção agropecuária, beneficiando tanto a produção agrícola, como a pecuária, tendo ainda como propósito aumento na produção de matéria seca por área, usando-as como cobertura do solo para o cultivo em sistema de plantio direto (SPD), sendo ainda muitas das vezes adotada para recuperação de pastagens degradadas (CHIODEROLI et al., 2012).

No Cerrado é comum a adoção do sistema de consorciação entre o milho e diferentes forrageiras, dos gêneros *Megathyrus* e *Urochloa*, por fornecerem grande quantidade de massa, servindo assim tanto para a alimentação animal ou proteção ao solo, e ainda a decomposição contribui para o suprimento de nutrientes para as plantas, beneficiando a cultura sucessora (GAZOLA et al., 2017; SILVA et al., 2020).

Em qualquer sistema produtivo é importante se avaliar a qualidade do solo e como as atividades desenvolvidas estão afetando o sistema, sendo que a avaliação dos atributos biológicos e microbiológicos, como o carbono (C-BMS) e nitrogênio (N-BMS) da biomassa microbiana, assim como as enzimas do solo, nomeadamente a desidrogenase e a hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) são importantes indicadores de qualidade de solo e da sustentabilidade, uma vez que refletem as condições de manejo e são sensíveis aos impactos provocados no solo (LONGO et al., 2011; JANUSCKIEWICZ et al., 2019).

A biomassa microbiana do solo (BMS) é a principal responsável pela modificação da matéria orgânica, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia no solo (ALVES et al., 2011). Os fatores ambientais como temperatura e umidade do solo, possuem importante influência no controle da atividade microbiana, sendo a cobertura de solo importante por influenciar positivamente e criar um ambiente com melhores condições para os organismos edáficos (LONGO et al., 2011; SCHINDLBACHER et al., 2015).

Trabalhos com cultivo em ILP, como o de Garcia et al. (2014) vem demonstrando que a produtividade satisfatória do milho e das forrageiras, apesar da competição entre as duas culturas, comprovando os benefícios deste sistema para o solo; assim como Chioderoli et al. (2012) que verificaram que houve melhoria na física do solo, principalmente na estrutura e permeabilidade, além de amenizar os processos erosivos, desta forma contribui para a estabilidade do sistema.

Coser et al. (2016) verificaram aumento do C-BMS e do N-BMS, bem como do quociente microbiano em sistemas consorciados entre milho com forrageiras quando comparado como monocultivo no Cerrado de Brasília.

Assim, no presente estudo a hipótese testada é que as características microbiológicas do solo alteram quando do cultivo do milho consorciado com forrageiras em relação ao milho solteiro, e influenciam a cultura sucessora, seja na nutrição, seja na produção de grãos. Objetivou-se avaliar como diferentes forrageiras em consórcio com o milho afetam a cultura sucessora e a atividade microbiológica do solo.

2 MATERIAL E MÉTODO

2.1 Local do estudo, tratamentos e manejo

O estudo foi realizado na Fazenda Barbosa, situada na cidade de Brejo, Maranhão, Brasil (03°42'44" S; 42°55'44" W e 55 m de altitude). O clima, segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, é do tipo Aw, clima tropical com duas estações do ano, a estação chuvosa (dezembro - junho) e estação seca (julho - novembro).

De acordo com os dados do pluviômetro da Fazenda Barbosa a precipitação pluvial média durante o período do cultivo de janeiro a junho foi de 1.691 mm em 2018, sendo a temperatura de acordo com Silva et al. (2019) a mínima de 18,5°C e máxima de 34°C. Para 2019 a precipitação foi de 1.426 mm de acordo com os dados da Fazenda, temperatura máxima média foi de 32°C e mínima média de 23°C (Figura 1); o solo da área experimental foi classificado como ARGISSOLO AMARELO distrocoeso típico, textura franco-arenosa, com a presença de horizonte coeso, sendo o bioma da região do tipo Cerrado (RESENDE et al., 2014).

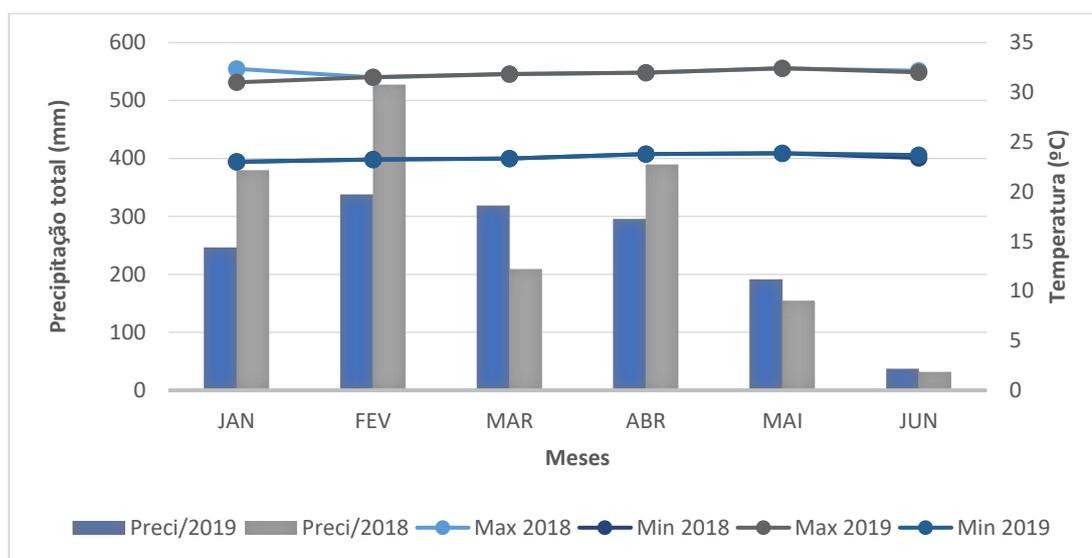


Figura 1 - Precipitação, em mm, de acordo com os dados registados na Fazenda Barbosa e temperatura máxima e mínima no primeiro semestre de 2018 e 2019, segundo INMET (2010), Brejo, MA.

