

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, ÁREA DE PRODUÇÃO**  
**VEGETAL – NÍVEL DOUTORADO**

**DANIELA DA ROCHA HERRMANN**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMA DE**  
**MANEJO ORGÂNICO E CONVENCIONAL COM SEMEADURA DIRETA**

**Marechal Cândido Rondon - Paraná**  
**2020**

**DANIELA DA ROCHA HERRMANN**

**ATRIBUTOS FÍSICOS E MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMA DE  
MANEJO ORGÂNICO E CONVENCIONAL COM SEMEADURA DIRETA**

Tese apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientadora: Profa. Dra. Edleusa Pereira Seidel

Coorientador: Prof. Dr. José Renato Stangarlin

**Marechal Cândido Rondon - Paraná  
2020**

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Herrmann, Daniela da Rocha

Atributos físicos e microbiológicos do solo em sistema de manejo orgânico e convencional com semeadura direta / Daniela da Rocha Herrmann; orientador(a), Edleusa Pereira Seidel; coorientador(a), José Renato Stangarlin, 2020.  
83 f.

Tese (doutorado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Graduação em Agronomia Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2020.

1. Manejo de solo. 2. Agricultura orgânica. 3. Microbiologia de solo. 4. Física do solo . I. Seidel, Edleusa Pereira. II. Stangarlin, José Renato. III. Título.



**unioeste**

**Universidade Estadual do Oeste do Paraná**

**Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46**

**Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>**

**Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000**

**Marechal Cândido Rondon - PR.**



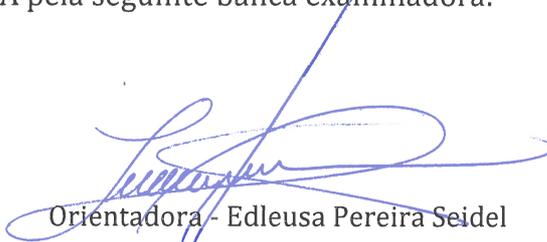
**PARANÁ**

GOVERNO DO ESTADO

**DANIELA DA ROCHA HERRMANN**

Atributos físicos e microbiológicos do solo em sistema de manejo orgânico e convencional com semeadura direta

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutora em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal Sustentáveis, APROVADA pela seguinte banca examinadora:



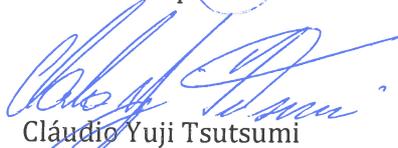
Orientadora - Edleusa Pereira Seidel

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)



José Renato Stangarlin

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)



Cláudio Yuji Tsutsumi

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)



Alberto Feiden

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)



Roberto Luis Portz

Universidade Federal do Paraná - Campus de Palotina (UFPR)

Marechal Cândido Rondon, 10 de fevereiro de 2020

*A minha mãe Marlene, aos meus irmãos Leniana, Cíntia, Camila, Luiz Henrique e Ana Luiza e a todos os seres que enchem de luz o planeta.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos,

A Deus, pela vida, pela oportunidade de evoluir a cada existência, pela fé que me faz continuar na caminhada pelo bem e acreditando que tudo sempre pode ser melhor para o coletivo.

Aos meus pais Marlene e Ademir por me receberem como filha e se dedicarem a mim, cada um à sua melhor maneira.

A minha mãe Marlene, mulher linda e guerreira que nunca mediu esforços para que eu e meus irmão seguíssemos nossos objetivos. Agradeço cada gesto de carinho e incentivo, você é muito especial e agradeço a Deus todos os dias por ter você como mãe. Amor infinito!

Aos meus irmãos Leniana, Cíntia, Camila, Luiz Henrique e Ana Luiza, admiro vocês, cada um na sua forma de ser, e me sinto tão grata por ter vocês que me faltam palavras pra descrever meu sentimento, certamente as pessoas que trazem a graça pra minha vida e me ensinam todos os dias a ser melhor, em vocês tenho meu porto seguro. Amo todos do fundo do meu coração!

Ao meu companheiro Guilherme Bazarin, companheiro de vida, de coletas de solo, de análises de laboratório, de madrugadas de estudo, meu amor e amigo que enxuga minhas lágrimas nos momentos de desespero e não me deixa desistir. Me auxilia de todas as formas, aguenta minhas chatices, me apoia nos meus projetos malucos, me incentiva a seguir em frente e a confiar mais em mim. Sou muito grata por tê-lo em minha vida. Você faz toda a diferença nos meus dias e os torna muito mais engraçados e felizes. Te amo e admiro!

Ao meu padrasto Mário, por sempre me incentivar a seguir com os estudos, me auxiliar e apoiar de diversas maneiras da melhor forma que pode.

A minha grande família (Rocha e Herrmann), pelos aprendizados. Em especial aos meus sobrinhos Luiz Otávio, Benjamin e Davi Arthur, crianças lindas e amadas que alegam o meu viver. Ao meu primo Bernardo, pela amizade, pelas conversas e incentivo. Ao meu primo Fábio (in memoriam) que sempre amou a terra e a natureza e quando soube da minha escolha profissional me incentivou e apoiou. A minha tia Elsi que sempre me incentiva e acolhe com muito carinho. Ao meu avô Israel que aos seus 87 anos ainda cuida da terra, ama as plantas e a vida, você é inspiração. Amo

todos vocês e sou grata por fazer parte de uma família de pessoas generosas, que se preocupam com a natureza e com o bem-estar de todos.

A minha melhor amiga e irmã de coração Ana Paula Leonel, muito obrigada por todos os momentos. Você sempre me incentivou a seguir nessa caminhada acadêmica, e como boa amiga que és, está sempre presente me ajudando. Laboratório, coleta, escrita, congresso, aula, eventos, tudo sempre é muito melhor quando você está por perto. E ainda me deu um dos maiores presentes que é a Antônia. Admiro a tua força e bondade, que mesmo com dificuldades, encontra motivos para sorrir e seguir sempre no caminho do bem e pensando em tornar este mundo melhor.

A minha amiga Amanda C.Favorito, pessoa linda e amável que me incentiva e auxilia. Foram muitas coletas de solo, muitas horas de laboratório tanto de análises quanto de estudos (nossa segunda casa). Muito obrigada por todo apoio que a mim dedica, por torcer por mim, e me animar quando me sinto triste. Te admiro pela pessoa e pela profissional que você é, tenho certeza que logo será você a estar escrevendo os agradecimentos da tua tese e eu estarei por perto te auxiliando.

Aos amigos queridos Angélica de Siqueira, Rafael Krupiniski e Adriana Maria de Grandi que acompanham minha jornada, me incentivam, me animam, me trazem palavras de conforto e momentos de felicidade. Vocês são pessoas lindas que levo em meu coração. Amo vocês!

A minha orientadora Edleusa Pereira Seidel, pela sensatez admirável em lidar com tudo, pela forma de ensinar e participar conosco no dia a dia do laboratório, você nos motiva a continuar e nos mostra que existem pessoas maravilhosas que buscam o bem-estar de todos. Sou muito grata por todo auxílio que me deu desde o início dessa caminha, por me incentivar e apoiar quando resolvi fazer outra graduação e pela sensibilidade em compreender quando eu não estava bem e precisava de palavras de conforto e incentivo. Gratidão por encarar essa jornada de aprendizado sobre a microbiologia do solo junto comigo e me orientar da melhor forma! Te admiro muito!

Ao meu coorientador José Renato Stangarlin, pela sua forma sutil e serena de me questionar e me fazer pensar de forma mais profunda na microbiologia. Gratidão professor pelos ensinamentos e pela paciência, admiro sua forma de ensinar e sua leveza na forma de ser.

Aos amigos e parceiros do laboratório de física do solo e do grupo de estudo em solos e agroecologia (GESA), Marcos C. Mottin, Renan Pan, Henrique M. Thomé,

Luane O. Ribeiro, Alexandra S. Martinez, Letícia Ertel, Lucas Mendes, Jandre Stein, Paula. Bejola, Wesler Meiners, Amanda Favorito e Victória.T. Mazureck. Em especial as minhas amigas lindas Victória e Amanda pelos momentos de estudo e descontração, ao Renan e ao Henrique que se tornaram além de colegas de laboratórios amigos muito queridos e ao amigo e colega de turma Marcos, que me auxiliou nos perrengues estatísticos. Gratidão a todos e gratidão a professora Edleusa por tornar este laboratório um lugar que além do aprendizado nos traz aconchego e alegria.

Aos os colegas de turma, em especial as minhas amigas Mayra Abade e Maria Eunice Rocha, pelos muitos momentos de estudos, coletas e todo auxílio, admiro vocês guerreiras. Ao amigo Claudécir Castilho Martins, pelas tantas coletas de solo, análises de laboratório, muitos momentos de estudo e boas conversas. As colegas Tauane Brito e Leidiane Carvalho, pelos momentos de estudos e descontração. Gratidão a todos pelo companheirismo (pensando agora percebo por quanta coisa passamos juntos).

Aos profissionais que me auxiliaram muito ao longo desta jornada, minha psicóloga Jussara Henn que me faz perceber a vida de forma mais leve. Ao meu fisioterapeuta Gilberto Betel Oswald que sempre generosamente me auxilia e atende, além de sempre me incentivar e acreditar que tudo irá ficar melhor. Ao amigo e homeopata Vandeílson Almeida, pessoa de incrível generosidade e boa conversa. Gratidão por me ouvirem e minimizarem minhas dores do corpo e da alma!

Ao Grupo Cobalfi, por me receberem nos laboratórios de Fitopatologia e Nematologia de forma carinhosa. Em especial a querida Marta Bianchini, pelo auxílio e boas conversas. Aos professores José Renato e Odair José Kuhn pelos conselhos técnicos, aos colegas e Taís Kohler, Luana Rinaldi, Nicanor Henkemeier e Jeferson Carvalho e as estagiárias Tulya Webler e Bruna Grespan pela amizade e auxílio.

Ao Jucenei Fernando Frandoloso, pelas constantes ajudas, conselhos, e boas músicas (rock and roll) durante as análises no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas.

Ao Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Agronomia (PPGA) da UNIOESTE de Marechal Cândido Rondon, pela oportunidade de realização deste curso. A todos os professores do PPGA pelos ensinamentos.

Ao Grupo de agroecologia, que tornou possível este trabalho a campo, em especial aos professores Emerson Fey, Vanda Pietrowski, Edleusa Pereira Seidel e

aos técnicos de campo Patrícia Favorito e Dércio Pereira que conduzem a área experimental da melhor maneira possível. Gratidão pelos ensinamentos e todo auxílio dedicados a agroecologia e a mim.

Ao professor Cláudio Yuji Tsutsumi, que participa de mais uma etapa da minha caminhada acadêmica. Foi um dos professores do primeiro projeto que participei após a minha formação em biologia, projeto Rede Oeste de Sementes Crioulas e Agroecologia, e junto com o professor Wilson Zonin (coordenador do projeto), me proporcionaram a oportunidade de ingressar nas ciências agrárias e assim pude perceber o quanto esta área me encanta. Me auxiliou na dissertação e foi minha banca de mestrado e agora de forma generosa me auxiliou novamente nas análises estatísticas e em tudo que precisei. Gratidão professor, saiba que além de admirá-lo como pessoa o considero um querido amigo, sentirei falta das nossas conversas das infinitas idas a Cascavel.

A professora Rosilaine Carrenho e a colega bióloga Heloísa Krizyzanski da Universidade Estadual de Maringá, pelo aprendizado e auxílio nas realizações das análises de glomalina e na identificação dos esporos dos fungos micorrízicos arbusculares. Profissionais excelentes e éticas sem as quais essas análises não teriam sido possíveis.

A secretária do PPGA da UNIOESTE, Leila Dirlene Allievi Werlang pelo comprometimento, atenção e auxílio.

Agradeço a Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de auxílio ao estudo.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Esta conquista não seria possível sem a participação de vocês.

**Gratidão**

*“A natureza, em seus caprichos e mistérios,  
condensa em pequenas coisas o poder de dirigir as  
grandes; nas sutis, a potência de dominar as mais  
grosseiras; nas coisas simples, a capacidade de  
reger as complexas”*

*“O segredo da vida é o solo, porque do solo  
dependem as plantas, à água, o clima e nossa vida.  
Tudo está interligado. Não existe ser humano sadio  
se o solo não for sadio.”*

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	7
<b>2 CAPÍTULO 1: ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMA DE MANEJO ORGÂNICO E CONVENCIONAL COM SEMEADURA DIRETA</b> .....	10
<b>RESUMO</b> .....	10
<b>ABSTRACT</b> .....	11
2.1 <b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
2.2 <b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	13
<b>2.2.1 Caracterização da Área de Estudo</b> .....	13
<b>2.2.2 Delineamento Experimental</b> .....	14
<b>2.2.3 Descrição da Unidade Experimental</b> .....	15
<b>2.2.4 Análises Microbiológicas do Solo</b> .....	17
2.2.4.1 <b>Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e Carbono Orgânico Total (COT)</b> .....	17
2.2.4.2 <b>Quociente Microbiano</b> .....	18
2.2.4.3 <b>Respiração Microbiana</b> .....	18
<b>2.2.5 Análises Estatísticas</b> .....	18
2.3 <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	19
<b>2.3.1 Carbono Orgânico Total (COT)</b> .....	19
<b>2.3.2 Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)</b> .....	23
<b>2.3.3 Quociente Microbiano (qMic)</b> .....	26
<b>2.3.4 Respiração Microbiana (C-CO<sub>2</sub>)</b> .....	29
2.4 <b>CONCLUSÃO</b> .....	32
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	33
<b>3 CAPÍTULO 2: ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E GLOMALINA EM SISTEMA DE MANEJO ORGÂNICO E CONVENCIONAL COM SEMEADURA DIRETA</b> .....	37
<b>RESUMO</b> .....	37
<b>ABSTRACT</b> .....	38

3.1 INTRODUÇÃO .....	39
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
<b>3.2.1 Localização, Clima e Solo</b> .....	40
<b>3.2.2 Caracterização da Área de Estudos e Histórico de Uso dos Sistemas Avaliados</b> .....	41
<b>3.2.3 Coletas de Amostras de Solo</b> .....	44
<b>3.2.4 Delineamento Experimental</b> .....	44
<b>3.2.5 Análises do Solo</b> .....	45
3.2.5.1 Umidade do Solo .....	45
3.2.5.2 Avaliações Químicas .....	45
3.2.5.3 Estabilidade de Agregados.....	45
3.2.5.4 Porosidade Total, Macroporosidade, Microporosidade e Densidade do Solo .....	46
3.2.5.5 Resistência do Solo à Penetração .....	46
3.2.5.4 Proteína do Solo Relacionada à Glomalina.....	46
<b>3.2.6 Análise dos Dados</b> .....	47
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	47
<b>3.3.1 Estabilidade de Agregados</b> .....	47
<b>3.3.2 Porosidade Total, Macroporosidade, Microporosidade, Densidade do Solo e Resistência do Solo à Penetração</b> .....	54
<b>3.3.3 Proteína do Solo Relacionada à Glomalina</b> .....	59
3.4 CONCLUSÕES .....	65
REFERÊNCIAS.....	66
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	73

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A região oeste do Paraná é predominantemente agrícola, e os sistemas de produção altamente tecnificados, com altos índices de mecanização, são predominantes juntamente com a agricultura intensiva (PARANÁ, 2014). Esta exploração agrícola ocorre porque os Latossolos, que são o tipo de solo predominante na região, são profundos, intemperizados, geralmente muito porosos, permeáveis e com boa drenagem, e apesar de terem baixa fertilidade natural, são facilmente corrigidos se tornando altamente férteis e ideais para o cultivo (SANTOS et al., 2018).

Com a crescente demanda na produção de alimentos, os recursos naturais têm sido explorados além da sua capacidade produtiva. Esta intensidade aliada ao uso de técnicas agrícolas não conservacionistas tem afetado a qualidade dos solos e dos processos que ocorrem nos diferentes agrossistemas.

Inicialmente os solos do Paraná eram predominantemente cobertos pela mata atlântica, caracterizada pela riqueza biológica e um conjunto de ecossistemas com grande riqueza de biodiversidade. A substituição desse ecossistema nativo de ampla complexidade pela agricultura intensiva, ocasiona a perda dessa proteção contínua do solo devido à cobertura vegetal permanente, e perde-se o benefício da ciclagem de nutrientes por meio dos seus resíduos. A ampla diversidade de microrganismos que são favoráveis à estabilidade da produção agrícola e do sistema é prejudicada e a consequência é um solo em desequilíbrio.

O solo é um recurso natural vivo e dinâmico que condiciona e ampara a produção de alimentos, devendo regular o balanço global do ecossistema. Qualquer modificação neste balanço pode alterar diretamente sua estrutura e ou fertilidade (CARNEIRO et al., 2009), podendo resultar em prejuízos para o solo e para as culturas.

Com a evolução dos sistemas produtivos observa-se uma interferência antrópica que leva a degradações ambientais, com destaque para os solos. Em solos agrícolas, o manejo adotado nas práticas de cultivo é o principal fator a ser considerado quando se busca uma agricultura que mantenha o equilíbrio do sistema, uma vez que o modo de produção interfere significativamente, afetando o funcionamento, qualidade e sustentabilidade do solo. Os manejos agrícolas conservacionistas tem o objetivo de diminuir a degradação do solo, aumentar a

produtividade de forma sustentável e reverter os processos de degradação (BALOTA, 2017).

Um dos grandes incentivos dos manejos conservacionistas nas áreas de produção é a manutenção e aumento da produção de palha por meio de rotação de culturas, plantas de cobertura e consórcios, objetivando a produção de biomassa para cobertura do solo (BORGES et al., 2014). A manutenção de resíduos culturais sobre o solo pode contribuir para a manutenção da qualidade física, química e biológica deste. A palhada incrementa os teores de água no solo e a sua manutenção a reduz as restrições do solo às plantas (BLAINSKI et al., 2012); além da ciclagem de nutrientes (SANTOS et al., 2012). Seu uso pode ser uma alternativa pra diminuir a utilização de fertilizantes e os custos com irrigação (TORRES et al., 2015).

Outro fator a ser considerado quando se deseja manter a sustentabilidade dos solos é a sua mobilização. A maneira como o preparo do solo é realizado interfere no grau de mobilização deste e na forma de disposição dos resíduos vegetais sob o solo, interferindo diretamente nas suas propriedades físicas e biológicas (DADALTO et al., 2015).

A agricultura intensiva acelera a degradação dos solos pelo aumento dos processos erosivos, pela diminuição dos teores de carbono e da atividade e diversidade biológica, conseqüentemente, ocorrem perdas na produção agrícola e na sustentabilidade do agrossistema (FAVARATO et al., 2015).

Em solos tropicais, o manejo mais utilizado para reduzir o processo de degradação do solo causada pelo manejo convencional é o sistema de plantio direto (SPD). Mediante a eliminação das operações de revolvimento do solo, este sistema possibilita a permanente cobertura sobre ele, mantendo os atributos físicos adequados para o desenvolvimento das plantas. Também há implementação de práticas de rotação e/ou consorciação de culturas, buscando a diversificação de espécies. No decorrer do tempo com o uso do SPD, há redução da erosão (ALMEIDA et al., 2016), e aumento dos teores de carbono orgânico do solo (ROSSET et al., 2016).

