

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

HELOISA KUSS LOURENÇO

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB ADUBAÇÃO COM DEJETOS
DE ANIMAIS E FERTILIZANTE MINERAL**

DOIS VIZINHOS

2023

HELOISA KUSS LOURENÇO

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO SOB ADUBAÇÃO COM DEJETOS
DE ANIMAIS E FERTILIZANTE MINERAL**

**MICROBIOLOGICAL ATTRIBUTES OF THE SOIL UNDER FERTILIZATION
WITH ANIMAL MANURE AND MINERAL FERTILIZER**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Agronomia da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Carlos Alberto Casali.

DOIS VIZINHOS

2023



Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

HELOISA KUSS LOURENÇO

**ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO
SOB ADUBAÇÃO COM DEJETOS DE ANIMAIS E FERTILIZANTE MINERAL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Agronomia da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 30 de junho de 2023

Carlos Alberto Casali
Doutor em Ciência do Solo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

André Pellegrini
Doutor em Ciência do Solo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Laércio Ricardo Sartor
Doutor em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

DOIS VIZINHOS

2023

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família que me apoiou, me proporcionado o privilégio de estudar e com isso exercer a profissão que escolhi.

Agradeço também à todos os servidores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, especialmente aos professores que tanto contribuíram para que eu atingísse o nível de conhecimento necessário na realização desse trabalho, em destaque ao meu orientador professor Dr. Carlos Alberto Casali, que cumpre o seu papel de forma exemplar, formando profissionais capacitados e com valores morais e éticos.

Agradeço aos demais membros da banca, André Pellegrine e Laércio Ricardo Sartor por aceitarem de prontidão o convite.

Agradeço a oportunidade que tive com esse trabalho em adquirir vivência de laboratório e a campo, aprendendo na prática a importância do conhecimento e do planejamento para as ações desempenhadas juntamente com os colegas do grupo de pesquisa de fertilidade do solo.

Agradeço as entidades parceiras do projeto de pesquisa: Rede AgroParaná, Embrapa Suínos e Aves, cooperativa Frimesa, Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná (IDR-Paraná), Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) da Universidade do Estado de Santa Catarina (Udesc-Lages), Sistema FAEP/SENAR-PR, Fundação Araucária e a Superintendência Geral de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (SETI), do governo do Paraná.

RESUMO

Os atributos microbiológicos são sensíveis a alterações dos solos, podendo ser utilizados como bioindicadores da qualidade do solo, desta forma auxiliando nas decisões corretas de manejo, do uso sustentável dos recursos naturais. Além disso, outra forma de preservar o meio ambiente é o aproveitamento de resíduos agropecuários, como a utilização de dejetos de animais como fertilizante, que tem como benefício a reutilização de nutrientes, redução de custos e de mercados externos. O objetivo do trabalho é avaliar os efeitos dos atributos microbiológicos do solo sob a adubação de fertilizante mineral e orgânico na cultura da soja. O estudo foi implantado em junho de 2019 na área experimental da UTFPR-DV em Dois Vizinhos, Sudoeste do Paraná, sobre um Nitossolo Vermelho há 20 anos sob sistema de plantio direto (SPD). O experimento foi submetido a 6 tratamentos, com delineamento de blocos ao acaso com 4 repetições, totalizando 24 parcelas com 12,6 m². As fontes de adubação para cada tratamento estão definidas como: a) sem adubação (controle); b) adubação mineral na linha; c) adubação mineral a lanço (400 kg ha⁻¹ da fórmula 02-20-18); d) adubação com cama de aves (3.175 kg ha⁻¹); e) adubação com dejetos bovino (79,4 m³ ha⁻¹) e f) adubação com dejetos suíno (63,5 m³ ha⁻¹). Os adubos foram aplicados no dia da semeadura realizada com a cultivar de soja NS 5445 IPRO em outubro de 2021. Após a colheita da soja, foram coletadas amostras de solo na camada de 0-10 cm em cada ponto dos tratamentos e colocados em sacos plásticos devidamente identificados para determinação das análises microbiológicas. Os atributos microbiológicos analisados foram: respiração basal, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e extração de esporos de fungos micorrízicos arbusculares. É indicado como resultado que a atividade respiratória dos microrganismos no solo aumenta com a aplicação das doses de dejetos líquido de bovino e suíno. Os teores de carbono e nitrogênio microbiano variam em função do manejo de adubação na soja. O uso de dejetos bovino proporciona decréscimo no carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, indicando maiores perdas desses elementos do sistema. Os tratamentos com adubação mineral na linha, cama de aves e dejetos suíno influenciam significativamente na densidade de esporos de fungos micorrízicos arbusculares, devido a proporção adequada de nutrientes disponível no solo para a simbiose, a qual é inibida em condições de ótima ou baixa fertilidade.

Palavras-chave: qualidade do solo; metabolismo do solo; bioindicadores; adubação.

ABSTRACT

Microbiological attributes are sensitive to changes in the soil and can be used as bioindicators of soil quality, thus helping to make the right management decisions and ensuring sustainable land use. In addition, another way to preserve the environment is the utilization of agricultural residues, such as the use of animal waste as fertilizer. The goal of this work is to evaluate the effects of microbiological attributes under the fertilization of mineral and organic on soybean crops. The study was implemented in June 2019 in the experimental area of UTFPR-DV in Dois Vizinhos, Southwest Paraná, on a Red Nitossolo, which has been under no-till farming system for 20 years. The experiment was submitted to 6 treatments, with a randomized block design with 4 replications, totaling 24 plots with 12.6 m². The sources of fertilization for each treatment are defined as: a) no fertilization (control); b) mineral fertilization in the line; c) mineral fertilization in the field (400 kg.ha⁻¹ of the formula 02-20-18); d) fertilization with poultry litter (3,175 kg ha⁻¹); e) fertilization with cattle manure (79.4 m³ ha⁻¹) and f) fertilization with swine manure (63.5 m³ ha⁻¹). Fertilizers were applied on the day of sowing carried out with the soybean cultivar NS 5445 IPRO in October 2021. After soybean harvest, soil samples were collected in the 0-10 cm layer at each point of the treatments and placed in plastic bags properly identified for determination of microbiological analyzes. The microbiological attributes analyzed were: basal respiration, carbon and nitrogen of microbial biomass and extraction of spores of arbuscular mycorrhizal fungi. It is indicated as a result that the respiratory activity of microorganisms in the soil increases with the application of doses of liquid manure of bovine and swine. The levels of carbon and microbial nitrogen vary according to the management of fertilization in soybean. The use of bovine manure provides a decrease in carbon and nitrogen of microbial biomass, indicating greater losses of these elements of the system. Treatments with mineral fertilization in the line, poultry litter and swine manure significantly influence the density of arbuscular mycorrhizal fungi spores, due to the adequate proportion of nutrients available in the soil for symbiosis, which is inhibited under conditions of optimum or low fertility.

Keywords: soil quality; soil metabolism; bioindicators; fertilizing

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	9
2.1	Objetivo geral	9
2.2	Objetivos específicos	9
3	JUSTIFICATIVA	10
4	REVISÃO DE LITERATURA	11
4.1	Resíduos orgânicos oriundos da produção intensiva de aves, bovinos e suínos	11
4.2	Bioindicadores da qualidade do solo	13
4.3	Respiração Basal	13
4.4	Biomassa microbiana	14
4.5	Fungos micorrízicos arbusculares	15
5	MATERIAL E MÉTODOS	18
5.3	Implantação e condução do experimento	20
5.4	Variáveis analisadas	22
5.4.1	Respirometria do solo	23
5.4.2	Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana	23
5.4.3	Extração de esporos de fungos micorrízicos arbusculares	24
5.5	Análise estatística	24
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
6.1	Esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares	28
	REFERÊNCIAS	31
	APÊNDICE	38
	APÊNDICE A - Croqui do experimento	38
	APÊNDICE B – Desenvolvimentos das análises microbiológicas do solo	38

1 INTRODUÇÃO

O Paraná (PR) é o maior produtor e abatedor de aves, o 2º maior produtor de suínos, com 6,9 milhões de cabeças (20,3%), e o 2º produtor de leite, com 1,3 milhões de vacas ordenhadas (8,0%) e 4,6 bilhões de litros de leite (IBGE, 2020). O Sudoeste do PR é a Mesorregião com maior destaque, sendo o maior produtor de aves, com 5 plantas industriais de abate, maior bacia leiteira, com 1 bilhão de litros produzidos e o 2º maior rebanho suíno (17%) do Estado.