Os atributos químicos e granulométricos do solo, na área experimental, coletados em 2017, antes da realização deste trabalho, cujo característicos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Análise química e granulométrica do solo antes da instalação do ensaio na camada de 0-20 cm e 20-40 cm.

Camada	pH	MO	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V
cm		dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³								%
0-20	5,6	2,9	17	0,31	0,09	8,7	1,3	0,08	7,8	10,31	18,1	57
20-40	5,4	3,2	11	0,28	0,09	8,1	1,1	0,10	8,9	9,48	18,4	52
	m	Nt	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia Grossa	Areia Fina	Areia total	Argila	Silte	Classificação
	%	dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³				%					
0-20	1	0,2	0,2	22,3	6,9	0,6	25,0	36,1	61,0	18,6	20,4	Franco-arenosa
20-40	1	0,2	0,3	34,0	5,2	0,6	26,4	25,0	51,3	20,6	28,1	Franca

A área utilizada para a realização deste experimento foi desmatada no ano de 2004, e no ano posterior prosseguiu-se o cultivo do arroz de terra alta. No período de 2006 a 2010 foi adotado o plantio direto com monocultivo da soja, com manejo da fertilidade do solo baseado na análise química do solo a cada ano.

A partir do ano de 2011, foi adotado o plantio da *Urochloa brizantha* cv. Marandu em sobressemeadura a cultura da soja (*Glycine max* L.), sendo que após a

colheita da soja e do adequado desenvolvimento da forrageira, os animais entravam na pastagem. Em torno de 30 dias antes do plantio da soja para a próxima safra, ocorria a dessecação da forrageira para uso da palhada sob plantio direto. Em 2017, iniciou-se na área o projeto desenvolvido pela Embrapa Meio-Norte intitulado “Tecnologias para sistemas de produção integrados na região Meio-Norte do Brasil”, o qual proporcionou o cultivo do sorgo na área em estudo utilizando a adubação conforme a análise química do solo e necessidade nutricional da cultura. Após a colheita do sorgo os resíduos culturais foram utilizados como palhada para o plantio das culturas, deste estudo, na safra 2018.

Os tratamentos consistiram no consórcio entre o milho e gramíneas/forrageiras, testando-se: milho (*Zea mays* L.) com Massai (*Megathyrsus maximus* cv. Massai); milho com Zuri (*Megathyrsus maximum* cv. Zuri); milho com Marandu (*Urochloa brizantha* cv. Marandu); milho com Ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*); e milho solteiro; com quatro repetições disposto no delineamento em blocos casualizados, com a área das parcelas experimentais de 110,5 m² (8,5 x 13 m).

A semeadura do milho consorciado foi realizada no dia 16/02/2018, utilizando uma semeadora adubadora para plantio direto, de 13 linhas com espaço em 0,5 m entre linhas e 0,2 m entre plantas do híbrido simples (Syngenta Status Viptera 3 H2), totalizando assim cerca de 100.000 plantas ha⁻¹, sendo que a profundidade de deposição das sementes de 4 cm e a colheita realizada aos 134 DAS em 19/06/2018.

As forrageiras foram semeadas a lanço nas áreas das parcelas manualmente no mesmo dia, com taxa de semeadura de 5 kg ha⁻¹. Para a safra 2019 foram cultivadas nas mesmas parcelas do milho solteiro e milho consorciado com as forrageiras, a cultura da soja (cultivar AN 83022 SC).

Para a instalação do experimento do milho e forrageiras em consórcio, foi realizada a dessecação da cobertura para SPD em duas etapas, sendo a primeira, no dia 06 de janeiro de 2018, com a aplicação de 4.200 g ha⁻¹ de glifosato, 0,2 L ha⁻¹ de óleo mineral e 0,05 L ha⁻¹ de adjuvante sintético e a segunda aplicação 7 dias depois com 2800 g ha⁻¹ de glifosato, 806 g ha⁻¹ de 2-4-D® (2,4-dichlorophenoxy), 0,2 L ha⁻¹ de óleo mineral e 0,05 L ha⁻¹ de adjuvante sintético, aplicado com a utilização de pulverizador tratorizado de barras com 28 m de comprimento, tendo-se utilizado bicos cônicos espaçados em 0,50 m e pressão de 60 Psi. O controle das plantas daninhas foi realizada 31 dias após a emergência (DAE) do milho, com a aplicação de 3,0 L ha⁻¹

¹ Atrazina®, e de Nicossulfuron®, 0,25 L ha⁻¹. No que se refere ao controle de pragas e doenças foram realizadas duas aplicações, sendo a primeira em 20 de fevereiro, aos 14 DAS do milho, aplicando 30 g ha⁻¹ de Benzoato de Emamectina®, 60 g ha⁻¹ de Trifloxistrobina® e 120 g ha⁻¹ de Tebuconazol® e a segunda aos 23 DAE do milho, com 750 g ha⁻¹ de Carbendazim® e 240 g ha⁻¹ de Espinosade®.

A adubação na semeadura do milho foi realizada com 280 kg ha⁻¹ de NPK 13-33-8. A primeira adubação de cobertura foi realizada quando as plantas apresentavam quatro folhas bem desenvolvidas, aplicando-se 280 kg ha⁻¹ de formulado 10-00-30. A segunda adubação de cobertura foi realizada quando as plantas apresentavam oito folhas completamente desenvolvidas, aplicou-se 100 kg ha⁻¹ de ureia (45% N). Ainda foi realizada a adubação foliar com micronutrientes, em duas aplicações juntamente com fungicida e inseticida, composto por 30 g ha⁻¹ de Mo, 20 g ha⁻¹ de Co, 100g ha⁻¹ de Zn e 200g ha⁻¹ de Mn.