Este sistema foi um dos grandes avanços do sistema produtivo brasileiro e tem sido uma ferramenta conservacionista com inúmeros benefícios aos atributos de qualidade do solo (ZIECH et al., 2015). Entretanto, neste sistema há dependência do uso de herbicidas para controle de plantas invasoras.

Apesar dos benefícios do SPD, suas práticas não têm sido realizadas em sua totalidade. Inicia-se o problema com a falta de rotação de culturas, e em seu lugar tem-se a sucessão das culturas de soja (verão) e milho (inverno). Há períodos em que o solo fica exposto ou a palhada que fica sobre ele não é suficiente para fazer uma cobertura eficiente. A falta de diversidade de espécies e de cobertura vegetal no solo tem como consequência erosão, pragas, doenças e a degradação do solo (CHERUBIN et al., 2015; BALOTA, 2017). Com isso há maior necessidade de uso de inseticidas, fungicidas e herbicidas. Em determinadas situações é necessário o retorno ao manejo com preparo periódico do solo, motivado por problemas relacionados à compactação. A compactação é ocasionada pela ausência de revolvimento combinada com o tráfego de máquinas em condições de umidade do solo inadequadas (DRESCHER et al., 2011), e pelo uso de cultivos com baixa produção de biomassa vegetal para cobertura do solo (WOLSCHICK et al., 2016). Observa-se que estes resultados são decorrentes de um SPD que não é realizado em sua totalidade, sendo muitas vezes um sistema convencional com semeadura direta.

Em contraponto aos sistemas convencional e de plantio direto tem-se o sistema de produção orgânica, no qual se adotam técnicas específicas, que tem por objetivo a sustentabilidade econômica e ecológica, a maximização dos benefícios sociais e a minimização da dependência de energia não-renovável. Na agricultura orgânica, sempre que possível, empregam-se métodos culturais, biológicos e mecânicos, em contraposição ao uso de materiais sintéticos; há a eliminação do uso de organismos geneticamente modificados, e a proteção do meio ambiente é uma premissa em qualquer fase do processo de produção, processamento, armazenamento, distribuição e comercialização (BRASIL, 2011).

Mediante os variados tipos de manejo e processos que ocorrem no solo é essencial o entendimento da sua qualidade para auxiliar na tomada de decisão que garanta a sustentabilidade nos diferentes agrossistemas.

A qualidade do solo é um dos fatores principais de garantia da sustentabilidade dos sistemas produtivos agrícolas. De acordo com Karlen et al. (1997), a qualidade do solo pode ser conceituada como a capacidade que um determinado tipo de solo apresenta, em ecossistemas naturais ou agrícolas, para desempenhar uma ou mais funções relacionadas à sustentação da atividade, da produtividade e da diversidade biológica. Além disso, à manutenção da qualidade do

ambiente, à promoção da saúde das plantas e dos animais e à sustentação de estruturas socioeconômicas e de habitação humana.

Na visão agrônômica a qualidade do solo pode ser entendida como sua capacidade produtiva de forma sustentável, ou com a manutenção das características desejáveis do solo. Considera-se que a qualidade do solo pode ser avaliada segundo a sua capacidade em suprir nutrientes para as plantas, suportar o crescimento e desenvolvimento de raízes, proporcionar uma adequada atividade biológica estabilidade estrutural, resistir a erosão e reter água para as plantas (CASALINHO et al., 2007).

Para a avaliação da qualidade do solo, a maioria dos estudos tem empregado métodos quantitativos, tanto físicos, quanto químicos e biológicos, pois em conjunto estes atributos apresentam alterações em decorrência do manejo do solo e das variações de tempo e espaço. Porém, esta quantificação da qualidade é bastante complexa, pois estes fatores trabalham de forma simultânea dificultando o entendimento (DORAN; SAFLEY, 1997; BALOTA et al., 2013; BALOTA, 2017).

Por conseguinte, a qualidade do solo pode ser avaliada por meio de indicadores ou atributos que evidenciem as alterações nos componentes e nas suas funções, podendo refletir sua condição de sustentabilidade. Os indicadores devem ser sensíveis aos distúrbios causados pelas práticas de manejo, serem aplicáveis em diferentes escalas, serem bem correlacionados com as funções desempenhadas pelo solo, serem capazes de elucidar os processos do ecossistema, serem compreensíveis, e preferencialmente, de fácil avaliação (BALOTA et al., 2013).

A qualidade dos atributos físicos afeta diretamente o espaço poroso do solo, sendo a estrutura do solo um dos indicadores mais importantes para o desenvolvimento das plantas e para a atividade de organismos (MOTA; FREIRE; ASSIS JÚNIOR, 2013). A estrutura do solo pode ser avaliada por meio da densidade, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência à penetração e infiltração da água no solo. Estes atributos físicos são os mais utilizados como indicadores por estarem sujeitos às maiores alterações, em função dos sistemas de manejo (STEFANOSKI et al., 2013).

Os métodos químicos dizem respeito a fertilidade, que é a capacidade que o solo tem de ceder elementos essenciais às plantas. Considerando que o solo é a base para produção, é necessário adotar práticas de manejo que conservem e/ou restaurem sua fertilidade. Devido a sua importância as características químicas do

solo apresentam-se como um indicador funcional global, pois sintetizam o processo de decomposição e mineralização da matéria orgânica. A matéria orgânica se destaca entre os indicadores químicos do solo porque além da sua influência nos principais processos químicos, físicos e biológicos, o seu conteúdo de carbono orgânico determina em grande parte a produtividade das culturas, e é um componente muito influenciado pelo sistema de manejo praticado (VEZANNI et al., 2008).

Os atributos biológicos constituem a fração viva da matéria orgânica e estão intimamente ligados ao funcionamento e a qualidade do solo (MENDES et al., 2009). Os indicadores microbianos regulam diversos processos no solo e expressam de forma mais rápida as mudanças provenientes do manejo do solo em relação aos atributos físicos e químicos sendo excelentes indicadores da qualidade do solo. Dentre os parâmetros microbiológicos mais usados e que apresentam maior sensibilidade para a avaliação do solo estão: carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>), quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>), quociente microbiano (qMIC), atividade enzimática, análise da diversidade microbiana, grupos de microrganismos benéficos (fixadores biológicos de N<sub>2</sub>, fungos micorrízicos, e outros) e a fauna do solo (TÓTOLA; CHAER 2002).

A partir do exposto, esse trabalho desenvolvido na Estação Experimental Professor Alcibíades Luiz Orlando, localizada no município de Entre Rios do Oeste, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), em parceria com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), teve como hipótese: Os sistemas de manejo orgânico e convencional com semeadura direta influenciam a qualidade dos atributos físicos e microbiológicos do solo de acordo com o tempo de implantação do manejo orgânico, do preparo e da cobertura de solo. Para avaliar essa hipótese, a tese foi dividida em dois capítulos com diferentes objetivos:

Capítulo I intitulado “Atributos microbiológicos do solo em sistema de manejo orgânico e convencional com semeadura direta”, que teve como objetivo: avaliar áreas com manejo agrícola orgânico e convencional com semeadura direta, em diferentes épocas, utilizando parâmetros microbiológicos de qualidade do solo.

Capítulo II intitulado “Atributos físicos do solo e glomalina em sistema de manejo orgânico e convencional com semeadura direta”, que teve como objetivo: avaliar áreas agrícolas submetidas a sistemas de manejo orgânico e convencional

com semeadura direta, utilizando a estabilidade de agregados, os atributos físicos e a glomalina como parâmetros de qualidade do solo.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, W. S. de; CARVALHO, D. F. de; PANACHUKI, E.; VALIM, W. C.; RODRIGUES, S. A.; VARELLA, C. A. A. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1110–1119, 2016.
- BALOTA, É. L. **Manejo e Qualidade Biológica do Solo**. Londrina: Editora Mecnas, 2017.
- BALOTA, É. L.; NOGUEIRA, M. A.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; FAGOTTI, D. S. L.; MELO, G. M. P.; MELO, R. C. S.; MELO, W. J. de. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 8, p. 221–278, 2013.
- BLAINSKI, É.; TORMENA, C. A.; GUIMARÃES, R. M. L.; NANNI, M. R. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 79–87, 2012.
- BORGES, W. L. B.; FREITAS, R. S.; MATEUS, G. P.; SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Supressão de plantas daninhas utilizando plantas de cobertura do solo. **Planta Daninha**, v. 32, n. 4, p. 755–763, 2014.
- BRASIL. **Instrução Normativa nº 46**, de 6 de outubro de 2011. Lei nº 10831, de 23 de dezembro de 2003. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 06 Outubro. 2011. Seção 1, p. 8.a 203, 2011. Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/legislacao/portugues/i\\_nstrucao-normativa-no-46-de-06-de-outubro-de-2011-producao-vegetal-e-animal-regulada-pela-in-17-2014.pdf/view](http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/legislacao/portugues/i_nstrucao-normativa-no-46-de-06-de-outubro-de-2011-producao-vegetal-e-animal-regulada-pela-in-17-2014.pdf/view), acesso em dezembro 2018.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D. de; REIS, E. F. dos; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. de. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147–157, 2009.
- CASALINHO, H. D.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B. da; LOPES, Â. D. S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista brasileira de agrocienca**, v. 13, n. 2, p. 195–203, 2007.
- CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; SILVA, R. F. DA; SILVA, V. R. DA; BASSO, C. J. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 615–625, 2015.
- DADALTO, J. P.; FERENADES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A.T. de. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 35, n. 3, p. 506–5013, 2015.
- DORAN, J. W.; SAFLEY, M. Defining and Assessing Soil Health and Sustainable

Productivity. In: PANKHURST, C.; DOUBE B.M. **Biological Indicators of Soil Health**. New York: CABI, 1997, cap. 1, p. 1-28.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1713–1722, 2011.

FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L. de; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, C. M de; GUARÇONI, R. C. Atributos químicos do solo com diferentes plantas de cobertura em sistema de plantio direto e orgânico. **Revista brasileira de agropecuária sustentável**, v. 5, n. 2, p. 19–28, 2015.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E.; Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, p. 4–10, 1997.

MENDES, I. de C.; HUNGRIA, M. .; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. É. Bioindicadores para Avaliação da Qualidade dos Solos Tropicais: utopia ou realidade? Planaltina -DF: Embrapa Cerrados, 2009. (**Documentos, 246**) 32 p.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1196–1206, 2013.

PARANÁ, Uso agropecuário in: **Uso e Ocupação do Solo**. Cascavel: Itaipu Binacional, 2014, p 27-47.

ROSSET, J. S.; LANA, M. DO C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1529–1538, 2016.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em Latossolo do Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 16 n.11, p. 1171–1178, 2012.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ARAÚJO FILHO, J. C. OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2018.

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, n. 12, p. 1301–1309, 2013.

TORRES, J. L.; ARAÚJO, A. S.; BARRETO, A. C.; SILVA NETO, O. F.; SILVA, V. R.; VIEIRA, D. M. Desenvolvimento e produtividade de couve-flor e repolho influenciados por tipos de cobertura do solo. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 4, p. 510–514, 2015.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. . Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo**, n. 2, p. 195–276, 2002.

VEZZANI, F.M.; COONCEIÇÃO, P.C.; MELLO,N.A.; DIECKOW J. Matéria Orgânica e Qualidade do Solo. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L. S. DA; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metropole, 2008, p 483-493.

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; SANTOS, K. F. DOS; WERNER, R. de S.; BAGIO, B. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 134–143, 2016.

ZIECH, A. R. D.; CONCEIÇÃO, P. C.; LUCHESE, A. V.; BALIN, N. M.; CANDIOTTO, G.; GARMUS, T. G. Proteção do solo por plantas de cobertura de ciclo hiberna na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 374–382, 2015.

## 2 CAPÍTULO 1: ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO EM SISTEMA DE MANEJO ORGÂNICO E CONVENCIONAL COM SEMEADURA DIRETA

### RESUMO

Herrmann, Daniela da Rocha, D. S. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2020. **Atributos microbiológicos do solo em sistema de manejo orgânico e convencional com semeadura direta.** Orientadora: Edleusa Pereira Seidel. Coorientador: José Renato Stangarlin.

O objetivo deste trabalho foi avaliar no tempo, áreas com manejos agrícolas orgânico e convencional com semeadura direta, utilizando parâmetros microbiológicos de qualidade do solo. O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho Eutroférico, no período de março de 2017 a março de 2018. O delineamento inteiramente casualizado constituiu-se de um fatorial 6 x 5, sendo o primeiro fator seis tempos de implantação do sistema orgânico (6, 4, 3, 2, 1 e 0 anos), e o segundo fator as épocas de coleta de solo (0, 90, 180, 270 e 360 dias), com quatro repetições em cada tratamento. As amostras foram coletadas na profundidade de 0 a 0,10 m das quais foram quantificados o carbono orgânico total (COT), o carbono da biomassa microbiana (CBM), o quociente microbiano (qMic) e o CO<sub>2</sub> da respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>). Os maiores valores encontrados para COT, CBM e qMic foram na área caracterizada pela semeadura direta e no tempo de implantação de 1 ano, que também não recebeu preparo de solo durante o experimento. Para o C-CO<sub>2</sub> os maiores valores encontrados foram nos tempos de 6 e 2 anos, sendo este um atributo que pode indicar maior degradação do solo. De maneira geral, os atributos microbiológicos utilizados neste estudo demonstraram que o solo com manejo orgânico e com revolvimento tem aumentado a degradação da matéria orgânica, diminuindo desta forma, as quantidades de COT, CBM e qMic. A partir deste estudo observa-se que a qualidade do solo foi afetada de forma negativa nos sistemas que tiveram revolvimento do solo para controle de plantas espontâneas.

**Palavras-chave:** biomassa microbiana, respiração microbiana, preparo do solo.

## ABSTRACT

Herrmann, Daniela da Rocha, D. S. State University of Western Parana, in February 2020. **Microbiological attributes of soil in organic and conventional management systems with direct seeding**. Advisor: Edleusa Pereira Seidel. Co-advisor: José Renato Stangarlin.

The objective of this study was to evaluate in the time, areas with organic and conventional no-tillage agricultural managements, using microbiological parameters of soil quality. The experiment was conducted in an Oxisoil, from March 2017 to March 2018. The completely randomized design consisted of a factorial 6 x 5, in which the first factor were six implantation times of the organic system (6, 4, 3, 2, 1 and 0 years), and the second factor were soil collection times (0, 90, 180, 270 and 360 days), with four replications in each treatment. The samples were collected at a depth of 0 to 0.10 m from which were quantified: the total organic carbon (TOC), microbial carbon biomass (MCB), microbial quotient (qMic) and CO<sub>2</sub> from microbial respiration (C-CO<sub>2</sub>). The highest values found for TOC, MCB and qMic were in the area characterized by direct sowing and at 1 year of the implantation time, which also has not received soil preparation during the experiment. For C-CO<sub>2</sub>, the highest values were found at 6 and 2 years, being this an attribute that may indicate greater soil degradation. In general, the microbiological attributes used in this study demonstrated that the soil with organic and tillage management increased the degradation of organic matter, thus reducing the amounts of TOC, MCB and qMic. From this study it is observed that the soil quality is negatively affected by it's tillage to control weed plants.

**Keywords:** microbial biomass, microbial respiration, soil prepare.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Ao cultivar o solo para finalidades agrícolas sempre ocorrerá alterações em sua composição natural. Portanto, o sistema de manejo adotado é o fator primordial a ser considerado quando se deseja uma produção agrícola sustentável. As práticas de manejo como preparo do solo, rotação, adubação e manutenção da cultura interferem significativamente nas propriedades e na manutenção de sua qualidade e, conseqüentemente, no crescimento e produtividade das plantas (GOVAERTS et al., 2007; BALOTA ; CHAVES, 2010).

Os resíduos vegetais que entram no solo, a sua sazonalidade e distribuição espacial, os insumos e mudanças nos tipos de nutrientes também são afetados com o sistema de manejo adotado e, conseqüentemente os microrganismos e seus processos (GOVAERTS et al., 2007). A quantidade e composição da fauna e flora do solo, incluindo organismos benéficos e pragas são dependentes dos resíduos deixados no solo (BOCKUS; SHROYER, 1998).

As comunidades microbianas do solo ocupam um lugar central nos ecossistemas terrestres (BARDGETT et al., 2008). Estas comunidade são responsáveis por inúmeros processos; como a decomposição de resíduos, ciclagem de nutrientes, síntese de substâncias húmicas, agregação e degradação de compostos xenobióticos, nutrição de plantas ou supressão de doenças (DICK et al., 1996) e são sensíveis às práticas de manejo adotadas (KASCHUK et al., 2011).

Além disso, os microrganismos podem indicar problemas ou melhorias no ambiente edáfico previamente aos indicadores físicos e químicos, possibilitando a escolha do melhor sistema de manejo do solo e permitindo a viabilidade econômica e ambiental da atividade agropecuária; por estas razões são considerados bons indicadores de qualidade do solo (SILVA et al., 2015).

O carbono da biomassa microbiana e a respiração microbiana medida através da liberação do CO<sub>2</sub> do solo estão entre os principais indicadores microbiológicos utilizados para avaliar a qualidade do solo (ARAÚJO et al., 2012; KHEYRODIN et al., 2012; BALOTA et al., 2014). Da mesma forma, o carbono presente no solo é de fundamental importância e está diretamente relacionado com os demais indicadores microbianos, físicos e químicos.