Essas atividades geram grande quantidade de dejetos, que podem ser utilizados como fertilizante orgânico para cultivos agrícolas, em função dos nutrientes presentes na sua constituição, diminuindo assim o uso de fertilizantes minerais solúveis e os impactos ambientais do acúmulo do dejetos em lagoas e pilhas. Contudo, nessa região do PR, assim como em outras regiões do país, não existe área agrícola disponível o suficiente e a aplicação de dejetos de animais, na maioria das vezes é feita nas mesmas áreas e sem critérios técnicos, o que pode afetar a qualidade do solo.

Assim, é necessário monitorar a qualidade do solo com o intuito de recuperar e conservar sua capacidade produtiva e de suas funções ambientais, que pode ser feito por meio da avaliação dos seus atributos físicos, químicos e microbiológicos. Dentre todos os indicadores de qualidade do solo, os parâmetros microbiológicos são os mais eficientes na detecção de alterações nos atributos do solo (EMBRAPA, 2020). Isto se deve ao fato de alguns atributos dos microrganismos serem mais sensíveis a alterações do ambiente (NOVAK *et al.*, 2017), como a biomassa microbiana, fungos micorrízicos arbusculares e atividades de enzimas do solo.

A biomassa microbiana do solo representa a parte viva da matéria orgânica e é constituída por microrganismos que exercem inúmeras funções importantes no solo tais como fixação biológica de nitrogênio, ciclagem de nutrientes e de energia, biorremediação, entre outros (REIS JR; MENDES, 2007). Além disso, a biomassa microbiana também influencia os atributos físicos do solo, devido ao fato dos polissacarídeos de origem microbiana serem mais persistentes no solo em relação aos de origem vegetal, desempenhando assim relevante papel na estabilidade de agregados (BAYER; MIELNICZUK, 1999).

O carbono (C_{mic}) e nitrogênio (N_{mic}) da biomassa microbiana inferem a disponibilidade dos nutrientes no solo, visto que a biomassa representa a fração lábil

da matéria orgânica, sendo potencialmente mineralizável, o que permite uma avaliação mais precoce de suas alterações em comparação a padrões físicos e químicos do solo.

Lopes (2012) desenvolveu um método para a interpretação de atributos microbiológicos e bioquímicos, em Latossolos Vermelhos de textura argilosa do Cerrado, que consiste em uma Tabela de interpretação, com base nos princípios das curvas de calibração de nutrientes. Segundo o autor, há uma relação significativa entre o carbono da biomassa microbiana (CBM), atividades enzimáticas, a matéria orgânica do solo e o rendimento acumulado de grãos. É necessário, portanto, entender o efeito de diferentes sistemas de manejo do solo sobre os atributos microbiológicos e suas ações na liberação e no fornecimento adequado de nutrientes na cultura da soja, visando não somente a produtividade, mas também a qualidade e sustentabilidade ambiental.

Embora existam vários estudos sobre as propriedades biológicas do solo comparando diferentes sistemas de cultivo, não há muitas informações sobre o estado biológico do solo em função do uso de diferentes dejetos de animais e da adubação mineral, a maioria dos estudos utilizam em torno de uma a duas fontes de adubação apenas para fazer as comparações.

Portanto, trabalhos que busquem avaliar a alteração dos atributos microbiológicos do solo sob influência do uso de diferentes fontes de adubação em conjunto, podem auxiliar juntamente com outros atributos de solo na tomada de decisão sobre o manejo de adubação orgânica e mineral nas culturas de importância agrônômica, como a soja. Desta forma, contribuindo para que os agricultores que aplicam dejetos de animais nas lavouras façam de forma racional.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os atributos microbiológicos do solo sob adubação com dejetos de animais e fertilizante mineral em área sob SPD consolidado no Sudoeste do PR.

2.2 Objetivos específicos

a) Monitorar o efeito da adubação com dejetos de animais e fertilizante mineral na respiração basal, C e N da biomassa microbiana.

b) Avaliar o efeito da adubação com dejetos de animais e fertilizante mineral nos esporos micorrízicos.

3 JUSTIFICATIVA

Para avaliar e identificar as melhores estratégias no manejo de adubação do solo e, ao mesmo tempo, garantir a preservação dos recursos naturais, o monitoramento apenas de atributos químicos do solo pode não ser suficiente. Assim, o monitoramento de atributos microbiológicos podem ser utilizados como indicadores de qualidade dos solos e auxiliar na tomada de decisão sobre o uso de diferentes fontes de nutrientes. No entanto, há poucos estudos relacionados ao efeito dos adubos orgânicos, como dejetos de animais, sobre os atributos microbiológicos do solo.

Desta forma o estudo poderá contribuir para um estímulo da utilização de um sistema adequado de manejo do solo, tanto para agricultores que já adotaram essa prática, quanto para os agricultores que ainda utilizam sistemas de manejo que podem causar degradação do solo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Resíduos orgânicos oriundos da produção intensiva de aves, bovinos e suínos

A crescente demanda por produtos de origem animal tem provocado aumento expressivo na pecuária intensiva, gerando um desequilíbrio entre o número de animais e a capacidade de suporte do ambiente. A produção intensiva de aves, suínos e leite gera e concentra grande quantidade de dejetos de animais. Estima-se em torno de 450 milhões t/ano a produção de resíduos decorrentes da criação de aves e suínos no Brasil (IPEA, 2012), enquanto os dejetos líquidos bovinos podem variar de 9,0% a 12,0% do peso vivo do rebanho/dia, o que produz aproximadamente 80 mil m³ de dejetos/dia somente no PR.

Em função dos nutrientes presentes na constituição dos resíduos, estes podem ser utilizados como fertilizante orgânico para cultivos agrícolas, diminuindo assim os impactos ambientais como o acúmulo do dejetos em lagoas e pilhas, que causam deterioração da qualidade do solo e das águas superficiais e subterrâneas.

A aplicação dos dejetos como fonte de nutrientes para plantas cultivadas tem sido muito estudada, apresentando bons resultados (ASSMANN *et al.*, 2007; BARNABÉ *et al.*, 2007; MEDEIROS *et al.*, 2007; GIACOMINI e AITA, 2008), sendo que essa prática vem ao encontro da atual necessidade de sustentabilidade ambiental e conservação dos recursos naturais.

O uso de dejetos de animais é uma alternativa de adubação das culturas agrícolas, devido a presença de matéria orgânica e nutrientes principalmente nitrogênio (N) e fósforo (P), permitindo a ciclagem de nutrientes nos ecossistemas, auxiliando na melhoria das propriedades do solo e no estabelecimento de microrganismos benéficos. Além disso, seu uso substitui os fertilizantes minerais, que são fontes finitas e não renovável de nutrientes, reduzindo os custos de produção e tornando o sistema mais sustentável. Por isso, seu uso tem ocorrido em larga escala, porém, com pouca base científica, em geral, com produtores aplicando doses que lhes convierem, sem acompanhamento do resultado desta prática sobre a fertilidade do solo, uma vez que os dejetos apresentam nutrientes em quantidades desproporcionais em relação à necessidade das plantas.

Além disso, os dejetos de animais são adicionados em superfície, favorecendo o seu acúmulo nos primeiros 10 cm do solo, onde ocorre a saturação dos sítios de adsorção e diminui a energia de ligação dos nutrientes com os coloides do solo, propiciando um aumento das formas mais lábeis, principalmente de fósforo. Da mesma forma, os dejetos líquidos de suínos e bovinos, por estarem disponíveis nas propriedades rurais, são distribuídos no solo como uma forma de descarte dos mesmos, sem a devida preocupação com relação às quantidades aplicadas e nem com o modo e a época de aplicação. Por isso, o seu uso como fertilizante às culturas pode resultar em poluição ambiental, pois quando esgotada a capacidade de suporte do solo em receber P (GATIBONI *et al.*, 2014) ou N, onde o P atingirá os recursos hídricos, elevando os teores do nutriente nos sedimentos, enquanto o excedente do N pode ser perdido para a atmosfera nas formas de amônia (NH_3) e óxido nitroso (N_2O), para águas de subsuperfície por lixiviação de nitrato (NO_3^-) e (NH_4^+) e N orgânico via escoamento.

Os adubos orgânicos podem ser utilizados na forma líquida ou sólida, fresco, como composto ou vermicomposto. A composição dos esterco varia com a espécie e a idade do animal, tipo de cama utilizada, cuidados em sua manipulação antes da aplicação e alimento consumido (WEINÄRTNER *et al.*, 2006). A quantidade de resíduos orgânicos a ser aplicada em determinada área depende de fatores como a composição e do teor de matéria orgânica dos resíduos, fertilidade do solo, exigência nutricional da cultura explorada e condições climáticas regionais (DURIGON *et al.*, 2002).