Para o cultivo da soja em 2019 foi realizada a dessecação das forrageiras com 2 L/ha de Glifosathe® e 1L/ha de 2.4 D amina®. A semeadura foi realizada no dia 25/01/2019 e aplicado 280 kg/ha do NPK 09-46-00 e 280 kg/ha do formulado de 09-00-36 aos 30 após a semeadura.

A adubação foliar na soja foi realizada em duas aplicações sendo a primeira no dia 27/02/2019 com Obigred® (Cu), 0,014 L/ha, Budacre® (Mn) 0,2 L/ha, Max Zinc® 0,05 L/ha, PotamolPlus® (Mo) 1 L/ha, mais o aderente TA 35® 0,05 L/ha, sendo a segunda aplicação em 21/03, utilizando os mesmos adubos e as mesmas doses.

Quanto ao controle de plantas daninhas foi realizada no dia 13/02 e 28/02/2019 empregando o Poquer® 0,45 L/ha com Iharol® 0,1 L/ha e 0,05 L/ha de TA 35®. E para o controle de doenças e pragas empregou-seo fungicida Score flex® 0,15 L/ha, Unizeb Gold® 1,5 kg/ha, e inseticida Nomolt® 0,2 L/ha, juntamente com TA 35® 0,05 L/ha no dia 13/03/2019.

2.2 Atributos microbiológicos do solo

Em cada parcela, após as colheitas na safra 2018 e de 2019 foram coletadas amostras de solo para analisar as variáveis microbiológicas do solo na camada de 0-10 cm. A amostragem do solo, em cada área estudada, foi realizada com a coleta de três amostras simples para formar uma composta, sendo duas na linha e uma na

entrelinha da cultura, para assim obter uma melhor representatividade na área, com o total de 4 repetição por cada tratamento.

Nas safras, 2018 e 2019 foram determinados:

- Os valores de carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, conforme metodologia de irradiação-extração proposto por Ferreira et al. (1999);
- Respiração basal do solo (RBS) foi determinada por meio da quantificação de CO₂ liberado após 48 h de incubação em condições aeróbias, por um período de 7 dias, conforme proposto por Alef (1995);
- A determinação do quociente metabólico (qCO₂) foi realizada pela relação entre a respiração basal do solo, expressa em mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, e o C da biomassa microbiana, expresso em mg C g⁻¹h⁻¹ (SILVA et al., 2007).

As atividade senzimáticas do solo foram determinadas apenas na safra 2018:

- Desidrogenase e atividade da diacetato de fluoresceína (FDA) foram determinadas através do método proposto por Frighetto e Valarini (2000), onde estes foram analisadas após adição de cloreto de trifeniltetrazólio (TTC) por espectrofotometria.

2.3 Análise foliar

O estado nutricional da soja foi mensurado pela coleta de amostras de trifólios recém maduros no estágio R2 (pleno florescimento), sendo coletado o 3º trifólio sem pecíolo. As folhas foram lavadas em água destilada e secas em estufa de circulação forçada de ar (60 °C), posteriormente foram moídas (moinho tipo Willey) conforme Myazawa et al. (2009). As amostras foram submetidas a digestão nítrico perclórica para determinação do teor total de N em destilador semi-micro Kjeldahl, P e S por espectrofotômetro de UV visível e os teores de K, Ca, Mg, Cu, Zn, Fe e Mn, por espectrofotômetro de absorção atômica (ICE 3500 ThermoScientific), e boro por extração em mufla a 600 °C, por 3 horas.

2.4 Produtividade

Na safra 2018 foi mensurada a produtividade de grãos de milho, onde se coletou todas as espigas, na área útil das parcelas, não colhendo a primeira linha, no qual constituem as bordaduras. Em seguida foram debulhadas manualmente e uma

amostra foi retirada para a determinação da umidade, e posteriormente foi corrigida para 13% e transformados em kg ha⁻¹.

Quantificou-se a produção de massa das forrageiras de cada parcela, onde foram coletadas amostras com auxílio de uma moldura de 25 x 25 cm, lançadas de forma aleatória. As amostras foram secas em estufas de circulação forçada de ar (60 °C), até atingirem o peso constante, e posteriormente pesadas e assim determinada a produtividade das forrageiras.

Na safra 2019 mensurou-se a produtividade da soja, sendo colhida as plantas em 2 metros lineares, posteriormente estas foram acondicionadas e sacos de papel e colocada em estufa, até atingirem o peso constante. Em seguida foram debulhadas manualmente e pesadas. Após a massa dos grãos serem corrigidas para 13% de umidade e a produtividade foram transformados em kg ha⁻¹.

2.5 Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), deste modo de posse dos dados foi realizada a análise de variância e em função da significância procedida a comparação de médias pelo teste de Tukey (5% de probabilidade), empregando-se o software SISVAR (FERREIRA, 2014).

3 RESULTADOS

3.1 Microbiologia do solo

O nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N-BMS), na safra 2018 apresentou maior concentração no consórcio do milho com zuri, o qual foi superior ao milho com ruzienseis, contudo não diferiu dos demais consórcios e milho solteiro (Tabela 2). Resultado análogo também foi verificado para desidrogenase. Com relação ao carbono da biomassa microbiana (C-BMS) os consórcios de milho com as *Urochloas* (marandu e ruzienseis) apresentaram maiores concentrações em relação ao consórcio milho com massai, porém não diferindo dos demais tratamentos. A respiração basal do solo foi superior no cultivo do milho solteiro em detrimento dos consórcios de milho com marandu e massai, entretanto não diferindo dos demais tratamentos. O quociente metabólico foi superior no milho solteiro em relação a todos os consórcios. Para FDA não houve diferença entre os tratamentos.