O monitoramento da comunidade biológica pode servir como critério para detectar impactos oriundos do manejo, sendo possível observar alterações na qualidade do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

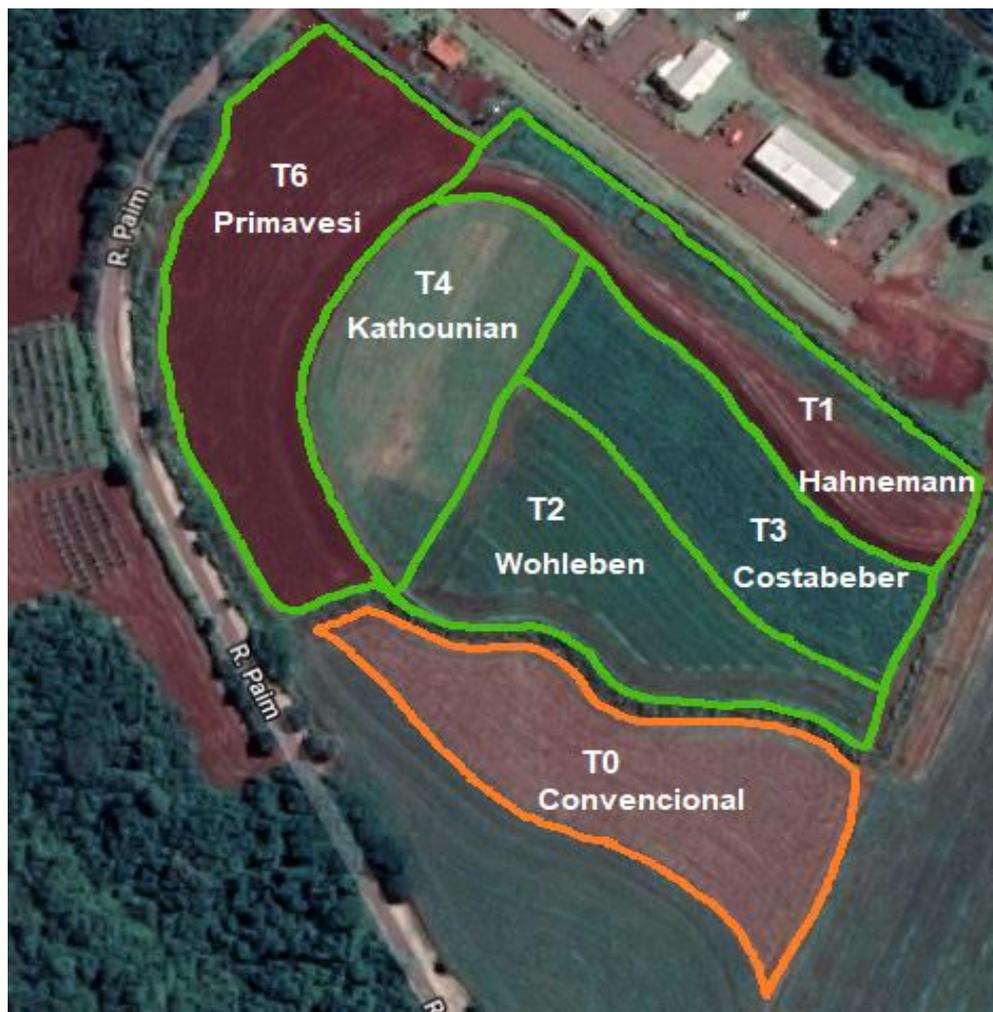
O objetivo deste estudo foi avaliar áreas com manejo agrícolas orgânico e convencional com semeadura direta, em diferentes épocas, utilizando parâmetros microbiológicos de qualidade do solo.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Caracterização da Área de Estudo

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Professor Alcibiades Luiz Orlando, localizada no município de Entre Rios do Oeste, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná campus de Marechal Cândido Rondon – PR. As coordenadas geográficas são 54°01'45" e 24° 31'42" S, com altitude média de 420 metros e declividade média de 4%.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, mesotérmico, subtropical úmido. A média anual de temperatura do ar se encontra na faixa de 22 a 23 °C e da umidade relativa do ar entre 70% e 75%. Os totais anuais de precipitação pluvial variam entre 1600 e 1800 mm e de evapotranspiração de referência na faixa de 1000 a 1100 mm anual (NITSCHKE et al., 2019). O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (LVef) de textura muito argilosa (SANTOS et al., 2018). A área de cultivo utilizada é dividida em talhões, cada talhão tem um nome dado pelo grupo de agroecologia da Unioeste, para facilitar as discussões e manejos a serem realizados (Figura 1).



**Figura 1** - Mapa da Estação Experimental Professor Alcebíades Luiz Orlando e seus talhões agroecológicos. Entre Rios do Oeste- PR. Coordenadas: 54°01' e 24° 31' S.

### 2.2.2 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (6 x 5), com quatro repetições. O primeiro fator consistiu em seis tempos de implantação do sistema orgânico: 6, 4, 3, 2, 1 e 0 anos, o tempo zero foi considerado a testemunha, cuja área vem sendo cultivada convencionalmente e com manejo de solo em semeadura direta (SD). O segundo fator foram as épocas de coleta de solo (0, 90, 180, 270 e 360 dias). Cada talhão foi dividido em quatro glebas, que constituíram as repetições. Em cada gleba foram coletas quatro amostras simples de solo compondo uma composta.

### 2.2.3 Descrição da Unidade Experimental

O histórico geral das áreas a respeito do manejo realizado em cada talhão, entre março de 2017 a março de 2018 está apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Histórico e descrição de uso dos talhões de estudo (tratamentos).

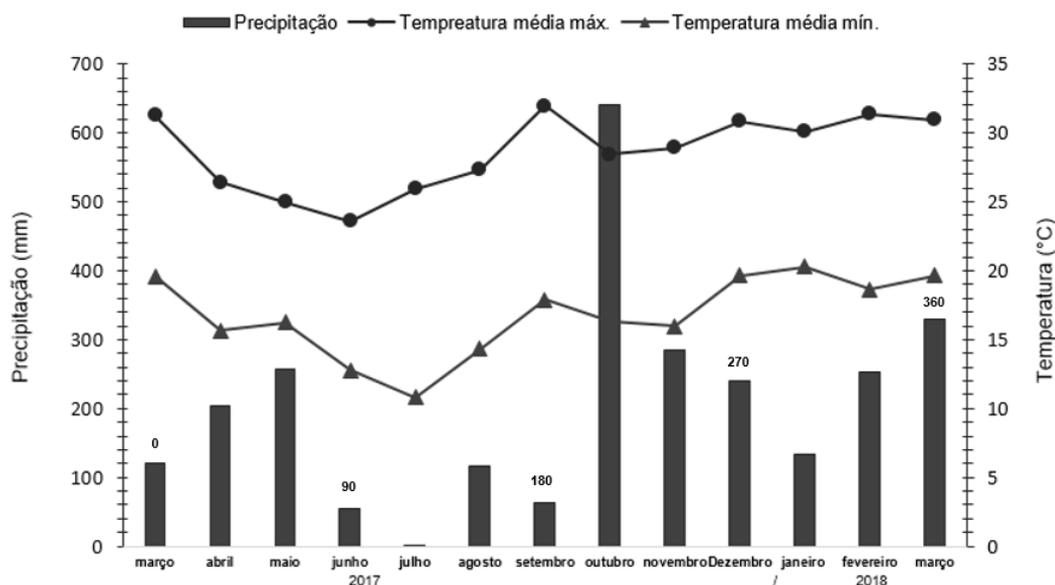
<b>Talhão</b>	<b>Histórico e descrição da área</b>
<b>T6 (Primavesi)</b>	Manejo orgânico há 6 anos. Talhão com problemas constantes de plantas espontâneas. Foi realizado preparo de solo em março 2017 com grade niveladora.
<b>T4 (Kathounian)</b>	Manejo orgânico há 4 anos. Foi realizado preparo com grade niveladora em outubro de 2016 e novamente com grade niveladora (2x) em fevereiro de 2018.
<b>T3 (Costabeber)</b>	Manejo orgânico há 3 anos. Este talhão em vários momentos durante o experimento ficou sem cobertura de solo por má germinação de sementes e foi observada invasão constante de plantas espontâneas. Foi realizado preparo com grade niveladora em outubro de 2016, subsolagem, e duas gradagens em maio de 2017.
<b>T2 (Wohlleben)</b>	Manejo orgânico há 2 anos. Talhão com problemas semelhantes ao T3. Foi realizado preparo com subsolador, e duas gradagens em maio de 2017.
<b>T1 (Hanemann)</b>	Manejo orgânico há 1 ano. Talhão com cultivo de adubação verde. Não houve revolvimento do solo durante o período do experimento.
<b>T0 (Convencional SD)</b>	Manejo convencional com semeadura direta há 10 anos. Talhão segue sucessão com soja no verão e milho safrinha ou trigo no inverno.

Durante o experimento, cada talhão recebeu diferentes manejos e culturas. A escolha de cada cultura a ser semeada em cada talhão obedeceu a um sistema de rotação de culturas definido pelo Plano de Manejo da área experimental agroecológica. As culturas presentes em cada talhão nos momentos das amostragens são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Descrição das rotações de culturas nos talhões de estudo por época de amostragem.

Coleta(dia)	mês	Cobertura vegetal por talhão no momento das coletas					
		T0	T1	T2	T3	T4	T6
0	março	milho (início)	feijão + adubos verdes	milho (final)	área descoberta muitas plantas espontâneas	lab-lab (rolado)	área descoberta (pós soja)
90	junho	milho (final)	feijão comum + área descoberta (recém colhida).	área descoberta (revolvimento de solo)	área descoberta (revolvimento de solo)	trigo	nabo forrageiro + aveia que não germinou (muitas plantas espontâneas)
180	set.	soja (início)	lab lab/ aveia/feijão	triticale/aveia	centeio/aveia	feijão	soja (início)
270	dez.	milho (início)	crotalária/ mandioca	soja	soja	feijão	milho
360	março	milho (final)	crotalária/ guandu/ mandioca	área descoberta	área descoberta	milho (início)	milho (final)

Na Figura 2 são apresentados os dados meteorológicos de precipitação pluvial, temperatura média mínima e máxima de Entre Rios do Oeste, referentes ao período de março de 2017 a março de 2018. Os dados foram fornecidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar), provenientes da estação meteorológica automática localizada no município de Santa Helena.



**Figura 2** – Temperaturas média (máxima e mínima) mensal (°C), precipitação pluvial (mm). Os dias em que foram realizadas as coletas no período de março 2017 a março 2018 estão indicados. Entre Rios do Oeste, Paraná.  
Fonte: Simepar

## 2.2.4 Análises Microbiológicas do Solo

### 2.2.4.1 Carbono da Biomassa Microbiana (CBM) e Carbono Orgânico Total (COT)

A coleta de solo para determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM) e carbono orgânico total (COT) foi realizada na camada de 0 a 0,10 m. Em seguida as amostras foram secas ao ar, peneiradas (malha de 2,0 mm) e armazenadas a 4 °C. A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico secando as amostras em estufa a 105 °C até peso constante.

Para a determinação do carbono da biomassa microbiana foi utilizado o método de fumigação-extração modificado de Vance et al. (1987). Para cada amostra, realizaram-se triplicatas analíticas fumigadas e não fumigadas de 20 g. A fumigação foi realizada com 1 mL de clorofórmio ( $\text{CHCl}_3$ ) isento de álcool e incubadas por 24 h, para posterior extração do carbono. As amostras foram agitadas por 30 min em agitador orbital a 220 rpm e após 30 min de decantação o sobrenadante foi filtrado (papel filtro qualitativo 80 g) e o extrato de cada subamostra foi obtido. Para a determinação do carbono (C) foram utilizados 8 mL do extrato, onde foram adicionados 2 mL de solução de dicromato de potássio ( $0,066 \text{ mol L}^{-1}$ ), 10 mL de ácido sulfúrico, 5 mL de ácido ortofosfórico, 50 mL de água deionizada e adicionadas 2 gotas

de difelilamina como indicador. Para a titulação foi utilizada solução de sulfato ferroso amoniacal ( $0,033 \text{ mol L}^{-1}$ ).

O carbono da biomassa microbiana foi calculado pela diferença entre o C contido nas amostras fumigadas (F) e amostras não fumigadas (NF), utilizando o fator de correção ( $K_c=0,33$ ) de acordo com Sparling e West (1988). Os dados de carbono da biomassa microbiana foram expressos em  $\text{mg C kg}^{-1}$  solo.

O teor de carbono orgânico total foi determinado por oxidação úmida com dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), sob aquecimento externo, e subsequente titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal ( $0,20 \text{ mol L}^{-1}$ ) e solução de ferroin como indicador, conforme metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988).

#### 2.2.4.2 Quociente Microbiano

Os índices da qualidade nutricional da matéria orgânica foram expressos pelo quociente microbiano, definido pela relação entre o CBM e o COT do solo (SPARLING, 1992).

#### 2.2.4.3 Respiração Microbiana

Em cada talhão foram instaladas oito câmaras fechadas (campânulas plásticas de 4 L), no qual o fluxo de  $\text{CO}_2$  foi medido por absorção alcalina (200 mL de NaOH 1M). As campânulas foram mantidas a campo pelo período de 48 h e, posteriormente, os frascos com NaOH foram removidos, fechados hermeticamente e levados ao laboratório para que o  $\text{CO}_2$  total absorvido fosse imediatamente medido por contratitulação com HCl 1M, após a precipitação do carbonato com  $\text{BaCl}_2$  (30%), usando-se fenolftaleína como indicador (COLEMAN, 1973).

#### 2.2.5 Análises Estatísticas

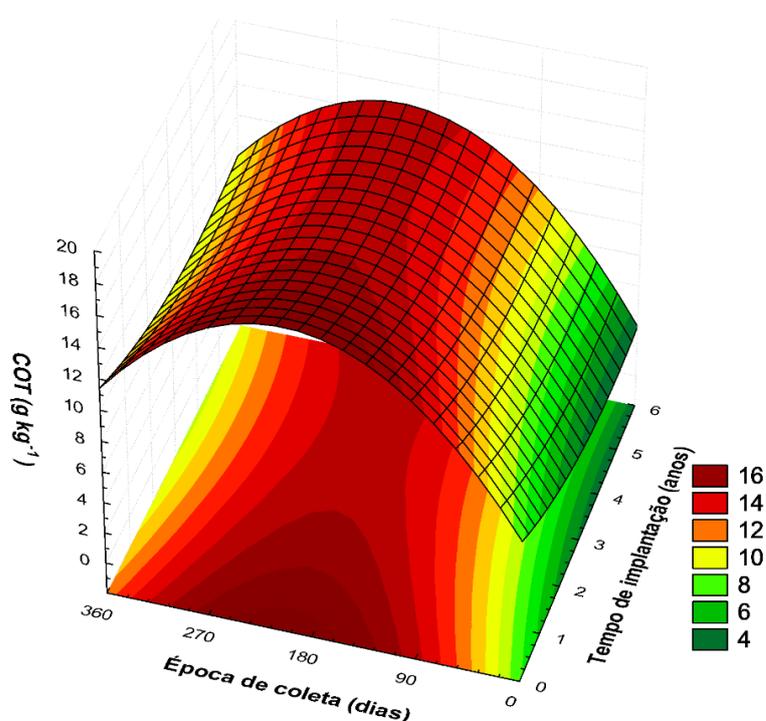
Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade. Foi aplicado análise de variância (ANOVA) com nível de significância a 5% de probabilidade de erro. O teste de Tukey foi realizado para os parâmetros e para interação, também a 5% de probabilidade. Quando houve significância para a interação utilizou-se superfície de

resposta, e quando houve efeito isolado utilizou-se regressão. Para a visualização do efeito das variáveis independentes nas respostas avaliadas foram construídos gráficos de superfície de resposta. A análise estatística foi realizada com o auxílio do programa computacional SAS® *University Edition* (SAS INSTITUTE INC, 2014).

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 2.3.1 Carbono Orgânico Total (COT)

Na análise estatística do COT houve interação entre as épocas de coleta e o tempo de implantação do sistema orgânico. Desta forma, o comportamento do COT foi estabelecido em função destes fatores, sendo esta relação do tipo quadrática. O valor do COT com o tempo de implantação e a época de coleta foi de  $5,0341 - 0,000250y$ ; ou seja, para cada ano de implantação do manejo orgânico o teor de carbono orgânico reduz em  $0,000250 \text{ g kg}^{-1}$  de solo (Figura 3).



**Figura 3** - Superfície de resposta do carbono orgânico total (COT) ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em solo com diferentes tempos de implantação do manejo orgânico (0, 1, 2, 3, 4 e 6 anos) e épocas de coleta (0, 90, 180, 270 e 360 dias), representado pela equação  $\text{COT} = 7,2153 - 1,6089x + 0,1026y + 0,1598x^2 + 0,0008xy - 0,0003y^2$  e  $R^2=0,65$ .

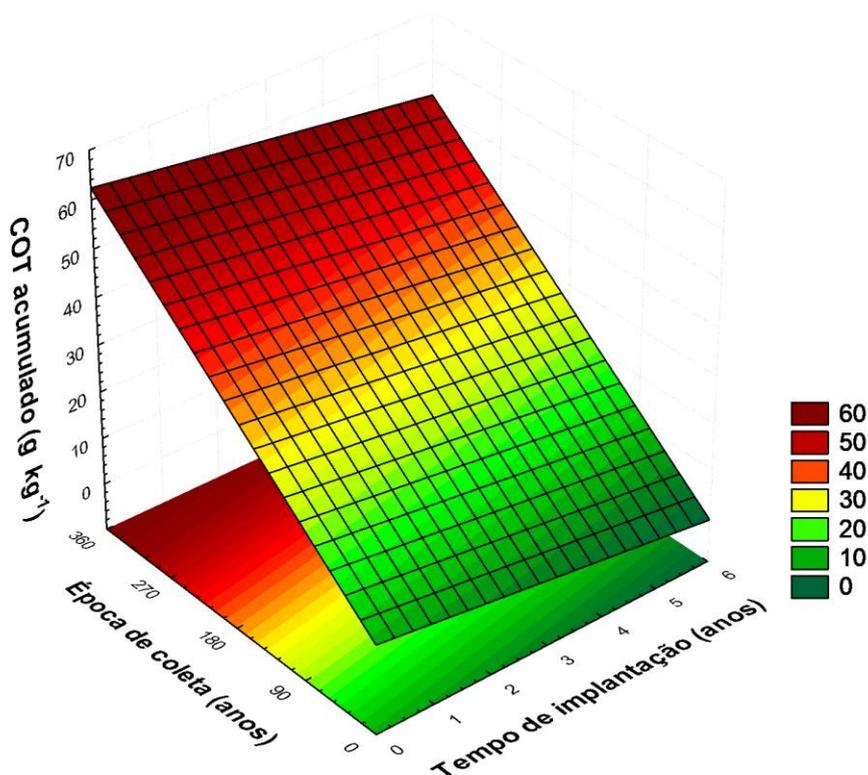
O valor médio de COT na primeira coleta (março/2017) foi de 6,25 g kg<sup>-1</sup> de solo, aumentou para 17,29 g kg<sup>-1</sup> aos 270 dias (dezembro/2017) e reduziu para 8,26 g kg<sup>-1</sup> aos 360 dias (março/2018). Esta variação no decorrer do tempo é compreendida, pois a adição e decomposição da matéria orgânica do solo depende das condições climáticas, das estações do ano (primavera, verão, outono, inverno), do manejo do solo e das espécies cultivadas.

Conforme apresentado na Tabela 2, no mês de dezembro, quando se observou o maior teor médio de COT, as áreas estavam com cobertura vegetal, e a temperatura e precipitação eram elevadas (Figura 2). Estas condições climáticas, independente da espécie de cobertura vegetal do solo, favoreceram a decomposição dos restos culturais anteriores e, conseqüentemente, aumentaram os teores de COT. Nas coletas realizadas em março (0 e 360 dias), parte dos talhões se encontravam sem culturas ou com o milho no final do ciclo, ou seja, com baixo aporte de resíduos orgânicos. Quando o aporte dos resíduos vegetais não é suficiente para aumentar os estoques de carbono há uma diminuição constante do COT (SILVA et al., 2015).

Os valor médio observado de COT foi de 10,6 g kg<sup>-1</sup> de solo, sendo inferior ao relatado por Carneiro et al. (2009) em estudo no Cerrado Goiano em Latossolo Vermelho com diferentes manejos. Segundo os autores, a área com pastagem e plantio convencional apresentou valor médio de 34 g kg<sup>-1</sup> e as áreas com SPD de nabo e sorgo o COT foi em média de 30,8 g kg<sup>-1</sup> de solo.

Loss et al. (2015) ao estudarem uma área agroecológica com seis meses de implantação, com diferentes coberturas de inverno precedendo a safra de cebola, e uma área de sistema plantio convencional (SPC) de cebola há 37 anos, tendo uma área de mata com 30 anos utilizada como referência, relataram que os valores de COT foram superiores na mata (52,83 g kg<sup>-1</sup> de solo), não diferiram entre as diferentes culturas de inverno (média 30,24 g kg<sup>-1</sup>), e foram inferiores no SPC (18,23 g kg<sup>-1</sup>), na primeira camada do solo.