O dejetos suíno é composto por urina, fezes, resíduos de ração, cerdas, poeira e material particulado, água e outros materiais gerados no processo produtivo. A sua composição química depende da dieta ofertada aos animais, do aproveitamento dos nutrientes pelo sistema digestivo, que varia de acordo com a fase de criação, e da quantidade de água usada na granja (BARROS, 2019). Grande parte dos nutrientes contidos nas rações são eliminados nas fezes e na urina dos animais, onde os teores de 40 a 60% do nitrogênio, 50 a 80% do cálcio e fósforo, e 70 a 95% do K, Na, Mg, Cu, Zn, Mn e Fe da ração fazem parte da composição dos dejetos (PERDOMO, 2001).

O dejetos bovino é composto por fezes, urina, restos de ração e água de bebedouros e de higienização, sendo influenciado por uma série de fatores, entre eles idade dos animais, tipo de alimentação e sistema de manejo (EMBRAPA, 2016).

A cama de aves é composta por fezes, penas das aves, a ração desperdiçada e o material absorvente de umidade usado sobre o piso dos aviários, constituindo-se assim, num resíduo com alta concentração de nutrientes (HAHN, 2004). A sua composição é influenciada pelo tipo de ração, natureza e quantidade do material de cobertura do piso do galpão, período de permanência das aves sobre o material, número de aves por área e condições e período de estocagem. Os teores de nutrientes podem variar conforme a origem da cama de aviário e do número de camadas de maravalha (SCHERER, 1995).

Apesar de serem notórios os benefícios da aplicação dos dejetos de origem animal para fertilização das áreas agrícolas, muitas vezes a utilização em excesso pode inferir em detrimento da produtividade, superando a capacidade dos solos, podendo ocasionar sérios problemas de contaminação ambiental. Por isso, é necessário monitoramento constante da qualidade dos solos, principalmente nos aspectos microbiológicos.

4.2 Bioindicadores da qualidade do solo

Bioindicadores de qualidade do solo são características mensuráveis que permitem avaliar a situação atual do solo e sugerir técnicas de manejo adequadas (SILVA *et al.*, 2011). Como os microrganismos são sensíveis a alterações do ambiente, eles podem ter 100% da sua atividade inibida, o que os torna naturalmente como indicadores da saúde ou qualidade do solo. Os indicadores biológicos mais utilizados para inferir sobre qualidade do solo incluem a biomassa microbiana, respiração microbiana do solo, quociente metabólico e atividades enzimáticas (DICK *et al.*, 1996).

4.3 Respiração Basal

A respiração basal do solo (RBS) representa a soma total da atividade metabólica do solo e os microrganismos são os principais responsáveis por esse processo de liberação de CO₂ (SEABRA, 2006). Além disso, pode representar a velocidade de decomposição da matéria orgânica, onde maiores valores de respiração basal podem ser um indicativo de um solo com elevada produtividade, mas que a longo prazo pode gerar um distúrbio, comprometendo os atributos químicos e

físicos do solo (ISLAM; WEIL, 2000).

Em um estudo realizado sob solos com diferentes manejos no Cerrado, Lourente *et al.* (2011), observaram que na mata nativa ocorreu uma liberação maior de CO₂ dos microrganismos em relação a áreas antrópicas, devido a presença de maiores teores de carbono na biomassa deste solo. Além disso, foi constatado a influência da temperatura e umidade na microbiota do solo, onde foram obtidos valores maiores na taxa de respiração basal no verão em relação ao inverno, visto que no verão há mais incidência de chuva e a temperatura é mais elevada.

A umidade do solo interfere na atividade microbiana, agindo no componente do protoplasma, modificando as trocas gasosas e dissolvendo e transportando diferentes nutrientes. Em temperaturas abaixo de 25°C e acima de 38°C ocorre um decréscimo nas taxas de reações microbianas, o que justifica a sua maior atividade no verão (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Segundo Sampaio *et al.* (2008), ao avaliarem em um cultivo de frutas, os indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes profundidades, constataram que a área com sistema orgânico na profundidade de 10-20cm apresentou maior respiração basal em relação a área com sistema convencional com aplicação de adubo mineral. Isto se deve ao fato da ocorrência da aplicação constante de composto orgânico e palhada na área, proporcionando maior quantidade de carbono prontamente disponível. A avaliação da RBS é uma técnica amplamente utilizada para quantificar a atividade microbiana, pelo fato de ter sensibilidade às alterações no solo, como umidade, temperatura e disponibilidade de substrato (BROOKES, 1995).

4.4 Biomassa microbiana

A biomassa microbiana do solo (BMS) atua diretamente nos ciclos biogeoquímicos dos nutrientes, responsáveis pelos processos de mineralização de elementos, fornecendo e disponibilizando-os para o solo e as plantas. Além disso, ela controla a decomposição e acúmulo de matéria orgânica e participa dos processos de biorremediação de poluentes e metais pesados (REIS JR; MENDES, 2007).

Durante o processo de decomposição, uma parte dos nutrientes liberados ficam imobilizados na biomassa microbiana e visto que suas alterações podem ser detectadas antes de mudanças ocorridas na matéria orgânica, ela tem potencial para ser utilizada como bioindicador de qualidade do solo. Porém, a determinação da

biomassa microbiana total não é suficiente para indicar as atividades das populações microbianas, sendo necessário utilizar outras análises, como por exemplo, a taxa respiratória que pode ser determinada por vários métodos, tais como clorofórmio fumigação-extração (CFE) e clorofórmio-fumigação-incubação (CFI), os quais determinam o carbono e nitrogênio da matéria viva do solo (REIS JR; MENDES, 2007).

Em um estudo sobre a biomassa microbiana, Matsuoka *et al.* (2003) observaram reduções no carbono na biomassa microbiana nas profundidades amostradas (0-05 cm e 05-20 cm) de solos de cerrado sob uso agrícola em relação à vegetação nativa. Isto pode ser justificado pela maior diversidade de plantas, de deposição de serapilheira e ausência de preparo de solo, que são fatores que contribuem para o aumento da biomassa na vegetação nativa. Além disso, os autores afirmaram que houve uma redução na matéria orgânica nas áreas antrópicas. Isso mostra que a biomassa está diretamente relacionada com a matéria orgânica do solo e é muito sensível às alterações no solo.

Müller *et al.* (2014) ao avaliar a influência de adubos orgânicos na atividade microbiana, observaram que o esterco de aves apresentou maior valor de CBN na primeira coleta e o esterco de suíno apresentou o menor valor em relação aos demais tratamentos na segunda coleta. Isso pode ser justificado pelo fato da alta quantidade de matéria orgânica adicionada ao solo, que dificultou a sua degradação pelos microrganismos.

4.5 Fungos micorrízicos arbusculares

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMA) são microrganismos simbiontes obrigatórios. A planta supre o fungo com energia para crescimento e manutenção de produtos fotossintéticos, enquanto o fungo provê a planta com nutrientes e água.

A presença desse fungo no solo influencia na estruturação do solo, na resistência de plantas ao ataque de patógenos (HWANG *et al.*, 1992), à tolerância ao estresse hídrico, à eficiência fotossintética (BROWN; BETHLENFALVAY, 1987) e ao intemperismo de minerais. Essas características os tornam excelentes bioindicadores de qualidade do solo.

As características, uso e manejo do solo exercem grande influência nos fungos micorrízicos arbusculares, onde são inibidos em condições de alta fertilidade

e favorecidos pela baixa fertilidade. E a biota do solo pode exercer ação inibitória ou estimulante da germinação e do crescimento micelial do fungo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O resultado da produção agrícola está ligado aos efeitos benéficos das micorrizas sobre a nutrição de plantas, através das hifas externas que absorvem nutrientes de um volume de solo maior do que o alcançado por raízes não colonizadas, auxiliando na absorção de nutrientes com baixa mobilidade no solo, como o fósforo (MIRANDA; HARRIS, 1994). As plantas que requerem maiores níveis de fertilização fosfatada beneficiam-se mais da associação micorrízica (PLENCHETTE *et al.*, 1983). Quando as micorrizas são associadas a um adequado manejo do solo e planta, elas são suficientes para favorecer sua contribuição na produtividade.

A propagação de FMA ocorre através dos propágulos, que são os esporos, micélio e os fragmentos de raízes colonizadas, que ao infectarem as raízes da planta hospedeira, podem se desenvolver e dar origem a novos propágulos (FERNANDES, 2011). O diâmetro dos esporos das micorrizas depende da espécie e pode variar desde 20 μm a mais de 1.000 μm (SOUZA *et al.* 2017). O tempo e o nível de esporulação dependem da espécie de fungo, da planta hospedeira, do solo e das condições ambientais, onde os esporos podem sobreviver por vários anos no solo (SIEVERDING, 1991).