Tabela 2 - Atributos biológicos do solo em função do consórcio de milho com forrageiras e em rotação com soja na safra 2018 e 2019, Brejo, MA.

Tratamentos	N-BMS	C-BMS	RBS	qCO ₂	FDA	DESI
	g kg ⁻¹		μ g CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	mg CO ₂ g ⁻¹ dia ⁻¹	--- μ g ⁻¹ ---	
Safra 2018						
M+Massai	1,43 ab	173,6 b	7,2 c	0,041 b	5,67 a	1,984 ab
M+Zuri	1,61 a	261,6 ab	11,2 ab	0,042 b	8,79 a	3,377 a
M+Ruzizensis	0,89 b	274,9 a	8,5 bc	0,033 b	9,5 a	1,417 b
M+Marandu	1,55 ab	266,5 a	7,2 c	0,027 b	9,26 a	3,173 ab
Milho Solteiro	1,27 ab	187,8 ab	12,6a	0,066 a	7,66 a	1,737 ab
Teste F	*	**	**	**	ns	*
CV (%)	22,2	17,7	12,8	17,9	23,7	36,9
Safra 2019						
M+Massai/s	1,80 a	127,9 ab	29,3 b	0,229 b	-	-
M+Zuri/s	0,98 bc	144,1 ab	32,8 ab	0,303 ab	-	-
M+Ruzizensis/s	1,29 ab	189,1 a	41,2 a	0,218 b	-	-
M+Marandu/s	1,68 a	198,2 a	32,1 ab	0,170 b	-	-
M+Sol/s	0,67 c	70,6 b	35,6 ab	0,547 a	-	-
Teste F	**	**	*	*	-	-
CV (%)	19,3	24,8	12,5	45,9	-	-

* significativo a 5%; ** significativo a 1%; ns: não significativo a 5% de probabilidade. ¹Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M+Massai: Consórcio Milho e Massai; M+Zuri: Consórcio Milho e Zuri; M+Ruzizensis: Consórcio Milho e ruzizensis; M+Marandu: Consórcio Milho e Marandu; Milho Solteiro; M+Massai/s: Soja em rotação ao consórcio Milho e Massai; M+Zuri/s: Soja em rotação ao consórcio Milho e Zuri; M+Ruzizensis/s: Soja em rotação ao consórcio Milho e ruzizensis; M+Marandu/s: Soja em rotação ao consórcio Milho e Marandu; M+Sol/s: Soja em rotação ao Milho Solteiro.

Na safra 2019, após o cultivo da soja, verificou-se maior valor de N-BMS para a soja cultivada em sucessão ao milho consorciado com marandu e massai, os quais foram superiores ao milho consorciado com zuri e ao milho solteiro, porém não diferindo do milho com ruzizensis (Tabela 2). O C-BMS apresentou resultado similar ao da safra anterior, com maiores valores para o consórcio de milho com ruzizensis e marandu, os quais foram superiores ao milho solteiro, contudo não diferindo dos consórcios de milho com *Megathyrus*. A maior respiração do solo na safra de 2019 foi observada no consórcio de milho com ruzizensis, sendo superior ao milho com massai, e não diferindo dos demais tratamentos. O quociente microbiano apresentou resultado similar a safra passada, com maiores valores verificados no milho solteiro em relação aos demais tratamentos, exceto ao milho consorciado com zuri.

3.2 – Análise foliar

No que se refere à diagnose foliar da soja em rotação com os diferentes consórcios e o milho solteiro, observa-se diferença estatística significativa apenas para o potássio (K) quanto aos teores dos macronutrientes, no qual a soja cultivada em rotação ao milho consorciado com marandu apresentou menor teor em relação a soja cultivada em rotação ao milho solteiro, entretanto não diferindo dos demais consórcios (Tabela 3).

Tabela 3 - Teores de macro e micronutrientes em folhas de soja em função do consórcio de milho com forrageiras em rotação, Brejo, MA.

Consortio/ Rotação	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
M+Massai/s	51,9	3,9	18,0 ab	9,3	4,9	3,2	42	10 c	92	69	96
M+Zuri/s	50,6	4,0	18,4 ab	9,3	4,8	2,9	41	11 bc	97	82	93
M+Ruzizensis/s	50,2	4,0	18,5ab	9,5	4,8	3,2	44	11 ab	99	86	107
M+Marandu/s	51,7	3,9	17,3 b	9,7	4,8	2,9	41	10 c	97	79	105
M+Sol/s	50,2	4,1	19,5 a	9,2	4,9	2,9	42	13 a	98	74	93
Teste F	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns
CV(%)	2,6	4,4	4,1	6,2	8,9	21,1	4,9	5,4	7,7	17,5	13,3

* significativo a 5%;** significativo a 1%;ns: não significativo a 5% de probabilidade. ¹Médias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. M+Massai/s: Soja em rotação ao consórcio Milho e Massai; M+Zuri/s: Soja em rotação ao consórcio Milho e Zuri; M+Ruzizensis/s: Soja em rotação ao consórcio Milho e ruzizensis; M+Marandu/s: Soja em rotação ao consórcio Milho e Marandu; M+Sol/s: Soja em rotação ao Milho Solteiro.

Para micronutrientes houve diferença somente para cobre (Cu), com maiores teores na soja em sucessão ao milho solteiro em relação ao consórcio de milho com marandu, massai e zuri, porém não diferindo do consórcio de milho com ruziensiis.