Ao analisar o COT acumulado entre a primeira e a última coleta nos diferentes tempos de implantação (Figura 4), observou-se que houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) tanto entre as épocas de coleta quanto entre os tempos de implantação. As contribuições de cada época de coleta no acumulo final de COT foram de 6,25 g kg<sup>-1</sup> de solo na primeira coleta aos 0 dias (março/2017), 8,79 g kg<sup>-1</sup> aos 90 dias (junho/2017), 15,80 g kg<sup>-1</sup> aos 180 dias (setembro/2017), 17,30 g kg<sup>-1</sup> aos 270 dias (dezembro/2017) e 8,27 g kg<sup>-1</sup> aos 360 dias (março/2018).



**Figura 4** – Carbono orgânico total (COT) ( $\text{g kg}^{-1}$ ) acumulado no tempo (360 dias) em solo com diferentes tempos de implantação, representado pela equação  $\text{COTac} = 9,0439 - 1,6453x + 0,1482y$  e  $R^2 = 0,96$ .

A diferença encontrada para os teores de COT acumulado entre as épocas de coleta foi influenciada pela umidade e temperatura. Estes fatores determinam a velocidade dos processos edáficos de decomposição, e conseqüentemente regulam a entrada e saída do carbono do solo. Outro fator que interfere diretamente na decomposição e perda do COT é a movimentação do solo. Houve revolvimento do solo nos meses de março e maio de 2017, e fevereiro e março de 2018 nos talhões orgânicos, sendo estes os meses que antecederam as amostragens de solo com os menores acúmulos de COT (Tabela 1). O revolvimento do solo proporciona elevação da taxa de mineralização da matéria orgânica do solo (MOS), reduzindo seus teores (FAVARATO et al., 2015).

A cobertura do solo também exerce influência significativa nos teores de COT. Os menores acúmulos de COT foram registrados nos meses em que vários talhões estavam sem cobertura. Os teores de COT, são dependentes dos substratos orgânicos deixados no solo pelas culturas; sem cobertura vegetal no solo houve uma degradação maior do COT, reduzindo seus valores.

Em relação as diferenças entre os tempos de implantação do manejo orgânico, o talhão convencional com semeadura direta (T0), apresentou o maior teor de COT acumulado ( $65,7 \text{ g kg}^{-1}$ ). Enquanto os menores valores foram observados nos talhões com maior tempo de implantação (T6 e T4), com  $53,50$  e  $44,49 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente.

O maior COT acumulado na área convencional (T0) foi em decorrência do sistema de preparo do solo, pois a há dez anos é feita semeadura direta neste talhão. Na semeadura direta há manutenção dos resíduos culturais na superfície, o que proporciona decomposição gradual e acúmulo do material orgânico no perfil do solo (FRANZLUEBBERS et al., 2007). Quando a matéria orgânica se associa com a fração mineral do solo há maior estabilidade e proporciona aumento dos estoques de C no solo (SALTON et al., 2008).

Os menores teores de COT na área com 6 anos de implantação do manejo orgânico (T6), e na área com 4 anos (T4) pode ser explicado pelo preparo do solo adotado nestes talhões. Nos talhões orgânicos o preparo do solo foi realizado com grade niveladora, devido a necessidade de controlar a vegetação espontânea. Com a movimentação do solo há maior aeração, e aumento da atividade microbiológica, o que favoreceu a decomposição da (MOS). Além disso, no revolvimento do solo a MOS protegida nos agregados fica exposta, aumentando sua degradação (CAMPOS et al., 2013).

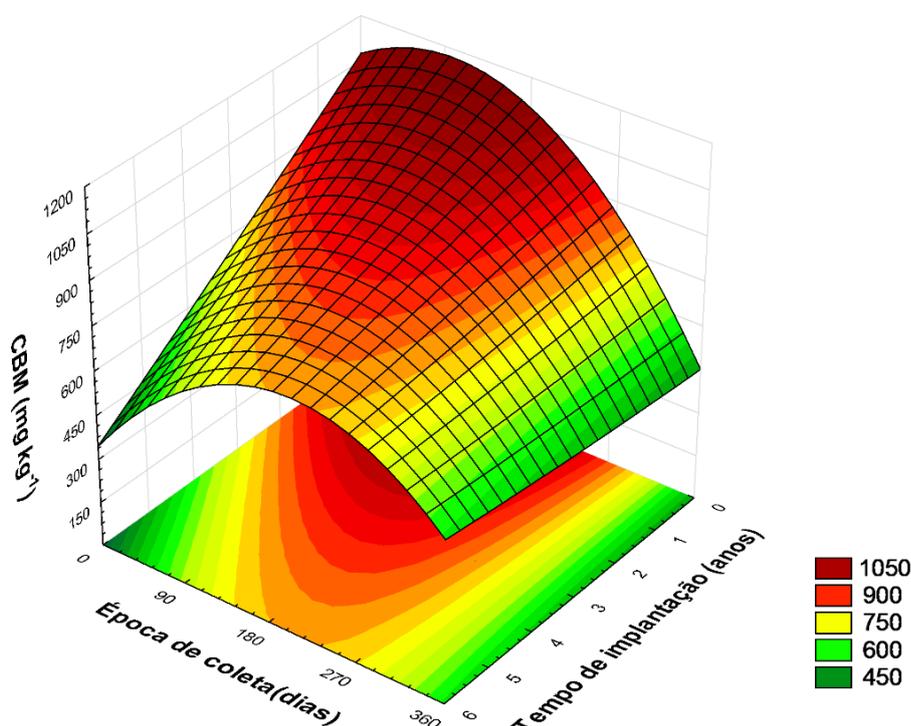
A redução nos teores de COT observada nas áreas com maior tempo de implantação pode afetar a qualidade do solo. Isto ocorre porque o COT auxilia na ativação de diversos processos químicos, físicos e biológicos no solo; manifestando-se em algumas propriedades do solo como: maior resistência à erosão, taxa de infiltração, retenção de água no solo, capacidade de retenção de cátions, e ciclagem de nutrientes. Portanto, maior teor de COT possibilita maior fertilidade, e resistência a perturbações, e confere maior resiliência do solo melhorando sua qualidade (CERRI et al., 2003; CONCEIÇÃO et al., 2005).

A influência do sistema de manejo no teor de COT do solo foi analisada em um trabalho realizado por Campos et al. (2013). Os autores avaliaram os manejos de solo nos sistemas de plantio convencional (SPC) e plantio direto (SPD), com diferentes tempos de implantação, tendo o cerrado nativo (CN) como referência. O COT foi superior no CN e inferior para o SPC e SPD com 3 anos de implantação. Demonstrando assim, que apenas a partir do quinto ano de implantação do SPD

ocorre uma recuperação do COT. Neste estudo observaram também que os maiores teores de carbono orgânico total e nitrogênio total no perfil do solo no SPD estão relacionados com a maior estabilidade das frações húmicas e menor grau de mineralização da matéria orgânica do solo.

### 2.3.2 Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)

O comportamento dos teores de CBM nas épocas de coleta e nos tempos de implantação do manejo orgânico são apresentados na Figura 5. Foi observada interação entre os fatores, e houve redução dos teores de CBM entre a primeira e última coleta. A relação do CBM com o tempo de implantação foi de  $76,0915 - 0,2313y \text{ mg kg}^{-1}$ ; ou seja, para cada ano de implantação o carbono da biomassa microbiana está reduzindo em  $0,2313 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo.



**Figura 5** - Carbono da biomassa microbiana (CBM) ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em solo com diferentes tempos de implantação (0, 1, 2, 3, 4 e 6 anos) e épocas de coleta (0, 90, 180, 270 e 360 dias), representado pela equação  $\text{CBM} = 1074,3585 - 126,0612x + 2,0283y + 0,8319x^2 + 0,3849xy - 0,0104y^2$  e  $R^2 = 0,30$ .

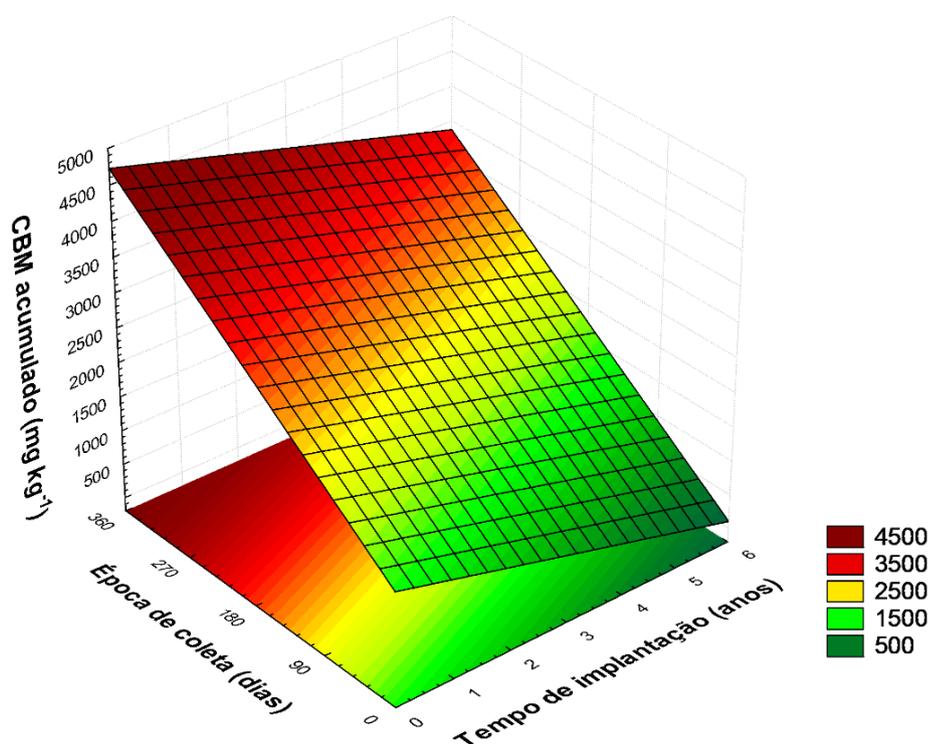
O CBM variou durante as épocas de coletas (Figura 5). Este atributo depende da quantidade, do tipo e do tempo em que a biomassa vegetal está aportada no solo. No início da decomposição, há tendência de maior imobilização de nutrientes na própria biomassa microbiana, pois a quantidade de nutrientes disponíveis no resíduo não é adequada em quantidade para a microbiota heterotrófica, o que implica imobilização e diminuição da disponibilidade de alguns nutrientes para as culturas (TEIXEIRA et al., 2009). Assim, aumentos na biomassa microbiana são condicionantes de um incremento na ciclagem de nutrientes no solo provenientes da fitomassa. Após a decomposição da fitomassa, os nutrientes são liberados para o solo e a própria biomassa microbiana constitui-se em uma reserva lábil de nutrientes, pois devido ao baixo tempo de vida dos microrganismos estes rapidamente liberam os nutrientes para o solo (CARNEIRO et al., 2008).

O CBM é sensível a alterações decorrentes da adição e do tipo de resíduo adicionado ao solo. Belo et al. (2012) constataram em experimento realizado em Latossolo Vermelho cultivado com várias espécies de gramíneas e leguminosas, que o CBM variou de acordo com o resíduo vegetal, sendo os maiores valores observados quando foi utilizado cana-de-açúcar, braquiária e feijão-de-porco, com valores médios de 245,42 mg kg<sup>-1</sup> de solo, e os menores valores encontrados no feijão guandu com 89,18 mg kg<sup>-1</sup> de solo e nas testemunhas (sem adição de resíduos) onde o CBM foi de 81,9 mg kg<sup>-1</sup> de solo.

O trabalho de Silva et al. (2015) também sugere que os teores de CBM são muito variáveis, pois estão diretamente ligados às condições climáticas, manejo, fertilidade do solo e as espécies cultiváveis. Em experimento com a aplicações sucessivas de dejetos de suíno, estes autores encontraram valores que variaram de 37,3 a 92,8 mg kg<sup>-1</sup> de solo, dentro de cada época de coleta (agosto e novembro) e diferiram estatisticamente entre si. A introdução de práticas agrícolas em ecossistemas naturais normalmente reduzem o CBM (KASCHUK et al., 2011). O CBM também pode ser influenciado por fatores como umidade do solo e aeração.

Segundo Moreira e Siqueira (2006), a fração viva do carbono do solo não ultrapassa 5% do carbono total, e destes 5% os microrganismos correspondem a no máximo 3% dos materiais orgânicos do solo. Entretanto, no presente estudo foram encontrados valores superiores a estes, com média de 5,6% de CBM em relação ao COT.

O teor acumulado de CBM (Figura 6), apresentou comportamento semelhante ao COT acumulado (Figura 4). Os maiores valores foram 4.898,3 mg kg<sup>-1</sup> para área convencional com SD (T0) e para o primeiro ano de implantação do manejo orgânico (T1) com 4.468,2 mg kg<sup>-1</sup> que não diferiram entre si, mas que foram estatisticamente superiores ao da área com maior tempo de implantação (T6), que apresentou valor 2877,3 mg kg<sup>-1</sup>. O CBM acumulado teve comportamento linear e houve um acúmulo diário de aproximadamente 9,0 mg kg<sup>-1</sup> de solo durante o experimento.



**Figura 6** - Carbono da biomassa microbiana (CBM) (mg kg<sup>-1</sup>) acumulado no tempo (360 dias) em solo com diferentes tempos de implantação para o manejo orgânico (0, 1, 2, 3, 4 e 6 anos), representado pela equação  $CBM_{ac} = 1463,5239 - 226,2677x + 9,0626y$  e  $R^2=0,83$ .

O revolvimento do solo durante as atividades agrícolas provocou diminuição na quantidade de carbono orgânico no solo e, conseqüentemente, do carbono da biomassa microbiana, devido ao dano direto às células dos microrganismos e pela exposição do solo. No cultivo convencional com SD (T0) a deposição de resíduos vegetais em cobertura favoreceu o aumento do CBM em superfície, em decorrência dos maiores valores de COT (Figura 2). Dessa forma, com a utilização do manejo

conservacionista da semeadura direta foi possível aumentar e/ou conservar a biomassa microbiana, o que também foi observado por Matias et al. (2009).

O CBM representa a fração viva do COT do solo, sendo considerado um indicador sensível da qualidade do solo, por ser facilmente alterado através da ação antrópica e pelas diferentes estratégias de uso do solo (KASCHUK et al., 2011).

A alteração no valor do CBM com diferentes cultivos é apresentada no trabalho de Kuwano et al. (2014). De acordo com os autores o maior valor de CBM foi encontrado no solo sob floresta nativa ( $1.264 \text{ mg kg}^{-1}$ ), seguida por floresta secundária ( $959 \text{ mg kg}^{-1}$ ), pessegueiro ( $669 \text{ mg kg}^{-1}$ ) e centeio ( $635 \text{ mg kg}^{-1}$ ). Eles também constataram que mesmo depois de duas décadas sem interferência antrópica no solo da floresta secundária, o CBM não foi restabelecido para os níveis encontrados na mata nativa. Resultado semelhante foi observado por Carneiro et al. (2009), que constatou redução de CBM em solos sob diferentes manejos, em comparação com uma área nativa. O tipo de uso do solo leva à seleção de grupos microbianos mais adaptados (ANDERSON e DOMSCH., 1993), e acaba diminuindo o CBM (CARNEIRO et al., 2009).

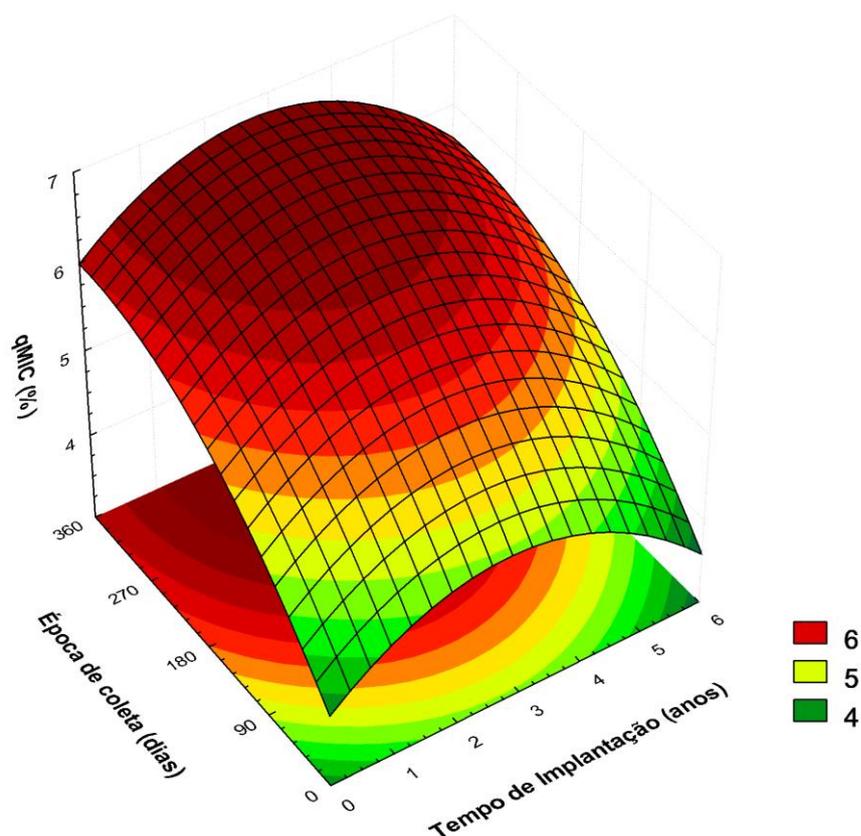
Ao analisar as diferentes épocas de coleta do CBM acumulado, constatou-se diferenças significativas. As variações de temperatura e umidade podem influenciar as quantidades de CBM (CARVALHO et al., 2012), o que pode ter afetado os níveis de CMB no presente trabalho, pois, durante o período do experimento a temperatura teve variação de  $23^{\circ}\text{C}$  e os índices pluviométricos de 640 mm entre as menores e maiores médias observadas (Figura 2).

Além disso, no inverno o solo da maioria dos talhões encontrava-se com cobertura vegetal, como aveia, nabo, milho e crotalária. As diferentes plantas de cobertura em cada época de coleta também influenciaram nos resultados do experimento realizado por Gatiboni et al. (2011), bem como seu estágio de desenvolvimento. Os autores observaram que quando as culturas estavam em pleno desenvolvimento tiveram maior CBM do que quando estavam no final de seu ciclo de vida, contribuindo para a redução dos valores do CBM nesse período.

### **2.3.3 Quociente Microbiano (qMic)**

Na Figura 7 é apresentado o comportamento do qMic nas diferentes épocas de coleta e tempos de implantação. Independente da época de coleta e tempo de

implantação avaliados neste experimento os valores encontrados para o qMic não apresentaram diferenças significativas para o teste F ( $p < 0,05$ ). O valor médio encontrado para esta variável foi de 5,6%.