O micélio desses fungos auxilia na agregação das partículas do solo, através da secreção da glomalina que é uma glicoproteína hidrofóbica que atua como um agente de ligação de longo prazo e atua ativamente no processo de armazenamento de carbono do solo (WRIGHT, 2005). Com isso, há um aumento na capacidade de retenção de água, fluxo de ar, volume do solo e nível de matéria orgânica (KALAMULLA *et al.* 2022). A disponibilidade de nutrientes tem efeito na formação de glomalina no solo. Wuest *et al.* (2005) relataram maior deposição de glomalina em solo adubado com esterco em comparação ao solo não fertilizado.

A maioria das culturas anuais como a soja têm suas raízes naturalmente colonizadas por FMA, onde há graus diferentes de dependência de associação entre o fungo e cada espécie de planta. Pesquisas relatam que até 80 % do crescimento da soja pode depender da associação com os fungos micorrízicos arbusculares no solo, possuindo uma elevada dependência da simbiose (MIRANDA, 2012).

Em um estudo com avaliação da produção de matéria seca e dependência micorrízica em duas cultivares de soja em um Latossolo vermelho, foi verificado que

mesmo em condições adequadas de acidez e de alta fertilidade do solo o crescimento da soja foi 20% maior com a presença dos fungos micorrízicos arbusculares nativos em comparação as plantas sem micorriza arbuscular (MIRANDA; MIRANDA, 2002).

Em função dos benefícios que os FMA proporcionam, é de suma importância avaliar práticas de manejo que contribuam para a manutenção e funcionamento do sistema micorrízico.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Rede de agropesquisa e participação do presente estudo

A Rede Paranaense de Agropesquisa (Rede AgroParaná) é uma ferramenta para incentivar a inovação e pesquisa científica e tecnológica, a qual está realizando um estudo em seis mesorregiões com o objetivo de coletar dados sobre a ocorrência de erosão no Estado. As estações são compostas por megaparcelas, de 2 hectares cada uma, instaladas em áreas rurais de sete municípios e divididas em metade com terraços e a outra sem. Em Dois Vizinhos, a UTFPR faz o estudo dentro do próprio campo experimental da universidade. Em outros locais, os estudos ocorrem também em áreas de produtores rurais.

Nas megaparcelas os manejos feitos nas plantações são os mesmos praticados em cada região afim de demonstrar a eficácia dos terraços para ajudar na contenção das chuvas e evitar a erosão em diferentes cultivos. O estudo inclui o monitoramento durante eventos de chuva e estudos de caracterização do solo, analisando fatores como porosidade e capacidade de infiltração, vazão e a turbidez da água.

Figura 1 - Localização das estações experimentais da Rede Paranaense de Agropesquisa



Fonte: Anibal (2021).

Além disso, a Rede AgroParaná possui subprojetos, sendo um deles este presente estudo “Monitoramento hidrossedimentológico em microparcelsas com aplicação de dejetos de animais no Sudoeste do Paraná”. O experimento possui como objetivo avaliar o efeito do uso de dejetos na produtividade das culturas e nas perdas de solo, água e nutrientes por escoamento superficial em áreas de Sistema de Plantio Direto (SPD).

Nos cultivos, é feita avaliação da produtividade de massa da matéria seca da parte aérea e de grãos, além dos componentes de rendimento. Com a amostragem de solo também são medidos os parâmetros químicos e microbiológicos. A partir das amostras de escoamento, são avaliados o volume e a quantidade de sedimentos e nutrientes, além da caracterização química (FIORINI, 2022).

A compilação das informações desses estudos que caracterizam as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo permitirão adequar o manejo de solo das áreas agrícolas para atingir patamares melhores de sustentabilidade, com redução da compactação, maior infiltração de água no solo, menor perda de nutrientes e maior atividade biológica levando a maior produtividade (ANÍBAL, 2021).

5.2 Localização e caracterização da área experimental

O trabalho foi realizado na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-DV), no Sudoeste do Paraná (25°44'S; 53°04'O). O clima é caracterizado como subtropical úmido, do tipo Cfa (Köppen), com verão fresco, temperatura média do mês mais quente menor que 22 °C e do mês mais frio menor que 18 °C, com precipitação média anual de 2.010,6 mm (VIEIRA *et al.* 2018). O solo é classificado como Nitossolo Vermelho (CABREIRA, 2015) com o manejo sob sistema de plantio direto (SPD) há mais de 20 anos.

Antes do início do experimento, foi realizada em 2019 a amostragem do solo com pá de corte na camada de 0-10 cm em cada parcela para caracterização química do solo para definição das doses de adubo a serem aplicadas de cada tratamento.

Tabela 1 - Caracterização química do solo das parcelas antes do início do experimento, em fevereiro de 2019.

Tratamento	Fósforo mg kg ⁻¹	Potássio mg kg ⁻¹	C-Orgânico %	SMP	pH-H ₂ O
Sem adubação	21,90 ^{ns}	269,97 ^{ns}	2,72 ^{ns}	6,23 ^{ns}	6,06 ab
Adubação mineral na linha	26,12	360,42	2,77	6,36	6,11 ab
Adubação mineral a lanço	21,73	272,17	2,96	6,41	6,15 a
Cama de aves	21,53	229,75	2,70	6,46	5,96 ab
Dejeto Bovino	25,10	373,62	2,92	6,56	5,83 ab
Dejeto suíno	21,01	464,22	3,01	6,23	5,77 b
C.V	36,30%	33,80%	6,30%	2,30%	2,50%

Médias seguidas por letras minúsculas na coluna não se diferenciam estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autoria própria (2019).

5.3 Implantação e condução do experimento

O experimento foi implantado em junho de 2019 e consiste na aplicação de doses de adubo orgânico a lanço e adubo mineral na linha e a lanço, definidas para aplicar 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

- a) sem adubação (controle).
- b) adubação mineral na linha (400 kg ha⁻¹ da fórmula 02-20-18)
- c) adubação mineral a lanço (400 kg ha⁻¹ da fórmula 02-20-18).
- d) adubação com cama de aves (3.175 kg ha⁻¹)
- e) adubação com dejeto bovino (79,4 m³ ha⁻¹).
- f) adubação com dejeto suíno (63,5 m³ ha⁻¹).

O delineamento é em blocos ao acaso com 4 repetições, totalizando 24 parcelas de 12 m² que foram demarcadas por calhas. Os mesmos tratamentos já foram aplicados nas parcelas em outubro de 2019, na cultura da soja, outubro de 2020 na cultura da soja e maio de 2021 na cultura do trigo.

A aplicação dos tratamentos é realizada no dia da semeadura, onde os dejetos líquidos são aplicados nas parcelas com o auxílio de baldes, a cama de aves e adubação mineral são aplicadas a lanço e a adubação mineral na linha é aplicada através das demarcações de linhas feita no solo de forma manual.

Figura 2 - Aplicação dos tratamentos nas parcelas experimentais.



Fonte: autoria própria (2021)

Em 22 de outubro de 2021 os tratamentos foram novamente aplicados e no mesmo dia implantou-se a cultura da soja, cultivar NS 5445. Neste dia também foram coletadas amostras dos resíduos orgânicos em garrafas pets para posterior análise. Em função da baixa germinação da cultura foi necessário a ressemeadura, que foi realizada dia 05 de novembro com a cultivar Pioneer 95Y02, de ciclo precoce, com população de 288 mil plantas por ha. No decorrer do desenvolvimento da cultura foram realizados os tratamentos fitossanitários de acordo com recomendações técnicas para a cultura.

Figura 3 - Cultura da soja implantada em outubro de 2021 e em pleno desenvolvimento.



Fonte: autoria própria (2021).

Após a colheita da soja, dia 21 de fevereiro de 2022, foi realizada no dia 05 de março a amostragem de solo com pá de corte na camada de 0-10 cm em cada parcela do experimento, em seguida foram colocados em sacos plásticos devidamente identificados para determinação das análises microbiológicas. Para a preservação das atividades microbianas, as amostras de solo foram armazenadas em câmara fria com temperatura controlada de 4 °C até a realização das análises.

Figura 4 - Amostragem de solo em março de 2022, após a colheita da soja.



Legenda: A. Coleta do solo; B. Conferência da medida da amostra de solo .Fonte: autoria própria (2022)

No laboratório, o solo foi peneirado em malha de 2,0 mm para a retirada de fragmentos indesejáveis e foi pesado em latas de alumínio para a determinação da umidade, sendo inseridas na estufa a uma temperatura de 105°C durante 48h, até atingir um peso constante.

5.4 Variáveis analisadas

Os atributos microbiológicos analisados foram a respiração basal, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana e extração de esporos de fungos micorrízicos arbusculares.