3.3 Produtividade

Com relação a produtividade das forrageiras o zuri (5.943 kg ha⁻¹) foi superior a ruziensiis (4.810 kg ha⁻¹), contudo não diferiu do marandu (5.735 kg ha⁻¹) e do massai (5.460 kg ha⁻¹) (Figura 2). Para o rendimento de grãos de milho não houve diferença entre os consórcios e o milho solteiro, sendo que os valores foram de 7.685 a 8.520 kg ha⁻¹ (Figura 2).

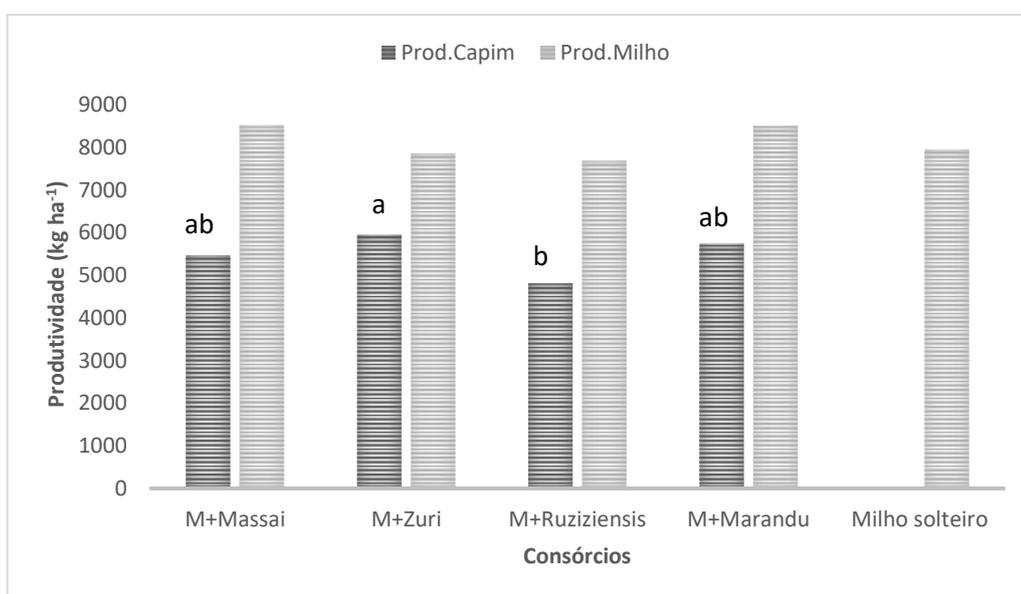


Figura 2 - Produtividade de massa seca de forrageiras e do milho em consórcios (safra 2018), Brejo, MA.

A produtividade de soja na safra 2019 foi maior naquela cultivada em sucessão ao milho consorciado com marandu (3.945 kg ha⁻¹) em relação ao milho solteiro (2.850 kg ha⁻¹), porém não diferindo da soja cultivada aos consórcios de milho com zuri (3.819 kg ha⁻¹), massai (3.798 kg ha⁻¹) e ruziensiis (3.622 kg ha⁻¹) (Figura 3).

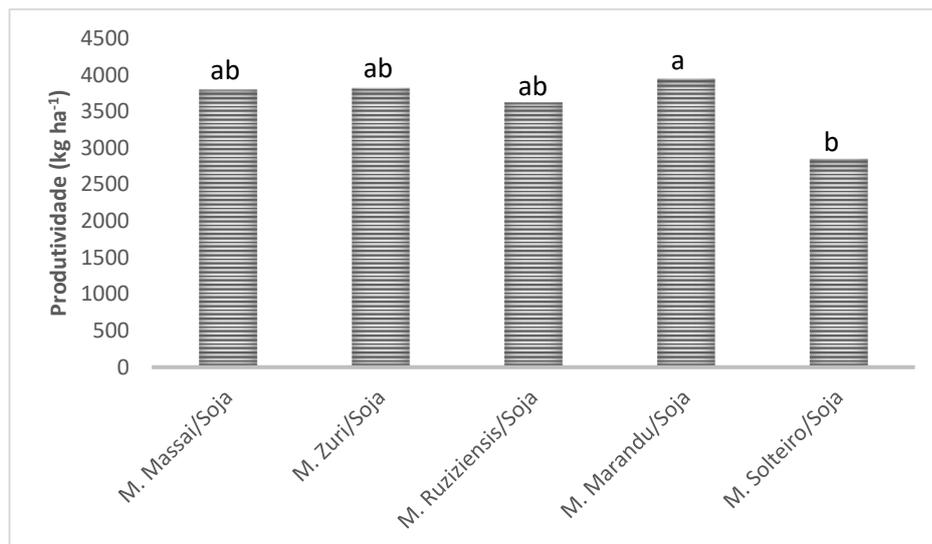


Figura 3 - Produtividade de grãos de soja em rotação a consórcios de milho com forrageiras e milho solteiro (safra 2019), Brejo, MA.

4 DISCUSSÃO

O N-BMS mostra o potencial de reserva do N no solo, assim quando se tem maiores valores, há indicação de que menores quantidades de N são perdidas (MATOSO et al., 2012). Do mesmo modo, de acordo com Bonneti et al. (2018) quando há maiores de valores C-BMS denota que os nutrientes ficam temporariamente imobilizados, fazendo com que haja menor perda dos nutrientes no sistema solo-planta, levando assim a elevação do teor no solo.

Por outro lado, as enzimas se originam dos organismos vivos do solo (fauna, raízes de plantas e microrganismos) e expelidas pelas células vivas ou liberadas no solo a partir de células mortas (CHAER et al., 2014). Contudo a desidrogenase é uma enzima que é encontrada somente nas células vivas, promove a oxidação do substrato, participando da cadeia respiratória dos microrganismos, sendo intimamente influenciada pela matéria orgânica (JANUSCKIEWICZ et al., 2019).