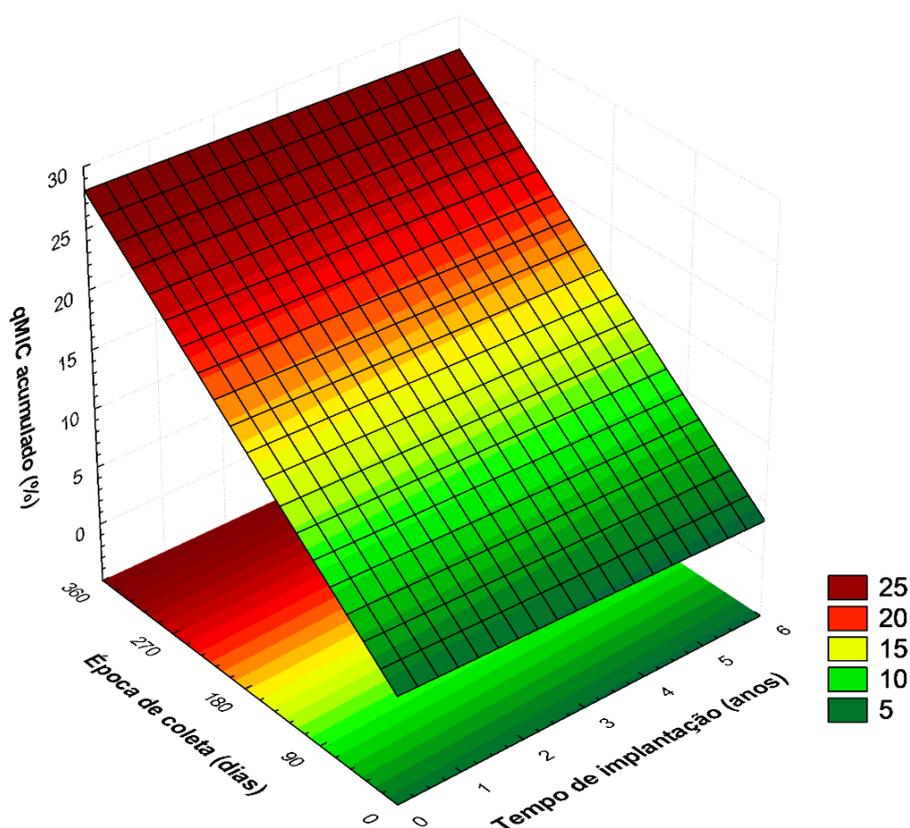
**Figura 7** – Quociente microbiano (qMic) (%) em solo com diferentes tempos de implantação (0, 1, 2, 3, 4 e 6 anos) e épocas de coleta (0, 90, 180, 270 e 360 dias), representado pela equação  $qMic = 3,8431 + 0,6069x + 0,0123y - 0,1084x^2 - 5,0767 \cdot 10^{-5}xy - 1,7622 \cdot 10^{-5}y^2$  e  $R^2 = 0,26$ .

O qMic representa a relação entre o carbono da biomassa microbiana e o carbono orgânico total. Essa relação demonstra a qualidade da matéria orgânica do solo e a quantidade de carbono orgânico que está imobilizado na biomassa microbiana (BM), e a eficiência dos microrganismos na utilização dos compostos orgânicos (SILVA et al., 2010).

Dadalto et al. (2015) avaliaram diferentes manejos e épocas de coleta e constataram que o maior valor de qMic foi observado após 14 dias do preparo do solo, sendo de 5,48%. Para a coleta realizada antes do preparo e 3 horas após o preparo os valores foram de 2,12% e 2,57%, respectivamente. Em experimento realizado com diferentes manejos de café solteiro e consorciado, pousio e fragmento florestal,

Guimarães et al. (2017) observaram que os valores de qMic foram inferiores para área de monocultura, com valor de 1,42%, valores bem abaixo dos encontrados no presente trabalho.

O qMic acumulado pode ser observado na Figura 8. De acordo com o teste F não foi observado efeito para a interação, houve apenas efeito isolado para o tempo de implantação do manejo orgânico e para as épocas de coleta. Para os tempos de implantação a área com um ano (T1) apresentou tendência de maior acúmulo ao longo do tempo diferindo do (T0; T2; T3 e T6), entretanto, não diferiu do T4. Em relação as épocas de coleta houve comportamento linear com crescimento de aproximadamente 6% a cada 90 dias.



**Figura 8** – Quociente microbiano (qMic) acumulado no tempo (360 dias) em solo com diferentes tempos de implantação (0, 1, 2, 3, 4 e 6 anos) e épocas de coleta (0, 90, 180, 270 e 360 dias), representado pela regressão  $4,2261-0,1485x+0,063y$  e  $R^2=0,84$ .

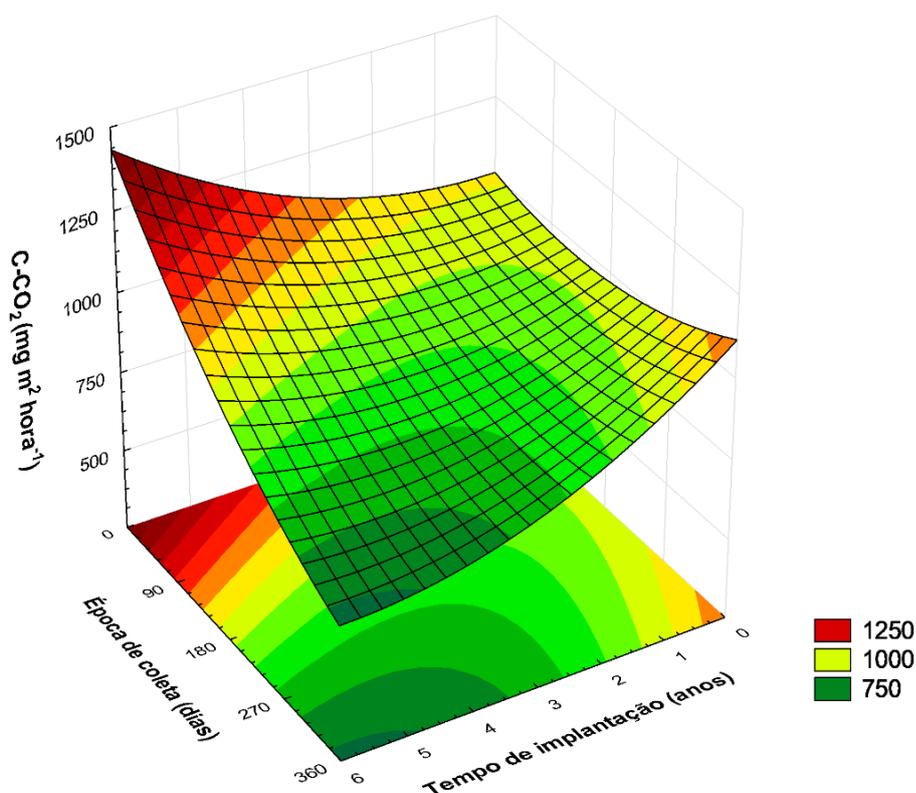
Os valores mais elevados de qMic no talhão 1, indicam maior incorporação do carbono orgânico presente no solo na biomassa microbiana, ou seja, os microrganismos imobilizaram o carbono que estava disponível no solo em suas células. Em experimento realizado por Silva et al. (2010) comparando cerrado nativo

com área convencional, maiores valores de  $q_{Mic}$  foram encontrados no cerrado nativo, mostrando que o preparo do solo reduz esta relação.

Segundo Carneiro et al. (2009), o  $q_{Mic}$  reflete o percentual de reserva do COT, e áreas com baixa atividade microbiana podem apresentar baixos valores de quociente microbiano, indicando menor reserva de compostos orgânicos. Corroborando com os resultados deste experimento, onde os maiores valores de COT e CBM, refletiram em maior acúmulo de  $q_{Mic}$ .

### 2.3.4 Respiração Microbiana (C-CO<sub>2</sub>)

Os resultados da emissão de carbono pela respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>) nas épocas de coleta e nos tempos de implantação são apresentados na Figura 9. A relação de C-CO<sub>2</sub> com o tempo de implantação foi de  $0,18618 - 0,0160y$  mg m<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup>, ou seja, para cada ano de conversão o C-CO<sub>2</sub> aumentou em 0,016 mg m<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup>.



**Figura 9** – Respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>) (mg m<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup>) em solo com diferentes tempos de implantação (0, 1, 2, 3, 4 e 6 anos) e épocas de coleta (0, 90, 180, 270 e 360 dias) representado pela equação:  $C-CO_2 = 1011,0968 - 4,6472x - 0,7402y + 12,4836x^2 - 0,4018xy + 0,0029y^2$  R<sup>2</sup>=0,29.

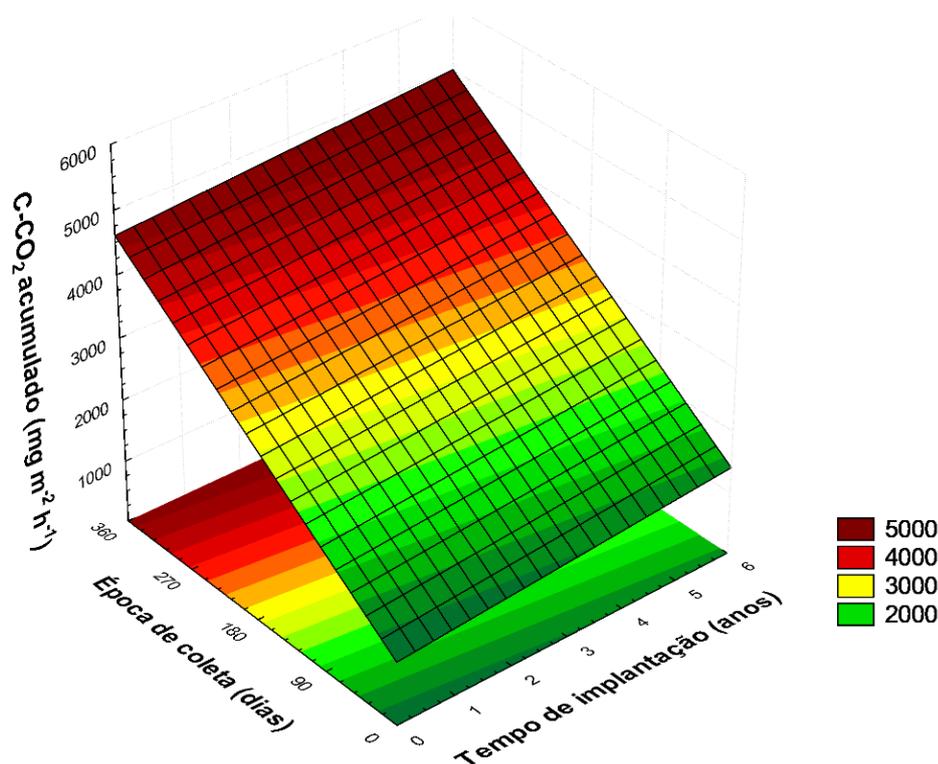
Elevados valores de C-CO<sub>2</sub> indicam maior atividade da biomassa microbiana no solo. Alta atividade microbiana pode significar rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes para as plantas, ou pode ser indicativo de estresse sobre a biomassa microbiana pela perturbação no solo, principalmente pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas durante o cultivo (TU et al., 2006).

O talhão com maior tempo de implantação (T6) apresentou as maiores taxas iniciais de C-CO<sub>2</sub>. Este talhão tem histórico de problemas com plantas espontâneas, e por este motivo foi submetido a gradagem niveladora no início do experimento (Tabela 2). O talhão convencional (T0), que apresentou maior estabilidade, é caracterizado pela SD e não foi revolvido nos últimos 10 anos.

Em geral, áreas com menor intervenção apresentam maior atividade microbiana, como observado por Lisboa et al. (2012) em experimento onde a maior taxa de respiração da comunidade microbiana foi encontrada em solo sob vegetação nativa e sob plantio direto, em comparação com lavoura convencional onde havia revolvimento de solo. Guimarães et al. (2017) também observaram maiores valores de C-CO<sub>2</sub> em área de fragmento florestal quando comparada a área de pousio e monocultivo, e mostraram comportamento diretamente proporcional para COT e CBM.

Segundo Balota et al. (2004) maiores taxas respiratórias podem ocorrer em solos que não são preparados, provavelmente pelo maior teor de C orgânico acumulado, o que favorece a comunidade microbiana, não apenas pela maior disponibilidade de substratos, mas também devido as condições de umidade e temperatura homogêneas. Porém, este comportamento não foi observado neste trabalho, onde as maiores taxas de C-CO<sub>2</sub> foram observadas nos talhões que apresentaram os menores teores de COT durante o experimento e que tiveram revolvimento de solo, ou seja, está havendo perdas de C pelo estresse causado na área.

Os valores de C-CO<sub>2</sub> acumulado estão apresentados na Figura 10. Ao final dos 360 dias foram observadas médias de 4.836,5 (T0); 4.887,6 (T1); 5.132,7 (T2); 4.319,4 (T3); 4.087,83 (T4) e 5.200 mg m<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup> (T6). Não houve interação entre os fatores, porém, foi observado efeito isolado para C-CO<sub>2</sub> acumulado.



**Figura 10** – Valores acumulados de respiração microbiana (C-CO<sub>2</sub>) (mg m<sup>-2</sup> hora<sup>-1</sup>) no tempo (360 dias) em solo com diferentes manejos, representados pela equação:  $1016,2941+66,1148x+9,9707y$  e  $R^2=0,95$ .

Para as épocas de coleta houve comportamento linear com crescimento de 897,37 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> de C-CO<sub>2</sub> a cada 90 dias.

Entre os talhões avaliados os maiores valores de C-CO<sub>2</sub> acumulado foram na área com maior tempo de implantação (T6), com 5.200,01 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, e na área com dois anos de implantação (T2), com 5.132,69 mg m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, que diferiram estatisticamente dos demais tratamentos.

O aumento dos valores de respiração após o preparo do solo está relacionado às perturbações que o solo e as populações microbianas sofrem (NASCIMENTO et al., 2009). Porém, segundo Islam e Weil (2000), altas taxas de respiração podem indicar ou não algum tipo de distúrbio no solo.

Alves et al. (2011) estudaram a influência de diversos manejos do solo na respiração microbiana. Segundo os autores a integração lavoura-agropecuária, vegetação nativa e vegetação nativa em recuperação não apresentaram diferenças estatísticas para este fator.

Segundo Matias et al. (2009), taxas elevadas de respiração microbiana podem indicar a possibilidade de maiores perdas de C do solo, como consequência de

degradação mais acelerada. Esta afirmativa corrobora com os resultados deste trabalho, pois, as taxas mais elevadas de C-CO<sub>2</sub> foram encontradas no talhão com maior tempo de implantação do sistema de manejo orgânico (T6), onde houve revolvimento do solo e, conseqüentemente, maior degradação e perda de C pela respiração microbiana. Sendo por esta razão considerado um indicativo de perda de qualidade do solo.

## 2.4 CONCLUSÃO

As análises dos atributos microbiológicos do solo foram eficientes em detectar diferenças entre os manejos. Os solos com manejo orgânico, principalmente com maior tempo de implantação, mas que tiveram o solo revolvido, aumentaram a degradação da matéria orgânica, diminuindo desta forma as quantidades de COT, e, conseqüentemente, diminuindo a biomassa microbiana. Os microrganismos foram menos eficientes ao utilizar a MOS, o que pode ser notado pelas menores porcentagens do qMic acumulado.

No sistema orgânico com preparo do solo houve maior liberação de C na forma de CO<sub>2</sub>, e com isso menor incorporação de C nos microrganismos, indicando perdas de C do solo. De maneira geral observou-se que a qualidade do solo está sendo afetada de forma negativa pelo seu revolvimento.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, T. dos S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N., N. E.; 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, p. 341–347, 2011.
- ANDERSON, T.-H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO<sub>2</sub> (qCO<sub>2</sub>) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393–395, 1993.
- ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3 p. 66–75, 2007.
- ARAÚJO, E. A. de; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 187–206, 2012.
- BALOTA, E. L.; CHAVES, J. C. D. Enzymatic activity and mineralization of carbon and nitrogen in soil cultivated with coffee and green manures. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1573–1583, 2010.
- BALOTA, E. L.; COLOZZI FILHO, A. ; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 77, n. 2, p. 137–145, 2004.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HAMID, K. I. A.; YADA, I. F. U.; BARBOSA, G. M. C.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Soil microbial properties after long-term swine slurry application to conventional and no-tillage systems in Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 490, p. 397–404, 2014.
- BARDGETT, R. D.; FREEMAN, C.; OSTLE, N. J. Microbial contributions to climate change through carbon cycle feedbacks. **ISME Journal**, v. 2, n. 8, p. 805–814, 2008.
- BELO, E. DOS S.; TERRA, F. D.; ROTTA, L. R.; VILELA, L. A.; PAULINO, H. B.; SOUSA, E. D. de; VILELA, L. A. F.; CARNEIRO, M. A. C. Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de cerrado. **Global Science and Technology**, v. 5, n. 3, p. 107–116, 2012.
- BOCKUS, W. W.; SHROYER, J. P. The impact of reduced tillage on soilborne plant pathogens. **Annual Review of Phytopathology**, v. 36, n. 1, p. 485–500, 1998.
- CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. de F. Estoques e frações de carbono orgânico em latossolo amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 48, n. 3, p. 304–312, 2013.
- CARNEIRO, M. A. C.; CORDEIRO, M. A. S.; ASSIS, P. C. R.; MORAES, E. S.;

PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. de. Produção de fitomassa de diferentes espécies de cobertura e suas alterações na atividade microbiana de solo de cerrado. **Bragantia, Campinas**, v. 67, n. 2, p. 455–462, 2008.

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

CARVALHO, F. de; MOREIRA, F. M. de S.; CARDOSO, E. J. B. N. Chemical and biochemical properties of *Araucaria angustifolia* (Bert.) Ktze. forest soils in the state of São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1189–1202, 2012.

CERRI, C. E. P.; COLEMAN, K.; JENKINSON, D. S.; BERNOUX, M.; VICTORIA, R.; CERRI, C. C. Modeling soil carbon from forest and pasture ecosystems of Amazon, Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, n. 6, p. 1879, 2003.

COLEMAN, D. C. Soil carbon balance in a successional grassland. **Oikos**, v. 24, n. 2, p. 195–199, 1973.

CONCEIÇÃO, P.; AMADO, T.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Soil organic matter and other attributes as indicators to evaluate soil quality in conservation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 777–788, 2005.

DADALTO, J. P.; FERNADES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A.T. de. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 35, n. 3, p. 506–5013, 2015.

DICK, R. P.; BREAKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. **Soil Science Society of America**, v. 49, p. 247–271, 1996.

FAVARATO, L. F.; SOUZA, J. L. de; GALVÃO, J. C. C.; SOUZA, C. M de; GUARÇONI, R. C. Atributos químicos do solo com diferentes plantas de cobertura em sistema de plantio direto e orgânico. **Revista brasileira de agropecuária sustentável**, v. 5, n. 2, p. 19–28, 2015.

FRANZLUEBBERS, A. J.; SCHOMBERG, H. H.; ENDALE, D. M. Surface-soil responses to paraplowing of long-term no-tillage cropland in the Southern Piedmont USA. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 1–2, p. 303–315, 2007.

GATIBONI, L. C.; COIMBRA, J. L. M.; DENARDIN, R. B. N.; WILDNER, L. P.; SYSTEM, N.; BERENICE, R.; DENARDIN, N.; PRADO, L. Microbial biomass and soil fauna during the decomposition of cover crops in no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1151–1157, 2011.