5.4.1 Respirometria do solo

A respiração basal do solo (RBS) foi realizada pelo método descrito por Jenkinson e Powlson (1976). As amostras foram analisadas em duplicatas, em frascos de 100mL com 50g de solo e 10ml de NaOH 0,5 mol L⁻¹ e incubadas por 15 dias isento de luz. Os frascos foram vedados para não ter entrada de CO₂ do ar externo ou fuga do CO₂ internamente produzido. Após o processo de incubação foram adicionadas duas gotas de fenolftaleína de 1% (m/v) e foi feita a titulação sob agitação magnética com solução padronizada de HCl 0,5 mol L⁻¹. A quantificação do CO₂ respirado é o volume de ácido clorídrico gasto na titulação da amostra.

5.4.2 Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana

A estimativa da quantidade de carbono e nitrogênio acumulado na biomassa microbiana do solo foi realizada por meio da fumigação com clorofórmio e posterior extração e determinação dos elementos, sendo o carbono com solução sulfocrômica e nitrogênio por destilação. O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi determinado conforme a metodologia de Vance *et al.* (1987) e o nitrogênio da biomassa microbiana (NBM), foi obtido conforme a metodologia descrita pela Embrapa (2011).

De cada amostra, foram pesados 20 g de solo, que foram colocados em frascos “snap-cap”. Em seguida, as amostras foram pré-incubada e metade delas foram fumigadas por 24 h (em capela com exaustão forçada), contendo uma placa de Petri com 1 mL de clorofórmio. As amostras não fumigadas foram mantidas a temperatura ambiente. Posteriormente, foi feita a extração nas amostras, com adição de 50 mL de K₂SO₄ 0,5 mol L⁻¹. Em seguida, foi feita a agitação horizontal (220 rpm) das amostras durante 30 minutos. Após 2h, o material foi filtrado em papel filtro para que fosse feita a determinação do C por dicromatometria, seguida de titulação com sulfato ferroso amoniacal. E para a determinação de N foi feita destilação, com uma alíquota de 10 mL de cada filtrado que foi digerida, em bloco de digestão, e analisada para N total.

5.4.3 Extração de esporos de fungos micorrízicos arbusculares

A extração e contagem de esporos foi realizada pela metodologia de Gerdemann e Nicolson (1963), conhecida como peneiramento úmido. No Becker, foi adicionado 50 g de solo, que foi lavado quatro vezes e passado em peneiras de malhas 53, 106 e 250 μm , em seguida o sobrenadante foi acondicionado diretamente em potes de alíquotas e balanceados com água destilada para centrifugação, com rotação de 3500 rpm durante 6 minutos. O sobrenadante dos tubos foi drenado e foi adicionada a solução de sacarose a 50%, agitando o conteúdo com auxílio de um bastão de vidro para serem centrifugados por 6 minutos a 3.500 RPM. Posteriormente, o sobrenadante foi drenado novamente em peneiras de malhas 0,53, 106 e 250 μm . Em seguida, as amostras compostas foram lavadas com água destilada e armazenadas em recipientes plásticos para a contagem dos esporos, que foram contados com o auxílio da lupa em placas de petri.

5.5 Análise estatística

Os resultados dos atributos do solo avaliados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), onde foi realizada a comparação de médias a 5% de significância pelo teste de Scott-Knott para as análises de respirometria e extração de esporo de fungos micorrízicos arbusculares e foi submetido o teste de Tukey a 5% de significância para as análises de C e N microbiano.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O solo sob adubação com dejetos bovino e suíno apresentou maior liberação de CO₂ via atividade respiratória microbiana, enquanto não houve diferença significativa entre os tratamentos sem adubação, adubação mineral a lanço e na linha e cama de aves (Tabela 01).

Os dejetos líquidos, pela maior labilidade do carbono, acarretou no aumento da atividade microbiana, representado pelo aumento da respiração do solo. Maiores valores de RBS indicam que há uma decomposição mais acelerada do material orgânico de dejetos líquidos e valores menores de RBS indicam pouca atividade microbiana, com uma decomposição mais lenta da matéria orgânica com a utilização de adubação mineral e cama de aves.

Tabela 02 - Liberação de carbono (CO₂) nos solos sob diferentes fontes e formas de adubação.

Tratamentos	Emissão de C-CO ₂
	mgC-CO ₂ kg ⁻¹ dia ⁻¹
Sem adubação	11,4 b
Adubação mineral na linha	12,3 b
Adubação mineral a lanço	11,4 b
Cama de aves	10,8 b
Dejeto bovino	13,3 a
Dejeto suíno	14,2 a
CV	11,42%

Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. CV: coeficiente de variação. Fonte: Autoria própria (2023).

Resultados semelhantes foram observados por Dantas (2016) ao avaliar a atividade e biomassa microbiana do solo sob um histórico de sucessivas aplicações de adubos com fonte orgânica e mineral, onde foi constatado que o uso de fontes orgânicas com dejetos líquidos de bovino e suíno e cama sobreposta de suíno proporcionaram aumentos na atividade respiratória do solo em comparação ao uso de adubação mineral. Barbosa (2015) ao avaliar os atributos microbiológicos em sistema plantio direto e convencional, também verificou maior atividade respiratória do solo no plantio convencional adubado com esterco bovino em relação ao plantio convencional adubado com ureia. Segundo o autor, doses de ureia proporcionaram decréscimo da atividade de microrganismos devido ao estresse da microbiota do solo, onde o

aumento da atividade respiratória não acompanhou o crescimento em biomassa microbiana.

O tratamento com cama de aves apresentou uma menor atividade respiratória, Casali *et al.* (2015) ao avaliarem o efeito de diferentes doses de cama de aviário e de adubação nitrogenada sobre a atividade microbiana do solo, também encontram resultados semelhante, onde não houve diferença significativa na RBS no adubo de cama de aves na dose de 6,0 toneladas. Além disso, eles observaram que em todos os tratamentos a emissão de C-CO₂ atingiu seu ápice na terceira e quarta semanas, vindo a diminuir a partir da quinta semana após a aplicação dos tratamentos. Considerando que neste presente estudo a coleta de solo foi realizada na 20ª semana, é provável que a cama de aves teve uma decomposição mais acelerada do resíduo em comparação aos outros tratamentos orgânicos, onde a atividade microbiana já estava em declínio.

O incremento na atividade respiratória nos tratamentos de dejetos líquidos, ocorreu devido a relação que a biomassa microbiana possui com o aumento do carbono orgânico do solo e com os substratos facilmente disponíveis que a adubação orgânica fornece, desta forma estimulando a atividade dos microrganismos.

A adubação com cama de aves apresentou as maiores concentrações de CBM do solo, sendo estatisticamente igual ao dejetos suíno, adubação mineral na linha e a lanço, diferindo estatisticamente apenas dos tratamentos com dejetos bovino e sem adubação (tabela 02).

Diversos autores relataram o aumento no CBM com a adição de adubo orgânico como dejetos suíno, lodo e dejetos bovino em comparação aos tratamentos sem adubação (GRIFFITHS *et al.*, 1998, ANDRADE *et al.*, 2000; GARCIA-GIL *et al.*, 2000; PLAZA *et al.*, 2004). Levando em consideração que os resíduos orgânicos possuem microrganismos em sua composição, Sakamoto e Oba (1991) sugerem que este é um fator contribuinte para o aumento do CBM no solo.

Os valores de CBM permitem aferir o acúmulo ou perda de C em função do tipo de manejo, onde há maior CBM, há uma maior reserva de C no solo, e conseqüentemente um menor potencial de decomposição da matéria orgânica (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 1997). Ou seja, tanto a adubação orgânica quanto a adubação mineral geraram um bom suprimento de C disponível, exceto o dejetos bovino, indicando maiores perdas de C nesse sistema. É provável que tenha ocorrido uma decomposição mais lenta do resíduo bovino em relação aos demais

tratamentos orgânicos

Em contrapartida, Garcia-Gil *et al.* (2000) ao comparar a aplicação de lodo de esgoto com esterco de bovinos sobre mudanças na biomassa microbiana em solo, seguido por três anos de aplicação sucessiva, observaram incrementos no CBM com adição de ambos, esterco de bovinos e lodo de esgoto em relação as parcelas sem tratamento.

Tabela 03 - Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana nos solos sob diferentes formas de adubação.

Tratamentos	CBM mg g ⁻¹ de C no solo	NBM mg ⁻¹ N no solo
Sem adubação	132,7 c	17,5 ab
Adubação mineral na linha	106,0 abc	19,2 a
Adubação mineral a lanço	153,3 ab	16,0 abc
Cama de aves	162,3 a	11,8 bc
Dejeto bovino	88,3 bc	09,6 c
Dejeto suíno	153,0 abc	11,7 bc
CV	4,36%	19,31%

Médias seguidas de letras diferentes na coluna se diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. Fonte: Autoria própria (2023).