Deste modo, os resultados observados no presente estudo, em relação a N-BMS e do C-BMS, bem como o da enzima desidrogenase, pode ter ocorrido devido a qualidade e a quantidade do material vegetal sobre o solo (forrageiras), as quais servem como alimento e criam condições ambientais como umidade e temperatura favoráveis, assim beneficiando estes componentes microbiológicos do solo (BELO et al., 2012).

Nota-se ainda, que em todos os tratamentos, houve uma diminuição dos teores de C-BMS, da safra 2018 para a de 2019, justificado pela ausência das forrageiras, as quais oferecem melhores condições para a microbiota do solo (temperatura, umidade e alimentos) e ainda pelo fato da coleta no ano 2018 ter ocorrido com a cultura na fase final de produção, desta forma diminuindo a competição entre as plantas e os microrganismos pelos nutrientes no solo.

Na safra 2019 foi cultivada a soja, a qual apresenta uma baixa deposição de resíduos ao solo, além da baixa relação C/N, como relatam Doneda et al. (2012), o que afeta o material vegetal no solo e conseqüentemente os componentes biológicos e microbiológicos do solo. Contudo é notório a importância dos efeitos das forrageiras na safra seguinte, sendo que o efeito residual melhora o nitrogênio e o carbono da biomassa microbiana, bem como a eficiência do uso do carbono, uma vez que os tratamentos onde se tinha a presença das forrageiras, os valores dos mesmos foram melhores, do que no tratamento do milho solteiro.

De acordo com Silva et al. (2016), a respiração basal, mensura o quanto de carbono em forma de CO₂ é liberado pelos microrganismos do solo, então, poderíamos concluir que o milho solteiro e o milho+zuri, na safra 2018, bem como o milho+ruzizensis, na safra 2019, representam sistemas mais instáveis, por liberarem maiores quantidades de CO₂, ou que a liberação deste C, é resultado de uma alta produtividade microbiológica do solo. Ainda, a menor taxa respiratória observada nos outros sistemas, ocorreu pelo fato da biomassa microbiana ser mais eficiente na incorporação do carbono ou por condições ambientais mais favoráveis.

Entretanto, só os valores da RBS não nos fornecem informações que nos permite chegar a maior liberação de CO₂ representa maior instabilidade e que quando menor há uma maior estabilidade (FERREIRA et al., 2007; ARAUJO et al., 2019).

Desta forma, conforme Silva et al. (2007) o quociente metabólico (qCO₂), que expressa a razão da RBS pelo C-BMS, sendo que o qCO₂ estima o uso do material vegetal pelos organismos, e que o menor valor indica que o ambiente se encontra em maior estabilidade, enquanto que valores maiores indicam um certo distúrbio nos agroecossistemas, deste modo maiores valores de qCO₂ não são desejáveis (GUIMARÃES et al., 2017; LILIA et al., 2018).

Valores menores do qCO₂, como o observado em todos os sistemas consorciados, denotam que a biomassa microbiana é mais eficiente no uso dos

substratos, fazendo com que haja uma menor perda de CO₂ através da respiração e assim quantidade maior de C são incorporadas aos tecidos microbianos (SILVA et al., 2007). Do mesmo modo, no cultivo solteiro os valores mais altos de qCO₂ sinalizam maior consumo de substrato, devido a alguma situação estressante no ambiente, comparada aos consorciados (GUIMARÃES et al., 2017).

Desta forma, observa-se que o solo sob o cultivo de milho solteiro quando comparado aos sistemas consorciado na safra 2018 e na safra 2019 se encontra numa condição menos favorável, por apresentar o maior valor de qCO₂ se comparada aos demais sistemas consorciados, provavelmente pelo fato dos organismos neste sistema estarem numa condição menos favorável, como menor disponibilidade de alimento, maior exposição aos efeitos ambientais, tornando-os menos eficientes no uso do substrato e do carbono (GUIMARÃES et al., 2017).

Verifica-se ainda que no milho solteiro na safra 2019 apresentou os menores valores do N-BMS e C-BMS, evidenciando assim que este cultivo se encontra numa situação menos favorável em relação aos cultivos consorciados, pelo fato da presença das forrageiras propiciar um aumento destas variáveis.

Portanto, a alta taxa da RBS no M+Zuri na safra 2018 e da soja sob milho+ruziziensis ocorrido no ano de 2019, pode ser devido ao aumento da biomassa no solo e não por causa de uma situação estressante no sistema, pois mesmo não diferindo do milho solteiro quanto a RBS, apresentaram menores valores em relação ao qCO₂.

Deste modo a maior quantidade de palhada observada no M+Zuri pode ter favorecido os microrganismos por criar condições favoráveis, levando a sua manutenção ou aumento, além de proteger a enzima da desidrogenase e FDA da decomposição, o que conseqüentemente teria provocado o aumento na concentração da desidrogenase no solo uma vez que, os microrganismos tem influência na atividade desta enzima, sendo que a desidrogenase é produzida somente em células vivas, tornando-a assim um bom indicador da atividade biológica do solo (CHAER et al., 2014; JANUSCKIEWICZ et al., 2019).

Garcia et al. (2014) estudando diferentes tipos de forrageiras dos gêneros *Megathyrsus* (*Megathyrsus maximum* cv. Tanzânia e *Megathyrsus maximum* cv. Mombaça) e *Urochloa* (*Urochloa brizanthacv.* Marandu e *Urochloa ruziziensis*) em consórcio com milho (DKB 390 YG), semeando as forrageiras antes e na mesma

época da aplicação de nitrogênio para a cultura do milho, no município de Selvíria, Mato Grosso do Sul, verificaram que as *Urochloas*, marandu e ruzizensis não apresentaram diferença quanto a produtividade de massa seca em nenhum dos tratamentos e não observaram diferença significativa quanto a produção de grãos do milho, corroborando assim com os resultados do presente estudo.