GOVAERTS, B.; MEZZALAMA, M.; UNNO, Y.; SAYRE, K. D.; LUNA-GUIDO, M.; VANHERCK, K.; DENDOOVEN, L.; DECKERS, J. Influence of tillage, residue management, and crop rotation on soil microbial biomass and catabolic diversity.

**Applied Soil Ecology**, v. 37, n. 1–2, p. 18–30, 2007.

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

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 79, n. 1, p. 9–16, 2000.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: Inferences to improve soil quality. **Plant and Soil**, v. 338, n. 1, p. 467–481, 2011.

KHEYRODIN, H.; GHAZVINIAN, K.; TAHERIAN, M. Tillage and manure effect on soil microbial biomass and respiration, and on enzyme activities. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 81, p. 14652–14659, 2012.

KUWANO, B. H.; KNOB, A.; FAGOTTI, D. S. L.; MELÉM JÚNIOR, N. J.; GODOY, L.; DIEHL, R. C.; KRAWULSKI, C. C.; ANDRADE FILHO, G.; ZANGARO FILHO, W.; TAVARES-FILHO, J.; NOGUEIRA, M. A. Soil quality indicators in a rhodic kandiodult under different uses in northern Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 50–59, 2014.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O. da; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 1, p. 33–44, 2012.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; PAULA KOUCHER, L. de; OLIVEIRA, R. A. de; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 4, p. 1212–1224, 2015.

MATIAS, M. da C. B. da S.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. de C.; ARAÚJO, A. S. F. de. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no cerrado do estado do Piauí. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 517–521, 2009.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006.

NASCIMENTO, J. B.; CARVALHO, G. D.; CUNHA, E. de Q.; FERREIA, E. P. de B.; LEANDRO, W. M.; DIDONET, A. Determinação da biomassa e atividade microbiana do solo sob cultivo orgânico do feijoeiro-comum em sistema de plantio direto e convencional após cultivo de diferentes espécies de adubos verdes. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 4240–4243, 2009.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; PINTO, L. F. D. **Atlas do**

**Estado do Paraná.**Londrina: IAPAR, 2019.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Soil aggregation and aggregate stability under crop-pasture systems in Mato Grosso do Sul state, Brazil (Portuguese). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 11–21, 2008.

SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ARAUJO FILHO, J. C. OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed. Brasília, DF:Empapa Solos, 2018.

SAS INSTITUTE INC. SAS University Edition: instalation guide. Cary; SAS Institute, 2014. Disponível em: < [https://www.sas.com/pt\\_br/home.html](https://www.sas.com/pt_br/home.html) >. Acessado 20 de dez 2018

SILVA, D. M. da; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A. de O.; SILVA, D. A. A. da; RACHE, M. M.; PASSOS, V. H. G.; SILVA, B. R. da. Indicadores microbiológicos de solo em pastagem com aplicação sucessiva de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 6, p. 1585–1594, 2015.

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 Ciencia do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1585–1592, 2010.

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

SPARLING, G. P.; WEST, A. W. A direct extraction method to estimate soil microbial c: Soil Microbial C : Calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C labelled cells. **Soil Biology Biochemistry** v. 20, n. 3, p. 337–343, 1988.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J. de; ANDRADE, M. J. B. de; SILVA, C. A.; PEREIRA, E. J. M. Decomposição e liberação de nutrientes das palhadas de milho e milho + crotalária no plantio direto do feijoeiro. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 31, n. 4, p. 647–653, 2009.

TU, C.; RISTAINO, J. B.; HU, S. Soil microbial biomass and activity in organic tomato farming systems: Effects of organic inputs and straw mulching. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 2, p. 247–255, 2006.

VANCE, E. D.; BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 6, p. 703–707, 1987.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467–1476, 1988.

### 3 CAPÍTULO 2: ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E GLOMALINA EM SISTEMA DE MANEJO ORGÂNICO E CONVENCIONAL COM SEMEADURA DIRETA

#### RESUMO

Herrmann, Daniela da Rocha, D. S. Universidade Estadual do oeste do Paraná, fevereiro de 2020. Atributos físicos do solo e glomalina em sistema de manejo orgânico e convencional com semeadura direta. Orientadora: Edleusa Pereira Seidel. Coorientador: José Renato Stangarlin.

O objetivo deste trabalho foi avaliar áreas agrícolas submetidas a sistema de manejo orgânico e convencional com semeadura direta, utilizando, a estabilidade de agregados, os atributos físicos, e a glomalina como parâmetros de qualidade de solo. O experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho Eutroférico, em estação experimental agroecológica, onde foram avaliados seis diferentes talhões de estudos. Os tratamentos consistem no tempo de implantação do manejo orgânico e das práticas desenvolvidas nas áreas, como: rotação de culturas e o preparo de solo. Os tempos de implantação do manejo orgânico são de 0, 3, 4, 6 e 8 anos. O tempo zero foi utilizado como testemunha, onde o manejo é convencional com semeadura direta. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com seis repetições. Para a estabilidade dos agregados foi determinada a distribuição relativa de agregados estáveis, o diâmetro médio geométrico (DMG) e ponderado (DMP) e o índice de estabilidade de agregados (IEA). Para as análises físicas foram determinados a densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), e resistência do solo a penetração (RP). Para a determinação da glomalina foi quantificada a proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível (PSRG-FE) e total (PSRG-T). As práticas de manejo orgânico com maior tempo de implantação (8 anos), propiciaram agregados maiores e mais estáveis. A resistência do solo a penetração indica que não há compactação nas áreas avaliadas. A PSRG-FE foi inferior nas áreas onde houve revolvimento do solo e com predomínio de leguminosas e teve correlação negativa com o COT e o pH. A PSRG-T não se correlacionou o IEA, DMP, DMG, COT e P e pH do solo, demonstrando que em Latossolos a mineralogia oxídica predomina na estabilidade dos agregados.

Palavras chave: qualidade do solo, preparo de solo, estabilidade de agregados.

## ABSTRACT

Herrmann, Daniela da Rocha, M. S. State University of Western Parana, in February 2020. Physical attributes of soil and glomaline in organic and conventional management system with direct seeding. Advisor: Edleusa Pereira Seidel. Co-advisor: José Renato Stangarlin.

The objective of this work was to evaluate agricultural areas submitted to organic and conventional management systems with direct sowing, using the soil aggregates stability, physical attributes and glomalin as soil quality parameters. The experiment was carried out on an Oxisoil, in the agroecological experimental station, where were assessed six different areas. The treatments evaluated consists of the organic management implementation time and the practices developed in each studied area, such as: crop rotation and soil preparation. The organic management implementation times were 0, 3, 4, 6 and 8 years. The time zero was used as control where it had as management a conventional system with direct sowing. The experimental design was completely randomized, with six replicates. For the aggregates stability, the relative distribution of stable aggregates was determined, the aggregate stability index (AEI), the geometric mean diameter (GMD) and weighted mean diameter (WMD). The soil physical analyzes consisted in the determination of density (Ds), total porosity (TP), macroporosity (Ma), microporosity (Mi) and soil penetration resistance (PR). For glomalin determination, soil proteins related to easily extractable (PSRG-FE) and total (PSRG-T) glomalin were quantified. The organic management practices with the longest implementation time (8 years) favors the formation of larger and more stable aggregates. Soil penetration resistance results indicated that there is no compaction in the evaluated areas. PSRG-FE values were lower in the areas where the soil was revolved and with predominance of leguminous species, and also, showed negative correlation with TOC and pH. PSRG-T had no correlation with AEI, WMD, GMD, TOC, P and soil pH, demonstrating that in Oxisols the oxidic mineralogy predominates in aggregate stability.

Keywords: soil quality, soil prepare, aggregate stability.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Em solos agrícolas, o manejo adotado nas práticas de cultivo é o principal fator a ser considerado quando se busca uma agricultura que mantenha o equilíbrio do sistema, uma vez que o modo de produção interfere significativamente neste processo, afetando o funcionamento, a qualidade e a sustentabilidade do solo. (BALOTA, 2017).

A eficácia do sistema plantio direto está relacionada, com a quantidade e a qualidade de resíduos produzidos pelas plantas de cobertura, persistência destes resíduos sobre o solo, velocidade de decomposição e liberação de nutrientes. Se realizado de maneira correta, há um contínuo aporte de matéria orgânica na camada superficial e ocorrem melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (ROSSET et al., 2016).

A qualidade dos atributos físicos do solo afeta diretamente o espaço poroso e a sua estabilidade, sendo a sua estrutura um dos indicadores mais importantes para o desenvolvimento das plantas e a atividade dos organismos. Sabendo da sua importância este atributo tem sido constantemente investigados nas diferentes condições de uso e manejo, com o intuito de entender os processos de degradação do solo (MOTA et al., 2013; STEFANOSKI et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2015; CHERUBIN et al., 2015).

A estrutura do solo é o arranjo das partículas e poros, e é onde ocorrem as atividades da microbiota e, portanto, primordial para os processos de ciclagem biogeoquímica (PAUL, 2007). O tamanho do agregado determina sua suscetibilidade à movimentação pelo vento e pela água. O espaço poroso e o seu arranjo interferem na movimentação da água, transferência de calor, aeração e porosidade (KLEIN et al., 2008). Solos que apresentam boa agregação possuem diâmetro maior em seus agregados, o que facilita a proteção da matéria orgânica e o melhor fluxo e armazenamento de água no solo.

O processo de agregação do solo é complexo e dele participam numerosos microrganismos, agentes ligantes e fatores abióticos. No entanto, diversos autores descrevem e pesquisam a particular importância nos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) neste processo (TRUBER; FERNANDES, 2014; NOBRE et al., 2015; NOGUEIRA et al., 2016; SHARIFI et al., 2018). Segundo Balota (2017), a estabilidade do solo é afetada de forma positiva pela presença das hifas micorrízicas no solo, pois

elas se ligam fisicamente as partículas de solo. As hifas estão presentes tanto internamente quanto ao redor dos agregados e desta maneira elas podem exercer funções específicas e diferenciadas nos fragmentos do solo.

A abundância dos FMAs pode ser avaliada através da produção de glomalina, uma glicoproteína produzida por estes fungos e que compõe a parede celular das suas hifas e se acumula no solo após a sua decomposição (RILLIG et al., 2001, DRIVER et al., 2005). A glomalina atua como agente cimentante no solo e a sua concentração está relacionada com a formação e estabilização dos agregados (WRIGHT; UPADHYAYA, 1998). Conhecer os estoques de glomalina no solo, pode fornecer informações relevantes sobre os efeitos do manejo do solo na dinâmica dos FMAs e a sua relação com os atributos físicos do solo (SOUSA et al., 2012).

O objetivo deste trabalho foi avaliar áreas agrícolas submetidas a sistema de manejo orgânico e convencional com semeadura direta, utilizando a estabilidade de agregados, os atributos físicos, e a glomalina como parâmetros de qualidade de solo.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

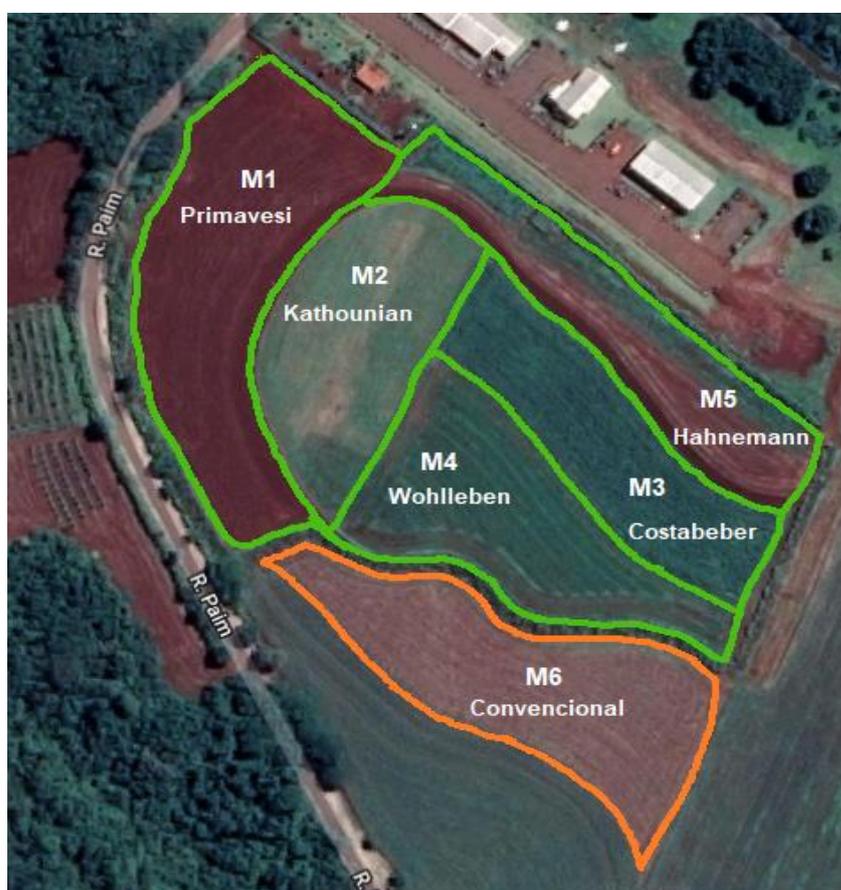
### 3.2.1 Localização, Clima e Solo

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Professor Alcibíades Luiz Orlando, localizada no município de Entre Rios do Oeste, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná campus de Marechal Cândido Rondon – PR. As coordenadas geográficas são 54°01'45" e 24° 31'42" S, com altitude média de 420 metros e declividade média de 4%.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, mesotérmico, subtropical úmido. A média anual de temperatura do ar se encontra na faixa de 22 a 23 °C e da umidade relativa do ar entre 70% e 75%. Os totais anuais de precipitação pluvial variam entre 1600 e 1800 mm e de evapotranspiração de referência na faixa de 1000 a 1100 mm anual (NITSCHKE et al., 2019). O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (LVef) de textura muito argilosa (SANTOS et al., 2018).

### 3.2.2 Caracterização da Área de Estudos e Histórico de Uso dos Sistemas Avaliados

A área experimental é dividida em seis talhões (Figura 1). Dos talhões avaliados, cinco são destinados ao manejo orgânico e um segue sistema convencional de cultivo com semeadura direta. O sistema convencional segue sucessão entre soja e milho (safrinha), havendo nos últimos quatro anos apenas uma safra de trigo e uma de aveia branca. As áreas avaliadas apresentam topografia, clima e solo semelhantes, devido sua proximidade. Uma das variações entre as áreas é a época da implantação do manejo orgânico, formando uma sequência cronológica de uso agrícola.



**Figura 1** - Mapa da Estação experimental Professor Alcebíades Luiz Orlando e seus talhões agroecológicos, Entre Rios do Oeste- PR. Coordenadas: 54°01' e 24° 31' S.

Os talhões foram nomeados conforme o manejo e a sequência de implantação do cultivo orgânico. Sendo: M1, M2, M3, M4, M5 e M6, com tempo de implantação do manejo orgânico de 8, 6, 5, 4, 3 e 0 anos, respectivamente. O tempo zero (M6) segue

manejo com uso de insumos químicos (área de cultivo “convencional”). Na área orgânica segue-se manejo de acordo com as normas vigentes da agricultura orgânica onde não se aplicam insumos químicos sintéticos. Cabe ressaltar que o sistema de semeadura utilizado nos talhões/manejos orgânicos, ocasionalmente não foi o de semeadura direta, visto que muitas vezes se fez necessário métodos de preparo do solo convencional com revolvimento deste. Este sistema vem sendo utilizado devido a necessidade de manejo de plantas espontâneas.

A caracterização dos talhões foi realizada através de um histórico geral das áreas e seus respectivos manejos de solo no período de realização da coleta, e descrição do momento do último revolvimento de solo que ocorreu na área (Tabela 1).

**Tabela 1.** Histórico e descrição de uso dos talhões de estudo considerando manejos do solo do ano de 2018 e último revolvimento de solo de cada área.

<b>Manejos</b>	<b>Histórico de manejo do solo e descrição da área</b>
<b>M1 (Primavesi)</b>	Manejo orgânico há 8 anos. Talhão apresenta constantes problemas com incidência de plantas espontâneas. Último preparo de solo foi realizado em março 2017 com grade niveladora.
<b>M2 (Kathounian)</b>	Manejo orgânico há 6 anos. Foi realizado preparo do solo em fevereiro de 2018 com duas gradagens leves.
<b>M3 (Costabeber)</b>	Manejo orgânico há 5 anos. Talhão com constantes problemas de incidência de plantas espontâneas devido a dificuldades na germinação das culturas implantadas, deixando a área descoberta e exposta. Último revolvimento em maio de 2017, com subsolagem, e duas gradagens leves.
<b>M4 (Wohlleben)</b>	Manejo orgânico há 4 anos. Talhão com constantes problemas de incidência de plantas espontâneas também devido a períodos de exposição do solo por má formação dos cultivos. Último revolvimento em maio de 2017, com subsolagem e duas gradagens.
<b>M5 (Hahnemann)</b>	Manejo orgânico há 3 anos. Não houve revolvimento do solo nos últimos três anos.
<b>M6 (Convencional)</b>	Manejo convencional com semeadura direta (SCSD) há 12 anos. Talhão segue sistema de sucessão das culturas soja-milho, utilizando-se quando possível plantas de cobertura de inverno.

Na Tabela 2 estão descritas as rotações de culturas dos últimos anos em cada talhão, até o momento das coletas (safra verão 2018/19). As culturas a serem implantadas em cada talhão são definidas pelo grupo de estudos em agroecologia a fim de garantir um efetivo sistema de rotação de culturas descrito no plano de manejo da área.

**Tabela 2.** Descrição das rotações de culturas nos talhões de estudo com diferentes manejos orgânicos (M1, M2, M3, M4 e M5) e convencional com semeadura direta (M6), nas safras de verão e inverno dos anos de 2016, 2017, 2018 e 2019.

Manejos	PERÍODO/SAFRA				
	Verão 2016/17	Inverno 2017/17	Verão 2017/18	Inverno 2018/18	Verão 2018/19
M1	Soja	1.Trigo mourisco 2.Aveia preta + nabo forrageiro	Milho	Aveia preta + nabo forrageiro	Lab-lab + feijão guandú
M2	Lab-lab	Trigo	1.Feijão gralha 2.Milho + guandú forrageiro	Aveia branca	Soja
M3	Quinoa e chia	Centeio e aveia	Soja	1.Nabo + aveia preta 2.Trigo	Milho
M4	Milho	Triticale e aveia	1.Soja 2.Mucuna cinza	Trigo	Soja
M5	Feijão e Lab-lab	Lab-lab e aveia preta	Feijão, Mandioca de mesa e crotalária	Feijão guandú	Feijão
M6	Soja	Milho	Soja	Aveia branca	Milho

Em setembro de 2018, foram realizadas amostragens de solo na camada de 0 - 0,20 m, em seis pontos por talhão. A caracterização química deste solo está apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3** - Caracterização química de LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico nos talhões de estudo com diferentes manejos orgânicos (M1, M2, M3, M4 e M5) e convencional com semeadura direta (M6), na profundidade de 0 – 0,20 m. Setembro 2018 - Entre Rios do Oeste-PR.