A imobilização do nitrogênio pela biomassa microbiana é temporária, onde após a morte dos microrganismos, ocorre a mineralização destes pelo restante da biomassa, liberando os nutrientes imobilizados. A biomassa microbiana é um elemento importante do N mineralizável, quanto maior o conteúdo de N na biomassa microbiana, mais rápida será a sua reciclagem (ANDERSON, 2003). Contudo, o aumento da mobilização do N no solo gera maiores perdas por lixiviação, reduzindo sua capacidade de imobilização e conservação (VARGAS; SCHOLLES, 1998).

O NBM foi maior no solo sem adubação e com adubação mineral na linha e a lanço, os quais apresentaram uma tendência de se diferenciar das fontes orgânicas de adubação (Tabela 02). A diminuição de NBM no solo com adubação orgânica pode estar associada a acontecimentos, como mudanças na composição da biomassa ou aumento da mineralização de N por bactérias (SARATHCHANDRA *et al.*, 1988). Resultados semelhantes foram encontrados em um estudo sobre a avaliação das propriedades químicas e bioquímicas de um solo siltoso sob manejo de adubações inorgânicas e orgânicas em sistema de rotação de culturas, Melero *et al.* (2006), observaram que o CBM foi maior no solo com adubação orgânica e o NBM foi maior

nas parcelas com adubação mineral.

Em solos com baixa fertilidade, a taxa de decomposição de matéria orgânica pode ser menor, levando à imobilização de nitrogênio na biomassa microbiana. Já em solos com boa fertilidade, a quantidade de NBM é menor, pois há mais disponibilidade de N para atender à atividade metabólica dos microrganismos, quanto maior a quantidade de N mineralizado no solo, menor é o seu acúmulo na biomassa microbiana (GAMA-RODRIGUES *et al.*, 1997).

6.1 Esporos de Fungos Micorrízicos Arbusculares

A quantidade total de esporos de FMA foi superior nos tratamentos com dejetos suíno, dejetos bovinos e adubação mineral na linha em relação aos tratamentos sem adubação, com adubação mineral a lanço e dejetos bovinos (Tabela 03).

Analisando de forma isolada em específico a contagem de esporos maiores, coletados na peneira de 250 μm , a adubação orgânica e a adubação mineral a lanço apresentaram resultados superiores aos tratamentos sem adubação e adubação mineral na linha. Nesta peneira estão presentes os esporos com diâmetro $\geq 250 \mu\text{m}$, o que sugere a presença de morfotipos diferentes de micorrizas.

Tabela 04 - Contagem dos esporos de fungos micorrízicos nos solos sob diferentes formas de adubação.

Tratamentos	Esporos micorrízicos	
	Total	Peneira 250 μm
	-----un.50mL de solo ⁻¹ -----	
Sem adubação	153 b	9,3 b
Adubação mineral na linha	219 a	14,5 b
Adubação mineral a lanço	156 b	25,0 a
Cama de aves	223 a	35,0 a
Dejetos bovinos	151 b	36,3 a
Dejetos suíno	231 a	33,7 a
CV	16,03%	10,12%

Médias seguidas da mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Fonte: Autoria própria (2023).

Os sistemas orgânicos favorecem a simbiose Planta-FMA, apresentando maior riqueza e diversidade de FMA (VERBRUGGEN *et al.*, 2010), devido ao incremento de matéria orgânica do solo, que melhora as características físicas e químicas, proporcionando condições ideais para a propagação dos fungos (RYAN *et al.*, 1994). Os fertilizantes orgânicos fornecem nutrientes de forma mais gradual e,

portanto, incentivam a formação de simbiose micorrízica devido a pouca mineralização dos constituintes da matéria orgânica (GLIESSMAN *et al.*, 1996). O que justifica os resultados significativos para cama de aves e dejetos suíno neste experimento.

Em contrapartida, nos sistemas convencionais a contribuição do FMA é menor devido a alta disponibilidade de fósforo no solo (GALVÁN *et al.*, 2009). Porém, para ocorrer a associação entre o fungo e a planta é necessário também que o solo contenha uma quantidade mínima de P, que pode variar de acordo com a necessidade do fungo (PRATES *et al.* 2021). Estes autores, ao avaliarem a diversidade de FMA em cultivo com diferentes preparos de solo, observaram que na área de adubação mineral com P disponível de $6,80 \text{ mg dm}^{-3}$, resultou numa quantidade maior de esporos de FMA do que na área sem adubação com $3,10 \text{ mg dm}^{-3}$ de P. Os resultados são semelhantes ao encontrado neste experimento, onde os tratamentos sem adubação e adubação mineral a lanço apresentaram uma menor abundância de esporos, que pode ser consequência da baixa quantidade de P no solo, inviabilizando a simbiose.

Embora muitos estudos relatem os efeitos positivos da adubação orgânica na densidade de esporos de FMA em relação à adubação mineral, neste estudo, a adubação mineral na linha se sobressaiu à adubação com dejetos bovinos. Isto pode ser justificado pelo fato de que os efeitos das micorrizas no crescimento das plantas são predominantemente nutricionais e variam em função da exigência da planta e do nível de fertilidade do solo (SIQUEIRA, 1994). A planta é favorecida pelas micorrizas até o momento em que as suas necessidades nutricionais são supridas, após, ocorre um decréscimo, podendo ocorrer o efeito parasítico em condições de ótima fertilidade. Com isso, pode-se afirmar que o dejetos bovino apresentou condições nutricionais mais adequadas em relação à adubação mineral na linha, consequentemente, diminuindo a necessidade da planta de se associar com as micorrizas.

Resultado semelhante foi encontrado por Ellis *et al.* (1992), ao avaliarem a colonização de FMA sob adubação com fertilizante mineral e esterco bovino na soja e sorgo granífero, observaram que a adubação com esterco bovino afetou o estabelecimento da simbiose devido às condições nutricionais que estavam adequadas.

7 CONCLUSÃO

A atividade respiratória dos microrganismos no solo aumenta com a aplicação das doses de dejetos líquido de bovino e suíno.

Os teores de C e N microbiano variam em função do manejo de adubação na soja. O uso de dejetos bovino proporciona decréscimo no CBM e NBM indicando maiores perdas de C e N do sistema.

Os tratamentos com adubação mineral na linha, cama de aves e dejetos suíno influenciam significativamente na densidade de esporos de FMA, devido a proporção adequada de nutrientes disponível no solo para a simbiose, a qual é inibida em condições de ótima ou baixa fertilidade.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, T. H. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 98, n. 1, p. 285-293, 2003.
- ANDRADE, D. S.; COLOZZI FILHO, A.; BALOTA, E. L.; OLIVEIRA, E. Avaliações microbiológicas em solo submetido á aplicação de resíduos de suínos em diferentes sistemas de preparo. In: Fertbio 2002 - Agricultura: Bases ecológicas para o desenvolvimento sócio e econômico sustentado, Rio de Janeiro. **Resumos**. Rio de Janeiro: UFRRJ, 2002.
- ANÍBAL, F. **Sistema Faep**, 2021. Rede pesquisa erosão em todas as regiões do Paraná. Disponível em: <https://www.sistemafaep.org.br/rede-pesquisa-erosao-em-todas-as-regioes-do-parana/>. Acesso em: 04 jul. 2023.
- ASSMANN, T.S.; ASSMANN, J.M.; CASSOL, L.C.; DIEHL, R.C.; MANTELI, C.; MAGIERO, E.C. Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v.31, p. 1515-1523, 2007.
- BARBOSA, M.A. **Atributos microbiológicos do solo em sistemas de manejo de longa duração**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/127995/000849246.pdf?sequenc%20e=1>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- BARNABÉ, M.C.; ROSA, B.; LOPES, E.L.; ROCHA, G.P.; FREITAS, K.R.; PINHEIRO, E.P. Produção e composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu adubada com dejetos líquidos de suínos. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v.8, n.3, p.435-446, 2007.
- BARROS, E.C *et al.* Potencial agrônômico dos dejetos suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2019.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.
- BOSSCHE, V. A.; DE BOLLE, S.; DE NEVE, S.; HOFMAN, G. Effect of tillage intensity on N mineralization of different crop residues in a temperate climate. **Soil Tillage Res.**, 103:316-324, 2008.
- BROWN, M.S.; BETHLENFALVAY, G.J. Glycine-Glomus-Rhizobium symbiosis. VI. Photosynthesis in nodulated, mycorrhizal, or N- and P-fertilized soybean plants. **Plant Physiol.**, 85:120-123, 1987.
- BROOKES, D. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, v. 19, p. 269-279, 1995.