De acordo com Krutzmann et al. (2013) este resultado se justificativa pelo fato das características fisiológicas semelhantes destas forrageiras, deste modo, por estes estarem nas mesmas condições climáticas, submetidas aos mesmos tratos culturais e outras técnicas de manejo, propiciou a mesma produção de massa seca.

Chioderoli et al. (2012) estudando o efeito do consórcio entre milho e três espécies de brachiarias (decumbens, marandu e ruzizensis), no estado Mato Grosso do Sul, em três modalidades de semeadura das forrageiras (na linha do milho; na entrelinha do milho; e juntamente com a adubação de cobertura, nas entrelinhas do milho no estágio V4), verificaram que em nenhuma das modalidade de consórcio, as brachiarias marandu e ruzizensis apresentaram diferença significativa na produtividade da soja cultivada em sucessão.

A influência das forrageiras na melhoria da produtividade da soja em sucessão ocorre uma vez que as raízes ou palha melhoraram a qualidade física do solo, por provocar um aumento na infiltração e retenção de água, melhora a aeração, e reduz a resistência à penetração radicular da soja (CRUSCIOL et al., 2015). Aliado a isso, ainda se tem o fato da palha reduzir evaporação da água do solo, e das incidências das plantas daninhas, e a liberação de nutrientes para a soja (DALMAGO et al., 2010; CALONEGO et al., 2012). Assim se tem melhores condições para o desenvolvimento da soja e conseqüentemente uma maior produtividade.

Os resultados obtidos, evidenciam o potencial para a utilização destas forrageiras em consórcio com o milho na região de Cerrado do leste maranhense, pois produzem boa quantidade de palhada, assim usando-as na cobertura do solo, protegendo-o de processos erosivos e influenciando na reciclagem de nutrientes e sua liberação gradativa, o que proporciona um efeito positivo na cultura em rotação, neste caso a soja, além destes possuírem uma biomassa de raízes finas, influenciando assim sobre os atributos físicos e microbiológicos do solo (ALVES et al., 2011; GARCIA et al., 2014; MAZZETTO et al., 2016).

Por outro lado, quanto ao cultivo da soja verifica-se que cultivado sobre a palhada do consórcio M+Marandu, obteve a maior produtividade da oleaginosa, e também obteve-se um menor teor de K e Cu nas folhas. Isso ocorre, provavelmente pelo fato destes nutrientes terem sido exportados para os grãos, uma vez que as plantas estão em condições favoráveis (nomeadamente umidade do solo), permitindo a plena atividade metabólica, resultando numa maior produtividade da soja e uma diminuição do teor dos nutrientes nas folhas, por outro lado, a situação inversa ocorreu no cultivo sobre a palhada do milho solteiro.

Do mesmo modo, o consórcio milho+marandu proporcionou os maiores valores de N-BMS e C-BMS, menores valores de RBS e de qCO_2 , nas duas safras, bem como alto teor da desidrogenase em 2018, além de uma boa produtividade de massa seca não diferindo dos demais tratamentos (Figura 1), sendo que este maior efeito residual pode ser advindo da qualidade do material vegetal depositado no solo, mostrando assim ser uma forrageira, com potencial para o uso no Cerrado maranhense.

Ainda, segundo Gazola et al. (2017), apesar das *Urochloas* serem afetadas no sistema de consórcio, apresentam uma rapidez na sua recuperação após a colheita do milho, rápida cobertura do solo, excelente composição bromatológica, boa reciclagem de nutrientes e fácil de ser dessecada, pelas suas características fisiológicas o que os tornam uma alternativa viável ao uso no Cerrado maranhense.

5 CONCLUSÕES

- O milho consorciado com Zuri influencia positivamente os valores de N-BMS e C-BMS, e o teor da desidrogenase em 2018, além da produção de massa seca;
- A produtividade do milho não é afetada quando consorciadas com as forrageiras, assim como a enzima FDA no solo;
- O milho solteiro apresentou maiores valores de respiração basal do solo e maiores teores de K e Cu nas folhas, resultando numa menor produção da soja em sucessão;
- O consórcio entre milho e forrageiras tropicais, constitui numa importante alternativa para o aumento na produtividade dos sistemas de produção integrados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (Eds.) **Methods in soil microbiology and bicochemistry**. New York: Academic, p.464-470, 1995.
- ALVES, T. D. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.33, n.2, p341-347, 2011.
- ARAUJO, T.D.S.; GALLO, A.D.S.; ARAUJO, F.D.S.; SANTOS, L.C.D.; GUIMARÃES, N.D.F. SILVA, R.F.D. Biomassa e atividade microbiana em solo cultivado com milho consorciado com leguminosas de cobertura. **Revista de Ciências Agrárias**, v.42 n.2, p.51-60, 2019
- BONETTI, J.D.A.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D.D.; CARNEIRO, M.A.C.; CAETANO, J.O. Propriedades físicas e biológicas do solo em um sistema agropecuário integrado no cerrado brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.53 n.11, p.1239-1247, 2019.
- CALONEGO, J.C.; GIL, F.C.; ROCCO, V.F.; SANTOS, E.A. dos. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. **Bioscience Journal**, v.28, p.770-781, 2012.
- CHAER, G.M.; GAIAD, S.; DOS SANTOS, A.B.; GROCHOSKI, R. Caracterização microbiológica do solo. In: PRADO, R. B.; FIDALGO, E. C. C.; BONNET, A. (Ed.). **Monitoramento da revegetação do COMPERJ**: etapa inicial. Brasília, DF: Embrapa, p.159-173, 2014. Embrapa Florestas-Capítulo em livro científico.
- CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.37-43, 2012.
- COSER, T.R.; RAMOS, M.L.G.; FIGUEIREDO, C.C.D.; CARVALHO, A.M.D.; CAVALCANTE, E.; MOREIRA, M.K.D.R.; OLIVEIRA, S.A.D. Propriedades microbiológicas do solo e nitrogênio disponível para o milho em monocultura e consorciados com forragem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, v.9, v.1660-1667, 2016.
- CRUSCIOL, C.A.C.; NASCENTE, A.S.; BORGHI, E.; SORATTO, R.P.; MARTINS, P.O. Improving soil fertility and crop yield in a tropical region with palisade grass cover crops. **Agronomy Journal**, v.107, p.2271-2280, 2015.
- DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; KRÜGER, C.A.M.B.; BERGONCI, J.I.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.780-790, 2010.
- GAZOLA, R. N.; DE MELO, L.M.M.; DINALLI, R.P.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; DE SOUZA CELESTRINO, T. CULTURA DA SOJA EM SUCESSÃO AO CULTIVO DE MILHO EM CONSÓRCIO COM BRAQUIÁRIAS. **Cultura Agrônômica: Revista de Ciências Agrônômicas**, v.26, n.3, p. 225-236, 2017.