Manejo	pH (CaCl <sub>2</sub> )	COT	P (Melich)	H+Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC
	0,01 mol L <sup>-1</sup>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						
<b>M1</b>	6,4	21,57	79,5	4,0	0	0,6	3,7	1,8	5,8	10,1
<b>M2</b>	5,7	20,42	57,7	4,3	0	0,5	3,4	1,7	5,3	10,2
<b>M3</b>	5,7	19,85	57,7	4,3	0	0,4	3,9	1,8	6,1	10,4
<b>M4</b>	6,2	17,59	47,9	4,2	0	0,5	4,0	1,7	7,0	10,0
<b>M5</b>	5,9	17,44	35,4	3,4	0	0,5	3,7	1,7	5,6	9,3
<b>M6</b>	5,7	16,68	25,5	4,0	0	0,4	3,4	1,3	5,1	10,0

Onde, pH (potencial hidrogeniônico), P (fósforo), Carbono orgânico total (COT), H+Al (acidez potencial), Al (alumínio), K (potássio); Ca (cálcio); Mg (magnésio), SB (soma de bases); CTC (Capacidade de Troca Catiônica); médias de seis repetições.

### 3.2.3 Coletas de Amostras de Solo

Em setembro de 2018 realizou-se a coleta de amostras de solo deformadas para determinação da estabilidade de agregados, análises químicas e proteína relacionada a glomalina e amostras indeformadas para as avaliações físicas da área. Em cada talhão/manejo foram demarcados seis pontos nos quais foram realizadas as coletas das amostras de solo; cada ponto representou uma repetição dentro da área de estudo. As análises foram realizadas no Laboratório de Física do Solo no Centro de Ciências Agrárias da UNIOESTE.

### 3.2.4 Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC), onde as amostras foram coletadas em seis pontos diferentes de cada talhão/manejo, representando cada um destes uma repetição dentro da área em estudo. Os tratamentos utilizados foram seis diferentes manejos e usos do solo dos talhões de estudo (rotação de culturas, preparo de solo e tempos de implantação do manejo orgânico) descritos nas Tabelas 1 e 2.

### 3.2.5 Análises do Solo

#### 3.2.5.1 Umidade do Solo

A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico. Coletou-se amostras de solo deformadas nas profundidades de 0,0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m em seguida foram secas em estufa a 105 °C por 24 h.

#### 3.2.5.2 Avaliações Químicas

As análises para caracterização química da área foram realizadas nos Laboratório de Química Ambiental e Instrumental e pelo Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

O pH foi determinado em solução de  $\text{CaCl}_2$ ; Al, Ca e Mg extraídos com  $\text{KCl}$  1 mol  $\text{L}^{-1}$ ; P e K, extraídos por solução Mehlich<sup>-1</sup>, e a acidez potencial (H+Al) extraída com solução de acetato de cálcio 0,5 mol  $\text{L}^{-1}$  tamponado a pH 7,5, determinada por titulação com  $\text{NaOH}$  0,1 mol  $\text{L}^{-1}$ .

O teor de carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação úmida com dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ), sob aquecimento externo, e subsequente titulação com solução de sulfato ferroso amoniacal (0,20 mol  $\text{L}^{-1}$ ) e solução de ferroin como indicador, conforme metodologia proposta por Yeomans e Bremner (1988).

#### 3.2.5.3 Estabilidade de Agregados

As amostras foram coletadas nas profundidades de 0,0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m e em seguida foram secas e peneiradas. A determinação foi realizada pelo método de peneiramento úmido proposto por Yoder (1936). As amostras foram preparadas e posteriormente 50 gramas de solo de cada foram transpassadas para a peneira superior de um jogo de peneiras com abertura de 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 e 0,10 mm. Cada amostra foi analisada em quadruplicata.

O solo retido em cada uma das peneiras foi transferido para cápsulas de alumínio e levados à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 105°C, até atingir massa constante. Após a determinação das massas retidas em cada peneira, calculou-se o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP) de acordo com Van

Bavel (1949), o diâmetro médio geométrico (DMG) de acordo com Gardner (1956) e o índice de estabilidade de agregados (IEA), sendo os agregados separados em classes de > 2,0 mm; 2,0 - 1 mm; 1,0 - 0,5 mm; 0,5 - 0,25 mm; 0,25 - 0,1 mm e < 0,1 mm.

#### 3.2.5.4 Porosidade Total, Macroporosidade, Microporosidade e Densidade do Solo

As análises de densidade do solo ( $D_s$ ), porosidade total ( $P_t$ ), macro e microporosidade foram realizadas pelo método do anel volumétrico em mesa de tensão de acordo com Teixeira et al. (2017), compreendendo duas diferentes profundidades de amostragem, sendo de 0,0 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. A partir dos resultados da  $P_t$ , foi calculada a relação macroporos/volume total de poros (MA/VTP) (TAYLOR; ASHCROFT, 1972).

#### 3.2.5.5 Resistência do Solo à Penetração

A determinação da resistência do solo à penetração (RP) foi realizada a campo, em solo com 0,23 g g<sup>-1</sup> de água, utilizando-se o penetrógrafo portátil digital PenetroLog<sup>®</sup> da marca FALKER. Considerou-se como unidade observacional seis pontos amostrais por talhão/manejo, composta pela média aritmética dos valores obtidos pelo penetrômetro, a cada 0,025 m de profundidade, em um perfil total de 0,40 m. Os valores de resistência a penetração (RP) foram transformados para a unidade de Mpa.

#### 3.2.5.4 Proteína do Solo Relacionada à Glomalina

*Proteína do solo relacionada à glomalina:* A glomalina nas amostras de solo foi determinada pela quantificação da proteína do solo relacionada à glomalina (PSRG). Duas frações de PSRG (glomalina facilmente extraível - GFE; glomalina total - GT) foram distinguidas em função das condições de extração (RILLIG, 2004; WRIGHT; UPADHYAYA, 1998).

A proteína do solo relacionada à glomalina - facilmente extraível (PSRG-FE) foi obtida a partir da extração em autoclave, utilizando-se 1 g de amostra de solo e 8 mL de solução citrato de sódio 20 mM, pH 7,4, a 121°C por 30 min. A quantidade de

proteína do solo relacionada à glomalina - total (PSRG – T) foi obtida utilizando-se 1 g de amostra de solo e 8 mL de citrato de sódio 50 mM, pH 8,0 a 121 °C, por 60 min. Para extração desta fração, foram necessários 10 ciclos de autoclavagem, até que a amostra atingisse a cor amarelo claro. Em ambas as frações, posteriormente à autoclavagem, foram realizadas centrifugações a 4500g por 20 min, em que o sobrenadante foi removido para posterior quantificação da proteína.

A quantificação da glomalina foi realizada pelo método de Bradford (1976), modificado por Wright e Upadhyaya (1996), usando como padrão albumina de soro bovino. As concentrações da glomalina, para ambas as frações, foram corrigidas para  $\text{mg g}^{-1}$  de solo, considerando-se o volume total de sobrenadante e a massa de solo seco.

### **3.2.6 Análise dos Dados**

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade, posteriormente foi aplicada análise de variância (ANOVA) com nível de significância a 5% de probabilidade de erro. Para o teste de médias foi utilizado Tukey, também a 5% de probabilidade de erro.

Para analisar as relações entre as frações de glomalina presentes no solo e os demais atributos do solo nos talhões/manejos estudados, cálculos de coeficientes de correlação de Pearson foram efetuados em nível de 5 % de probabilidade de erro.

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa computacional SAS® *University Edition* (SAS INSTITUTE INC, 2014).

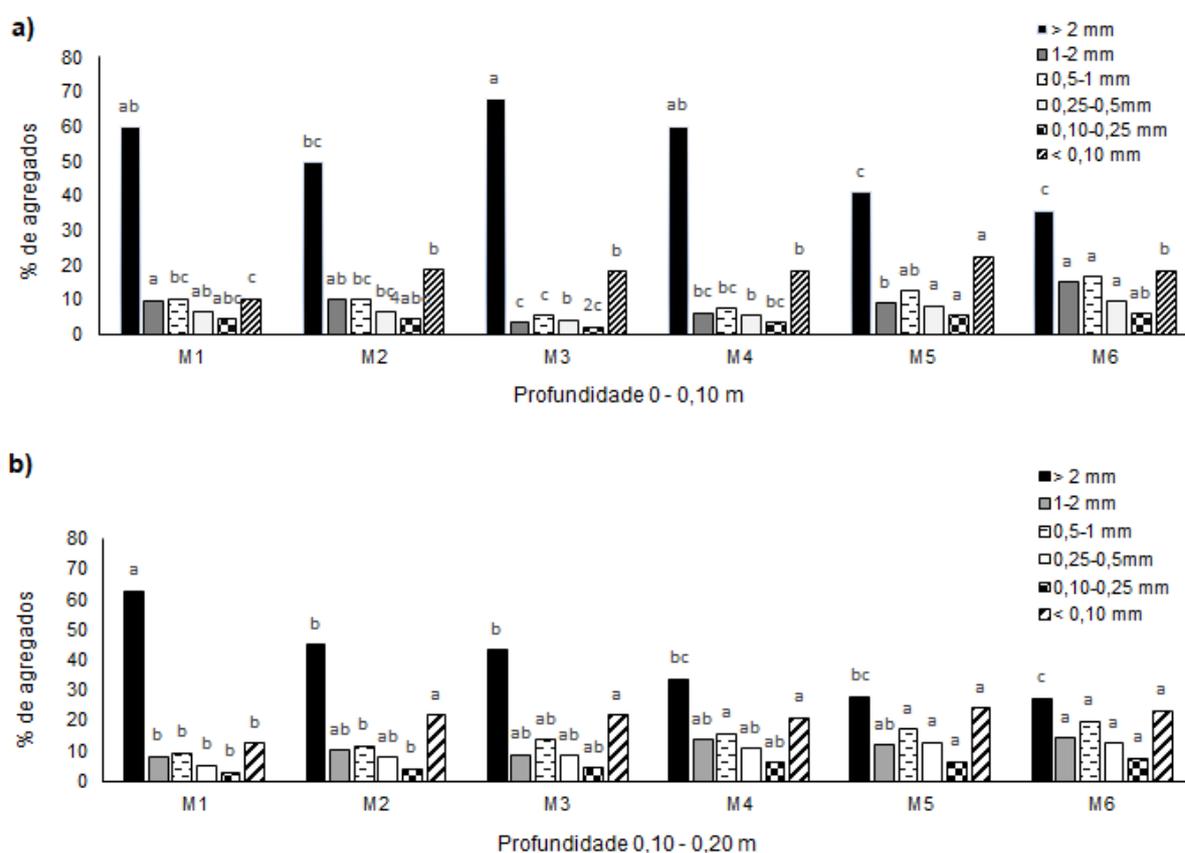
## **3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **3.3.1 Estabilidade de Agregados**

A distribuição relativa de agregados retidos nas classes de peneiras, identificou diferenças entre os sistemas de manejo avaliados após 8 anos de cultivo orgânico (Figura 2a e 2b). Na profundidade de 0 - 0,10 m os manejos no sistema orgânico (M1, M3 e M4) apresentaram maior porcentagem de agregados retidos na peneira de

diâmetro maior que 2mm; respectivamente com 60%, 68% e 60 % dos seus agregados acima de 2 mm (Figura 2a).

Na profundidade de 0,10 a 0,20 m o manejo 1 (M1), com maior tempo de cultivo orgânico, se manteve com 62% de agregados maiores que 2mm (Figura 2b). Nas duas profundidades observadas, as menores porcentagens de agregados maiores que 2mm foram nos manejos M5 com três anos de cultivo orgânico e no M6 que segue sistema convencional com semeadura direta (SCSD).



**Figura 2** -Distribuição relativa de agregados estáveis nas camadas de 0 a 0,10 m (a) e 0,10 - 0,20 m (b), onde M1, M2, M3, M4 e M5 correspondem aos talhões com manejo orgânico tendo respectivamente 8, 6, 5, 4, e 3 anos de implantação deste sistema, e o M6 corresponde ao talhão com SCSD. Médias seguidas de mesma letra entre os manejos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O manejo 1 (M1) com maior classe de agregados maiores que 2,00 mm, possui o maior tempo de implantação do manejo orgânico, 8 anos. O sistema de rotação de cultura neste talhão, se mostrou satisfatório, o que permitiu melhorias na sua estrutura, haja vista que os agregados de maiores tamanhos são os mais sensíveis às práticas de manejos.

O manejo 3 (M3), com rotação de quinoa+chia/centeio+aveia/soja/ nabo+aveia preta+trigo/milho; e o M4 com rotação de milho/triticale+aveia/soja+mucuna cinza/trigo/soja tiveram um sistema de rotação de cultura diversificado, o que contribuiu para formação de agregados maiores. Outro fator que pode ter contribuído foi uma subsolagem realizada na área. A subsolagem faz a descompactação do solo e desta forma, permite um melhor enraizamento das culturas, melhor infiltração de água e conseqüentemente, a melhora da diversidade microbiológica presente no solo, iniciando desta forma uma recuperação dos agregados.

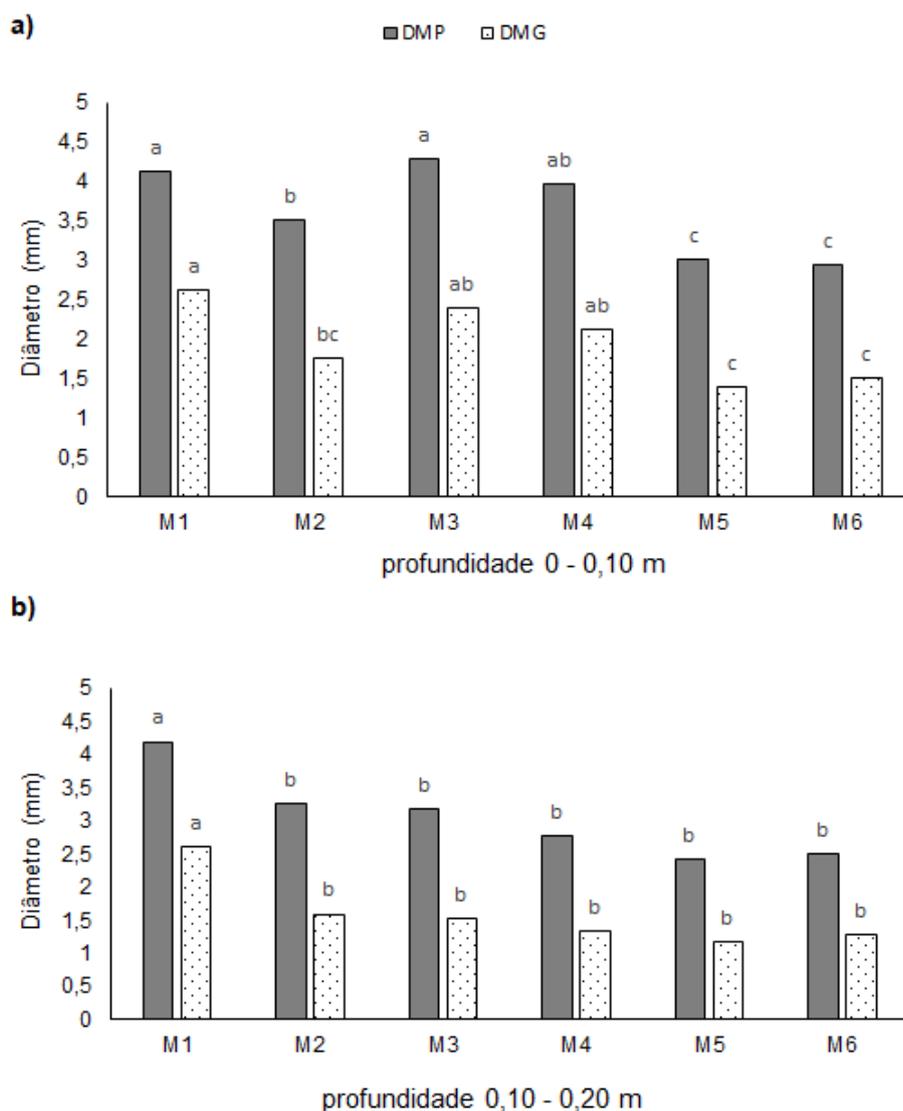
Segundo Oliveira et al. (2013), porcentagens elevadas de agregados maiores indicam maior estabilidade do solo. Desta forma o solo será mais resistente a ações mecânicas, terá maior taxa de infiltração de água e menor vulnerabilidade a erosão.

A maior massa de agregados de diâmetro menores que 2,00 mm foi observada nos manejos 5 e 6. O M5 no início deste estudo (2017), estava com um ano de implantação de manejo orgânico, e mesmo após três anos deste manejo apresentou a maior porcentagem de agregados menores que 2,00 mm; demonstrando que este talhão ainda não está em equilíbrio, e sofre de forma mais intensa as práticas de cultivo.

Na área com manejo convencional (M6) a semeadura é direta com sucessão de soja/milho/soja/aveia branca/milho. Este talhão/manejo recebe o uso permanente de agroquímicos. Estes agroquímicos em especial os inseticidas podem alterar a composição da fauna do solo que participa da agregação do solo por meio da fragmentação e mistura da matéria orgânica. A fauna do solo de forma geral cria condições que podem estimular os microrganismos que afetam os processos de agregação do solo, além disso agem diretamente na ciclagem de nutrientes, e, portanto, afetam o desenvolvimento radicular. As raízes através da liberação de exsudatos e mucilagens também contribuem na formação e estabilização dos agregados (BALOTA, 2017). Desta maneira nota-se uma interferência negativa do uso de agroquímicos na agregação do solo.

De acordo com Loss et al. (2009), o aumento dos agregados com diâmetro inferior a 1,0 mm em áreas cultivadas ocorre por que estes agregados são mais estáveis ao rápido umedecimento e não são facilmente destruídos por práticas agrícolas; pois são constituídos predominantemente de partículas menores que 0,1 mm de diâmetro, unidas em cadeias por vários agentes cimentantes.

Após a distribuição da estabilidade dos agregados em classes, determinou-se os índices DMP, DMG e IEA (Figuras 3 e 4). Observa-se na profundidade de 0 - 0,10 m que os manejos 1, 3 e 4 tiveram os maiores DMP, com valores de 4,12; 4,29 e 3,97 mm, respectivamente, e os maiores DMG de 2,63; 2,40 e 2,13 mm respectivamente (Figura 3 a).



**Figura 3**– Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados na camada de 0 a 0,10 m (a) 0,10 - 0,20 m (b), onde M1, M2, M3, M4 e M5 correspondem aos talhões com manejo orgânico tendo respectivamente 8, 6, 5, 4, e 3 anos de implantação deste sistema, e o M6 corresponde ao talhão com manejo em SCSD. Médias seguidas de mesma letra entre os manejos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

No sistema de cultivo em sucessão (soja/milho) observado no manejo 6, com o uso de agroquímicos e sem rotação de culturas, a produção de resíduos orgânicos foi menor e menos diversificada, o que resultou num menor teor de COT para este manejo (Tabela 3). A matéria orgânica do solo (MOS) atua na formação e na estabilidade dos agregados. A qualidade dos resíduos depositados ao solo é muito importante na formação e estabilização dos agregados. Quanto maior a heterogeneidade florística dos resíduos maiores serão os reflexos nos valores da relação C/N deste material.