CABREIRA, M. A. F. **Levantamento de solos da universidade tecnológica federal do Paraná – Câmpus Dois vizinhos**. 2015. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Florestal)- Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2015.

CASALI, C.A *et al.* Efeito da cama de aviário e da adubação nitrogenada sobre a atividade microbiana do solo. **XXXV congresso brasileiro de ciência do solo**, 2015. Disponível em: <https://eventosolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/2609.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2023.

DANTAS, M.K.L. **Biomassa, atividade microbiana e produtividade de trigo e milho em solo com histórico de aplicação de fontes orgânicas e mineral**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5622/DANTAS%2c%20MAX%20KLEBER%20LAURENTINO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 jun. 2023.

DICK, R.P.; BREAKWELL, D.P. & TURCO, R.F. Soil enzyme activities and biodiversity as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J.W. & JONES, A.J. *Methods for assessing soil quality*. **Madison, Soil Science Society of America**, 1996. p.247-272.

DURIGON, R.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; PAVINATO, P. S. Produção de forragem em pastagem natural com o uso de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 26, p. 983-992, 2002.

ELLIS, J.R., Roder, W. & Mason, S.C 1992. Grain sorghum-soybean rotation and fertilization influence on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science Society of American Journal** **56**: p. 789-794.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. **Brasília**: EMBRAPA. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Tecnologia BioAs**: Tecnologia de bioanálise de solo Embrapa como a mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola. Brasília: Embrapa Cerrados, 2020. Folheto. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/6047/bioas- tecnologia-de-bioanalise-de-solo>. Acesso em: 10 nov. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Boas práticas agropecuárias aplicadas à produção de leite**. 2016. Disponível em <http://www.cnpqgl.embrapa.br/sistemaproducao/book/export/html/31> Acesso em: 25 mai. 2023.

FERNANDES, S.G. **Fertilidade do solo e atividade micorrízica em áreas de agricultores familiares no norte de minas gerais**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Montes claros, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-8MEGHZ/1/sueli.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2023.

FIORINI, B. **Sistema Faep**, 2022. Uso racional de dejetos na adubação gera economia. Disponível em: <https://www.sistemafaep.org.br/uso-racional-de-dejetos-na-adubacao-gera-economia/>. Acesso em: 04 jul. 2023.

GALVÁN, A.G. *et al.* . Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in onion roots from organic and conventional farming systems in the Netherlands. **Mycorrhiza**. V. 19, n.5, p. 317-328, jun. 2009. DOI: 10.1007/s00572-009-0237-2. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2687515/>. Acesso em: 22 mai. 2023.

GAMA-RODRIGUES, E., GAMA-RODRIGUES, A. C.; BARROS, N. F. Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, set. 1997. DOI: 10.1590/S0100-06831997000300002

GARCÍA-GIL, J. C.; PLAZA, C.; SOLER-ROVIRA, P.; PÓLO. A. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 32, p. 1907–1913, 2000.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. **Mycological Society**, v.46, p.235-46, 1963

GATIBONI, L. *et al.* Proposta de Limites Críticos Ambientais de Fósforo para Solos de Santa Catarina. – Boletim Técnico CAV/UEDESC, 2. Lages, 2014.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, fev. 2008.

GLIESSMAN, S.R.; WERNER, M.R.; SWEZEY, S.L.; CASWELL, E.; COCHRAN, J. & ROSADO-MAY, F. Conversion to organic strawberry management changes ecological processes. **California Agriculture** 50: v. 50, n. 1, p. 24-31, jan./fev. 1996. DOI: 10.3733/ca.v050n01p24. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271351635_Conversion_to_organic_strawberry_management_changes_ecological_processes. Acesso em 03 jul. 2023.

GRIFFITHS, B. S.; EHEATLEY, R. E.; OLESEN, T.; HENRIKSEN, K. EKELUND, F.; RONN, R. R. Dynamics of nematodes and protozoa following the experimental addition of cattle or pig slurry to soil. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 30, p. 1379-1387, 1998.

HAHN, L. **Processamento da cama de aviário e suas implicações nos agroecossistemas**. 2004.129f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

HWANG, S.F.; CHANG, K.F. & CHAKRAVARTY, P. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the development of Verticillium and Fusarium wilts of alfalfa. **Plant Dis.**, 76:239- 243, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção de Pecuária municipal 2020. p.12, 2020.

ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forestecosystem of Bangladesh. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v. 799-16, 2000.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolismo in soil. V. A method of measuring soil biomass. **Soil Bioly and Biochemistry**, v. 8, p 209-213, 1976.

KALAMULLA, R.; KARUNARATHNA, S.C; TIBPROMMA, S.; GALAPPATHTHI, M.C.A.; SUWANNARACH, N.; STEPHENSON, SL; ASAD, S.; SALEM, ZS; YAPA, N. Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Sustainable Agriculture. **Sustainability**, v.14, n.19, set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141912250>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/19/12250>. Acesso em: 05 mar. 2023.

LOPES, A. C. **Interpretação de indicadores microbiológicos em função da matéria orgânica do solo e dos rendimentos de soja e milho**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/11204/1/2012_%20Andr%C3%A9AlvesdeCastroLopes.pdf. Acesso em: 29 out. 2021.

LOURENTE, E. P. *et al.* Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.l.], v.41, n. 1, p. 20–28, 2011. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/pat/article/view/8459>. Acesso em: 02 nov. 2021.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste- MT. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.425-433, 2003.

MEDEIROS, T. L.; REZENDE, A. V.; VIEIRA, P. F.; CUNHA NETO, F. R.; VALERIANO, A. R.; CASALI, A. O.; GASTALDELLO JUNIOR, A. L. Produção e qualidade da forragem de capim-marandu fertirrigada om dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.38, n.2, p-309-318, 2007.

MELERO, S.; VANDERLINDENA, K.; RUIZA, J.C. & MADEJONB, E. Long-term effect on soil biochemical status of a Vertisol under conservation tillage system in semi-arid Mediterranean conditions. *Europ. J. Soil Biol.*, 44:437-442,2008.

MIRANDA, J. C. C. **Cerrado : micorriza arbuscular : ocorrência e manejo**. – 2. ed. – Brasília, DF: Embrapa, 2012. E-book. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/224042/1/CERRADO-Micorriza-arbuscular.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2023.

MIRANDA, J. C. C.; HARRIS, P. J. Effects of soil phosphorus on spore germination and hyphal growth of arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, Oxford, v. 128, p. 103- 108, 1994a.

MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA, L. N. A importância da micorriza arbuscular para o cultivo da soja na Região dos Cerrados. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002b. 4

p. (Embrapa Cerrados. Comunicado Técnico, 75).

MÜLLER, D. H.; CAMILI, É. C.; GUIMARÃES, S. C.; CAMPOS, D. T. S.; MARTINS, M. E.; BARROS, K. C. Biomassa e atividade microbiana de solo sob aplicação de resíduos orgânicos/Microbial biomass and activity of soil under application of organic waste. **Revista Internacional de Ciências**, vol. 4, n.2, p. 1+, jul./dez. 2014. DOI: [link.gale.com/apps/doc/A599403362/AONE?u=capes &sid=bookmarkAONE&xid=785a2647](http://link.gale.com/apps/doc/A599403362/AONE?u=capes&sid=bookmarkAONE&xid=785a2647). Acesso em: 8 dez. 2021.

MOREIRA, M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2 ed.Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

NOVAK, E. et al. Variação temporal dos atributos microbiológicos do solo sob diferentes usos. **Revista de Ciências Agrárias**, Dourados, v. 41, n. 03, p. 603-611, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA17300>. Acesso em: 08 out. 2021.

PLAZA, C., HERNÁNDEZ, D., GARCÍA-GIL, J. C. AND POLO, A. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 36, p. 1577-1585, 2004.

PERDOMO, C. C. Alternativas para o manejo e tratamento de dejetos suínos. **Suinocultura Industrial**, Itu, v.152, n. 23, p. 16-26, 2001.

PLENCHETTE, C., FORTIN, J.A. & FURLAN, V. Growth responses of several plants species to mycorrhizae in a soil of moderate P–fertility; mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant and Soil*:199–209, 1983

PRATES, C.J.N *et al.* Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares na cultura da mandioca em função do preparo de solo e da adubação. **Agroecossistemas**, v. 13, n. 1, p. 84 – 103, 2021.

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana do solo**. Planaltina –DF. Embrapa Cerrados - (Documentos/Embrapa Cerrados), p. 40, 2007.