BELO, E.S; TERRA, F.D.; ROTTA, L.R.; VILELA, L. A.; PAULINO, H.B.; de SOUSA, E.D.; CARNEIRO, M. A.C. Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de Cerrado. **Global Scienceand Technology**, v.5, n.3, 2012.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; MIOLA, E.C.C.; GIACOMINI, D.A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.6, p.1714-1723, 2012.

DUARTE, I.B.; GALLO, A.S.; GOMES, M.S.; GUIMARÃES, N.F.; ROCHA, D.P.; SILVA, R.F. Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. **Acta Iguazu**, vol. 3, n. 2, p. 150-165, 2014.

FRIGHETTO R.T.S.; VALARINI P.J. Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico. **Embrapa Meio Ambiente-Documentos (INFOTECA-E)**, 2000, p.198.

Ferreira DF. Sisvar: a Guide for its Boot strap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**. v.38: p.109-112, 2014.

GUIMARÃES, N.F.; GALLO, A.S.; FONTANETTI, A.; MENEGHIN, S.P.; SOUZA, M.D.B.; MORINIGO, K.P.G.; SILVA, R.F. Biomassa e atividade microbiana do solo em diferentes sistemas de cultivo do cafeeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, vol. 40, n. 1, p. 34-44, 2017.

GARCIA, C.M.D.P.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; LOPES, K.S.M.; BUZZETTI, S. Decomposição da palhada de forrageiras em função da adubação nitrogenada após o consórcio com milho e produtividade da soja em sucessão. **Bragantia**, v.73 n.2, p.143-152, 2014.

JANUSCKIEWICZ, E. R.; RAPOSO, E.; MARTINS, B. M. P. R.; MAGALHÃES, M. A.; PANOSSO, A. R.; MELO, G. M. P.; RUGGIERI, A. C. Atividade enzimática do solo de pastos de *Brachiaria* manejados sob ofertas de forragem. **Boletim de Indústria Animal**, v.76, p. 1-12, 2019.

KRUTZMANN, A.; CECATO, U.; SILVA, P. A.; TORMENA, C. A.; IWAMOTO, B. S.; MARTINS, E. N. Palhadas de gramíneas tropicais e rendimento da soja no sistema de integração lavoura-pecuária. **Bioscience Journal**, v.29, n.4, 2013.

LILIA SERRI, D. A. N. N. A. E.; BOCCOLINI, M.; OBERTO, R.; CHAVARRÍA, D.; BUSTOS, N.; VETTORELLO, C.; CHIÓFALO, S. EFECTO DE LA AGRICULTURIZACIÓN SOBRE LA CALIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO. **Ciencia del Suelo**, V.36 n.2, 2018

LIMA, S.F.; TIMOSSI, P.C.; ALMEIDA, D.P.; SILVA, U.R. da. Palhada de braquiária *ruziensis* na supressão de plantas daninhas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, v.7, p.541-551, 2014.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í.; MELO, W. J. D. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. **Bragantia**, v.70 n.1, p.132-138, 2011.

MATOSO, S.C.; SILVA, A.N.; FIORELLI-PEREIRA E.C.; COLLETA Q.P.; MAIA E. Frações de carbono e nitrogênio de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob diferentes usos na Amazônia brasileira. **Acta Amazonica**, v.42, n.2, p.231-240, 2012

MAZZETTO, A.M.; CERRI, C.E.P.; FEIGL, B.J. CERRI, C.C. Atividade da biomassa microbiana do solo alterada pelo uso da terra no sudoeste da Amazônia. **Bragantia**, v.75 n.1, p.79-86, 2016.

RESENDE, J. M. D. A.; MARQUES JÚNIOR, J.; MARTINS FILHO, M. V.; DANTAS, J.S.; SIQUEIRA, D. S.; TEIXEIRA, D. D. B. Spatial variability of the properties of cohesive soils from eastern Maranhão, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.4, p.1077-1090, 2014.

SCHINDLBACHER, A.; SCHNECKER, J.; TAKRITI, M.; BORKEN, W.; WANEK, W.V. MICROBIAL physiology and soil CO₂ efflux after 9 years of soil warming in a temperate forest - no indications for thermal adaptations. **Global Change Biology**, v.21, p.4265–4277, 2015.

SILVA, E.E.; AZEVEDO, P.H.S DE; DE-POLLI. 2007. Determinação do Carbono da Biomassa Microbiana do solo (BMS-C). **Seropédica: Embrapa Agrobiologia**. 6 pp. (Comunicado técnico, 98).

SILVA, G. S. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. D.; CARDOSO, M. J.; ARAÚJO NETO, R. B. D. Soil water Dynamics and yield in maize and *Brachiaria ruziziensis* intercropping. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.50, 2020.

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