ROLDÁN, A.; SALINAS-GARCIA, J.R.; ALGUACIL, M.M.; DÍAZ, E. & CARAVACA, F. Soil enzyme activities suggest advantages of conservation tillages practices in sorghum cultivation under subtropical conditions. **Geoderma**, 129:178-185, 2005.

SAKAMOTO, K.; OBA, Y. Effect of fungal to bacterial biomass ratio on the relationship between CO₂ evolution and total microbial biomass. **Biology and Fertility of Soils**, v. 17, p. 39-44, 1994.

SAMPAIO, D.B. et al. dos. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência Agrotécnica**, v.32, n.2, p.353-359, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000200001>. Acesso em: 18 mai. 2023.

SARATHCHANDRA, S.U.; PERROTT, K.W.; BOASE, M.R.; WALLER, J.E. Seasonal changes and the effects of fertiliser on some chemical, biochemical and microbiological

characteristics of high-producing pastoral soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 6, n. 4, p. 328 – 335, ago.1988. DOI: 10.1007/BF00261022. Disponível em: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0001064107&origin=inward&txGid=6acda0384817e0454c5c285253a72615>. Acesso em 10 mai. 2023.

SCHERER, E.E. Avaliação do esterco de aves e da uréia como fontes de nitrogênio para a cultura do milho. **Revista Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 8, n. 4, p. 15-18, 1995.

SEABRA, M. C. **Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais em Paraty, RJ**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Instituto de agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006. Disponível em: <https://floram.org/article/10.4322/floram.2012.058/pdf/floram-19-4431.pdf>. Acesso em: 01 out. 2021.

SIEVERDING, E. **Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems**. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, p. 1991- 371.

SILVA, R. C. S.; ALMEIDA, J. C. R.; BATISTA, G. T.; FORTES NETO, P. Os indicadores físicos, químicos e biológicos da qualidade do solo e da sustentabilidade dos ambientes naturais. **Repositório Eletrônico Ciências Agrárias, Coleção Ciências Ambientais**, <http://www.agro.unitau.br>. p. 1-13, 2011.

SIQUEIRA, J.O.1994. Micorrizas Arbusculares *In*:ARAÚJO, R.S.; HUNGRIA, M., eds. **Microorganismos de Importância Agrícola**. Araújo, R.S.; Hungria, M. Embrapa-SPI; Brasília, D.F. 151-194.

SOUZA, F. A.; SCHLEMPER, T. R.; STÜRMER, S. L. A importância da tecnologia de inoculação de fungos micorrízicos para a sustentabilidade na olericultura. *In*: Lopes, C.A; Pedroso, M.T M. **Sustentabilidade e horticultura no Brasil: da retórica à prática**. Brasília, DF : Embrapa, 2017. p. 223-252. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/162995/1/Importancia-tecnologia.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2023.

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C.; JENKINSON, D.S. Na extraction method for measuring soil microbial biomass C.**Soil Biology & Biochemistry, Netherlands**, v.36, p.703-707, mar. 1987.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Nitrogênio da biomassa microbiana, em solo sob diferentes sistemas de manejo, estimado por métodos de fumigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 411-417, 1998.

VIEIRA, F. M. C.; MACHADO, J. M. C.; VISMARA, E. de S.; POSSENTI, J. C. Distribuições de probabilidade para análise de frequência de chuva no sudoeste do Paraná. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 17, n. 2, p. 260-266, 2018. DOI:10.5965/223811711722018260. Disponível em: <https://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/9082>. Acesso em: 1 jul. 2023.

WEINÄRTNER, M. A.; ALDRIGHI, C. F. S.; MEDEIROS, C. A. B. Práticas Agroecológicas: Adubação Orgânica. Embrapa, Pelotas: SC, 2006. 10p.

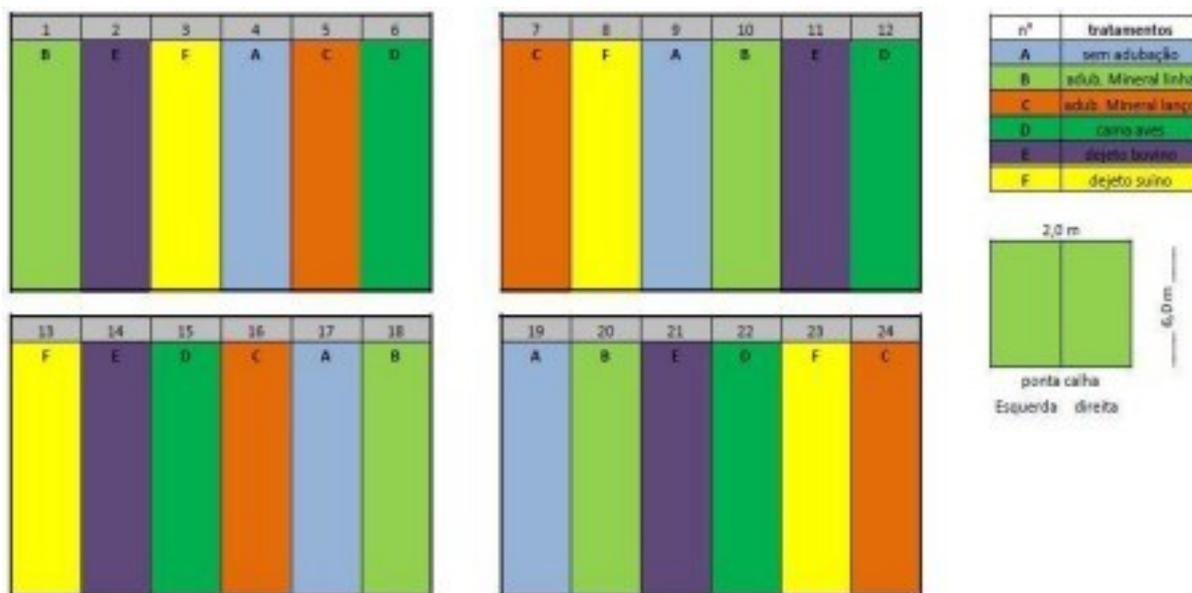
WUEST, S.B.; CAESAR-TONTHAT, T.C; WRIGTH, S.F.; WILLIAMS, J.D. Organic matter addition N, and residue burning effects on infiltration biological and physical properties of an intensively tilled silt-loam soil. **Soil and Tillage Research** **84**: v. 84, n. 2,p. 154-167, 2005. DOI: 10.1016/j.still.2004.11.008. Disponível em: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-ea452b65-e297-3911-9887-dbcae5e2101c>. Acesso em: 20 jun. 2023.

WRIGHT, S. **Glomalin, a manageable soil glue**. 2005. Disponível em: http://invam.caf.wvu.edu/methods/mycorrhizae/glomalin_brochure.pdf. . Acesso em: 16 abr. 2023.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Croqui do experimento

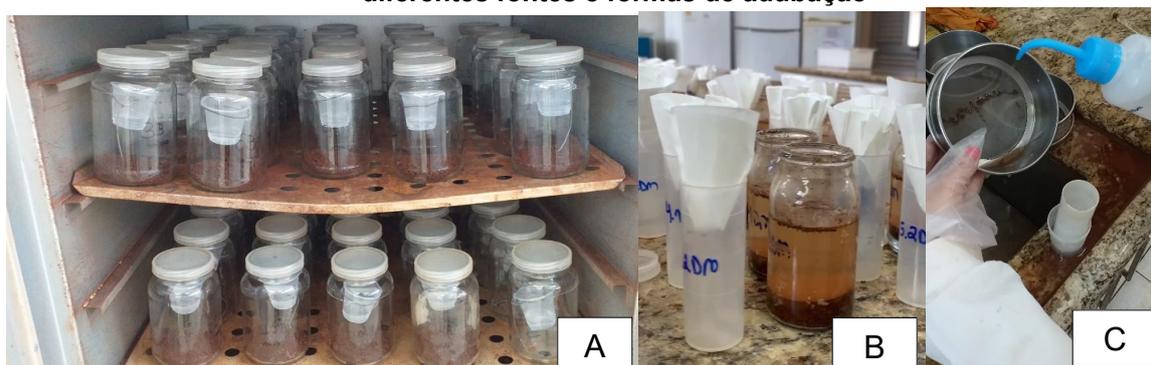
Figura 5 - Croqui da área experimental sob diferentes fontes e formas de adubação



Fonte: autoria própria (2021)

APÊNDICE B – Desenvolvimentos das análises microbiológicas do solo

Figura 6 - Desenvolvimentos das análises microbiológicas do solo dos tratamentos sob diferentes fontes e formas de adubação



Legenda: A. Análise de respirometria; B. Análise de C e N microbiano; C. Análise de extração de esporos de fungos micorrízicos arbusculares. Fonte: autoria própria (2022)