Esta variação de espécies é importante pois os processos de decomposição de resíduos vegetais estão diretamente relacionados com a sua composição química o que irá interferir na dinâmica da decomposição. As gramíneas, por exemplo, têm alta relação C/N e tendem a permanecer por maior tempo no solo, enquanto as leguminosas tem menores relações C/N e apresentam decomposição mais rápida (TORRES et al., 2005). Estas relações e processos influenciam diretamente na estabilidade dos agregados.

Enquanto as gramíneas possuem sistema radicular fasciculado que proporciona maior exploração em área do solo (CARVALHO et al., 2013), as leguminosas com seu sistema pivotante e profundo auxiliam na descompactação do solo e também na fixação de nitrogênio no solo através da simbiose com *Rhizobium* específicos (FARIA et al., 2004).

Quanto mais natural for o sistema de cultivo maior a estabilidade dos agregados. Segundo Loss et al. (2011) áreas com a vegetação original tendem a ter maior aporte vegetal, e sem a interferência de cultivos permitem maiores valores de DMG e DMP e agregados mais estáveis.

Constatou-se que na profundidade de 0,10 - 0,20 m houve redução do DMP. Na primeira camada do solo o diâmetro médio foi de 3,64 mm, reduzindo para 3,05 mm na segunda camada. O mesmo comportamento foi observado para o DMG que de 1,97 mm reduziu para 1,59 mm. Esse comportamento é esperado uma vez que à medida que aumenta a profundidade diminui o volume de raízes e carbono orgânico reduzindo a agregação do solo. Esta diferença na agregação em profundidade é corroborada por Torres et al. (2015).

Na profundidade de 0,10 - 0,20 m o manejo 1 (M1), com maior tempo de implantação do sistema orgânico, obteve maiores índices de DMP e DMG diferindo dos demais manejos. Não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os demais

manejos. Os menores valores para DMP (3,0 mm e 2,95 mm), foram observados no manejo 5 com menor tempo de implantação do sistema orgânico; e no manejo 6 cultivado convencionalmente e com sistema de semeadura direta; bem como obtiveram os menores DMG, sendo os valores 1,40 mm e 1,50 mm respectivamente (Figura 3 a e b).

A adoção dos sistemas conservacionistas de uso do solo com o decorrer do tempo, afeta a decomposição dos resíduos e irá interferir no fornecimento de nutrientes (BELO et al., 2012); bem como na composição dos resíduos. Quanto mais diversificado o sistema, maior a diversificação de raízes, que auxiliam por terem efeito mecânico na descompactação do solo e na formação dos agregados.

O uso frequente de consórcios e variação florística nos manejos orgânicos por anos consecutivos faz com que haja contínuo fornecimento de material orgânico, quer por secreções radiculares, por renovação do sistema radicular e da parte aérea ou dos resíduos de colheita. Toda essa dinâmica serve de fonte de energia para a atividade microbiana, cujos subprodutos, constituídos de moléculas orgânicas em diversas fases de decomposição, atuam como agentes de formação e estabilização dos agregados.

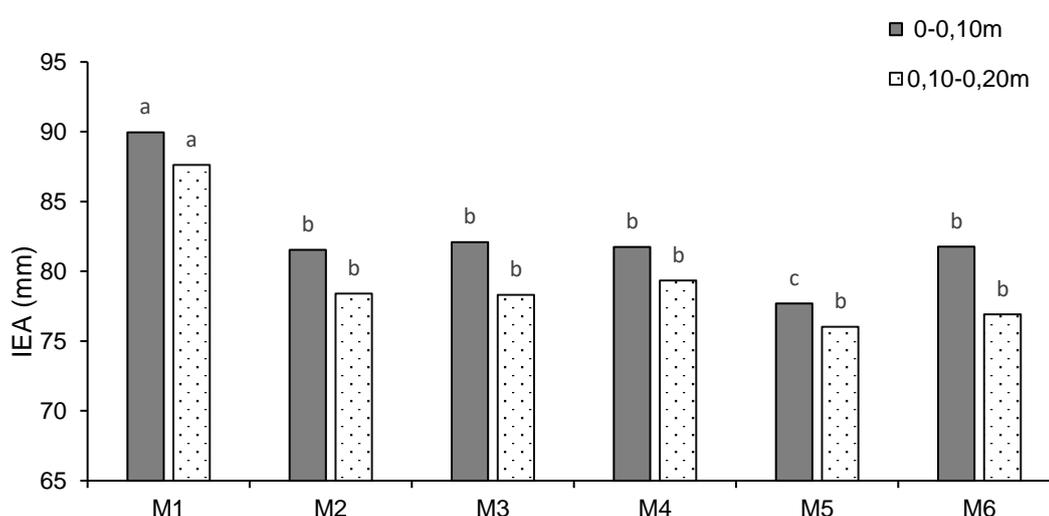
Em trabalho realizado por Rozane et al. (2010) em Latossolo Vermelho comparando três sistemas de manejo (mata, pastagem e milho com semeadura direta), os valores para DMP foram superiores na mata e pastagem com média de 5,57 mm em ambas as camadas do solo e inferiores no milho com 4,70 mm. Os valores de DMG também foram inferiores no milho sendo em média 3,31 mm em ambas as profundidades do solo avaliadas.

Na profundidade de 0 - 0,10 m, os valores de DMP encontrados nos manejos 1, 3 e 4 foram semelhantes ao observada por Rozane et al. (2010). Entretanto, para os demais manejos foram inferiores na profundidade de 0,10 m - 0,20 m, o que pode ser explicado pela frequência de cultivo nos talhões de estudo, que é maior nas safras com cultivo de leguminosas e menor naquelas com cultivo de gramíneas. As gramíneas são o grupo vegetal que tem maior resultado com agregação do solo (SOUZA et al., 2012). Também na superfície a matéria orgânica atua mais na formação dos agregados maiores, e os óxidos de ferro e hidróxidos de alumínio agem na estabilidade dos agregados menores.

Oliveira et al. (2013) observaram resultados contrários, onde foram avaliados diferentes níveis de compactação do solo após preparo com escarificação e

gradagem. Não foram observadas reduções nos valores dos diâmetros em profundidade; ao contrário, observou-se aumento.

Os índices de estabilidade de agregados (IEA) (Figura 4), foram significativamente ( $p < 0,05$ ) superiores no M 1 em ambas as profundidades avaliadas. Os demais manejos não diferiram entre si, com exceção do manejo 5 que foi inferior aos demais na profundidade de 0 - 0,10 m (Figura 4). Solos com maior IEA significa maior agregação e, portanto, menor perda de solo por processos erosivos e maior resistência do solo a compactação.



**Figura 4** – Índice de estabilidade dos agregados (IEA) nas camadas de 0 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m, onde M1, M2, M3, M4 e M5 correspondem aos talhões com manejo orgânico tendo respectivamente 8, 6, 5, 4, e 3 anos de implantação deste sistema, e o M6 corresponde ao talhão com manejo em SCSD. Médias seguidas de mesma letra entre os manejos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

De maneira geral áreas com uso de adubação verde na rotação de cultura e aplicação de adubação orgânica resultam em maior agregação do solo, culminando na formação de agregados mais estáveis (IEA). Entretanto, conforme apresentado na Figura 4 há necessidade de mais tempo de cultivo orgânico para observar estas diferenças.

O manejo 6 com sistema convencional e semeadura direta há 12 anos, diferiu apenas do manejo 1 nas duas profundidades avaliadas para o IEA. Segundo Hontoria et al. (2016), Latossolos em geral tem elevado grau de agregação, principalmente quando o teor de argila ultrapassa 40%. Além do teor de argila outro fator que contribui

para o tamanho dos agregados são os teores de MOS. A MOS interfere diretamente na formação da estrutura do solo e tem relação direta com a qualidade do solo (BALOTA, 2017). Em relação aos resultados do presente estudo o manejo 1 foi o que apresentou maior teor de COT, enquanto o manejo 6 teve o menor teor (Tabela 3); este pode ter sido um dos fatores que levou a este resultado do IEA.

Segundo Loss et al. (2009), sistemas agroecológicos que disponibilizam elementos como N e C tanto pelo uso das culturas como pela adubação orgânica, propiciam melhor desenvolvimento radicular das culturas e, conseqüentemente, melhoram a agregação do solo, culminando na formação de agregados de maior tamanho. Desta forma o manejo agroecológico propicia agregados de maior diâmetro, quando comparado a sistemas convencionais sem a utilização dessas práticas.

As variações observadas nestes índices, sugerem que paulatinamente, há reestruturação do solo com maior tempo de implantação do manejo orgânico, e que a estabilização do sistema está ligada principalmente a variedade cultural (rotação de culturas) com ação dos diferentes tipos de raízes e ao aporte de adubação orgânica.

### **3.3.2 Porosidade Total, Macroporosidade, Microporosidade, Densidade do Solo e Resistência do Solo à Penetração**

Os resultados referentes as análises de macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt), relação macroporos/volume total de poros (Ma/Pt) e densidade (Ds) do solo estão apresentados na Tabela 3.

Para a macroporosidade (Ma), não foram observadas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os manejos na profundidade 0 - 0,10 m. Na profundidade de 0,10 - 0,20 m o valor médio da macroporosidade no manejo 3 (M3) foi de  $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e foi superior aos manejos 1, 2, e 5 com média de  $0,056 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Segundo Soares et al. (2016), valores menores de macroporosidade podem significar deformação dos macroporos do solo ou presença de entupimento dos poros por parte da fração silte/argila, o que pode contribuir para uma possível compactação do solo.

**Tabela 3** - Macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt), relação macroporos/volume total de poros (Ma/Pt) e densidade (Ds) do solo, nos talhões de estudo com diferentes manejos orgânicos (M1, M2, M3, M4 e M5) e convencional com semeadura direta (M6). Entre Rios do Oeste - PR.

Manejo	Macroporosidade (Ma)	Microporosidade (Mi)	Porosidade total (Pt)	Relação Ma/Pt	Densidade do solo (Ds)
	-----m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> -----			m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	mg m <sup>-3</sup>
<b>0,00 - 0,10m</b>					
<b>M1</b>	0,11 <sup>ns</sup>	0,53 a	0,64 a	0,17 <sup>ns</sup>	1,51 <sup>ns</sup>
<b>M2</b>	0,12	0,49 ab	0,62 a	0,18	1,42
<b>M3</b>	0,12	0,45 b	0,59 ab	0,21	1,51
<b>M4</b>	0,10	0,48 ab	0,58 ab	0,18	1,50
<b>M5</b>	0,08	0,50 a	0,61 a	0,14	1,49
<b>M6</b>	0,08	0,48 ab	0,54 b	0,14	1,54
CV (%)	26,84	5,88	7,04	31,15	7,97
<b>0,10 - 0,20m</b>					
<b>M1</b>	0,06 b	0,52 <sup>ns</sup>	0,56 <sup>ns</sup>	0,10 b	1,62 <sup>ns</sup>
<b>M2</b>	0,06 b	0,49	0,55	0,09 b	1,51
<b>M3</b>	0,09 a	0,49	0,59	0,16 a	1,67
<b>M4</b>	0,07 ab	0,49	0,55	0,12 ab	1,59
<b>M5</b>	0,05 b	0,50	0,57	0,09 b	1,56
<b>M6</b>	0,07ab	0,47	0,54	0,12 ab	1,56
CV (%)	27,15	5,26	5,07	22,41	5,96

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna para cada camada, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). CV: coeficiente de variação. ns: não significativo. M1, M2, M3, M4 e M5 correspondem aos talhões com manejo orgânico tendo respectivamente 8, 6, 5, 4, e 3 anos de implantação deste sistema, e o M6 corresponde ao talhão com SCSD.

De forma geral, foi observada tendência de redução da macroporosidade em profundidade, chegando a  $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  na profundidade 0,10 - 0,20 m no manejo 5. A redução da macroporosidade em profundidade em áreas manejadas também foi evidenciada por Deimling et al. (2019) em área com SPD de soja com diferentes tipos de cobertura de inverno em Latossolo Vermelho. Apesar de não terem sido observadas diferenças para a profundidade de 0 - 0,10 m nos diferentes manejos, houve tendência no aumento da macroporosidade em função do tempo de implantação do manejo orgânico.

No presente estudo destaca-se que as áreas com manejo orgânico, possuem um sistema de rotação de cultura com grande diversidade de plantas e que estas tem sistemas radiculares diferenciados, como pode ser verificado na Tabela 2. A área

explorada por diferentes raízes de plantas promove maior rompimento de camadas compactadas; além disso, libera exsudatos que aumentam a atividade microbiana (SEIDEL et al., 2017).

Na profundidade de 0,10 - 0,20 m, em todos os manejos os valores da macroporosidade do solo são menores que  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Abaixo desse valor, a macroporosidade pode restringir as trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, limitar a presença de oxigênio para as raízes das plantas e afetar a dinâmica da microbiota do solo (BAVER, 1949; REICHERT et al., 2007).

Para a microporosidade (Mi) os valores não variaram em função do tempo de implantação do manejo orgânico. O menor valor observado foi no manejo 3 ( $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) sendo significativamente ( $p < 0,05$ ) inferior aos manejos 1 e 5 com  $0,53$  e  $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  respectivamente. O valor médio obtido neste estudo para microporosidade foi de  $0,49 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , sendo superior aos encontrados em outros estudos em Latossolo Vermelho avaliando diferentes sistemas de manejo (CUNHA et al., 2012; SEIDEL et al., 2017; FRANZISKOWSKI et al., 2019; DEIMLING et al., 2019).

Durante o processo de compactação do solo, um dos primeiros indicativos é a redução do tamanho dos poros, haja vista que a macroporosidade se forma, principalmente a partir do estabelecimento de espaços entre as unidades estruturais do solo. Os macroporos, responsáveis pela aeração do solo, diminuem e são substituídos por microporos (MORAES et al., 2011).

A porosidade total (Pt) é um importante indicador da qualidade física do solo. Um maior volume de poros reflete condições em que o solo sofreu pouca ou nenhuma alteração devido à pressão pelo tráfego de máquinas e animais ou revolvimento.

Na profundidade 0 - 0,10 m o manejo 6 (M6), apresentou o menor valor para Pt ( $0,54 \text{ mm}^3$ ), sendo significativamente ( $p < 0,05$ ) inferior aos manejos 1, 2 e 5 com média de  $0,62 \text{ mm}^3$ . Este resultado demonstra que a Pt sofreu alterações significativas em relação aos sistemas de manejo adotados. A diferença do volume total de poros, provavelmente se deu pelos sistemas de rotação e preparo do solo, pois o manejo 6 é o único que segue no sistema convencional com semeadura direta há 12 anos e sem rotação de culturas.

Os valores observados para a relação entre a macroporosidade e a porosidade total (Ma/Pt), apresentaram diferenças estatísticas apenas na camada de 0,10 - 0,20 m, sendo significativamente superior ( $p < 0,05$ ) no manejo 3 (M3), com  $0,16 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

Entretanto, não alcançou o valor mínimo considerado ideal para o desenvolvimento das culturas que é de  $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (TORRES; FABIAN; PEREIRA, 2011).

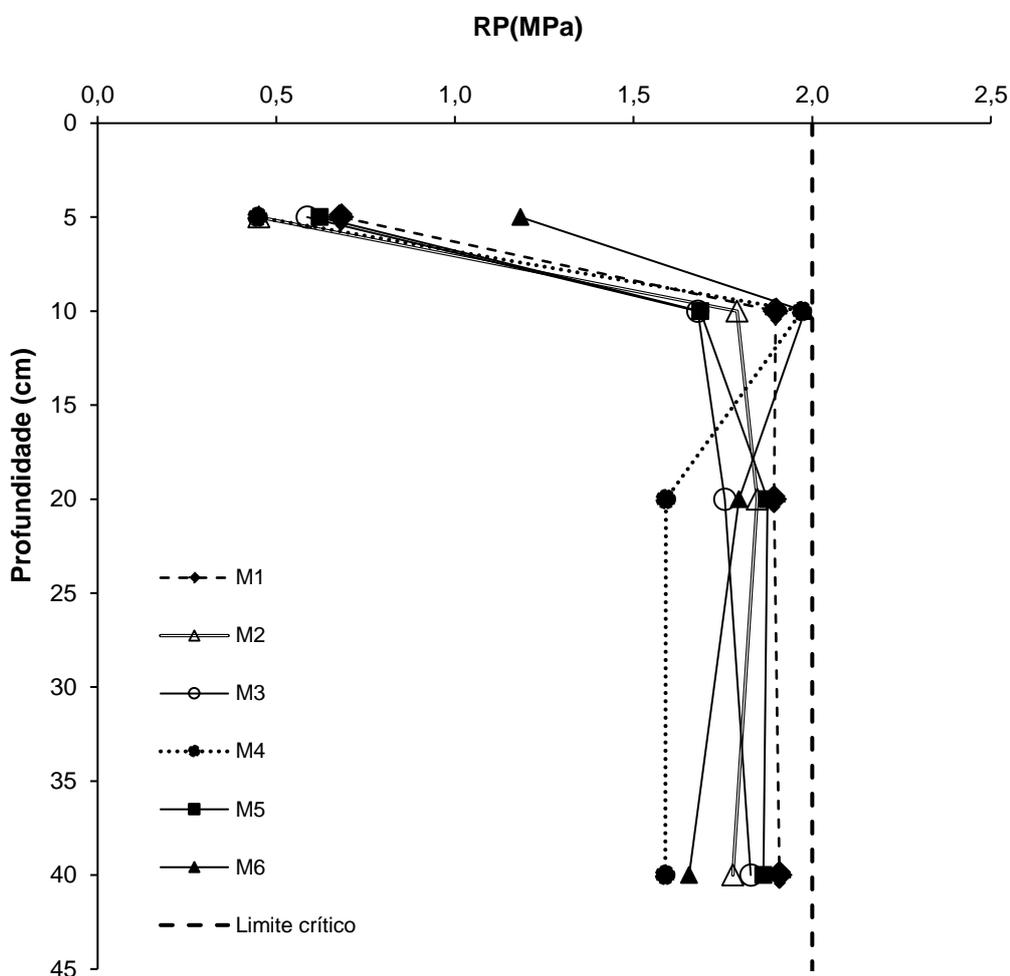
Valores abaixo do ideal para a relação  $\text{Ma/Pt}$  também foram encontrados em área de cultivo orgânico por Cunha et al. (2012), comparando diferentes preparos de solo, onde os valores variaram de 0,29 a  $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . No trabalho de Rosset et al. (2014), comparando sistemas de manejo e área de mata, os valores variaram de 0,17 a  $0,52 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ; porém, nota-se que em ambos os estudos houve tratamentos com valores mais próximos ao ideal, mostrando que independente do sistema de manejo adotado no presente estudo, nenhum deles está colaborando para a melhoria desta relação.

Para densidade ( $D_s$ ) não foram observadas diferenças significativas nas profundidades avaliadas. Porém, observa-se que em todos os manejos, em ao menos uma das profundidades, os valores estão acima do valor crítico que é de  $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$ . Acima destes valores podem ocorrer impedimentos no desenvolvimento radicular das culturas em solos muito argilosos. Torres et al. (2015), em estudo com diferentes plantas de cobertura em sistema de semeadura direta, também obtiveram  $D_s$  com valores acima do crítico, variando de 1,46 a  $1,66 \text{ Mg m}^{-3}$ , nas diferentes camadas avaliadas.

Nota-se uma tendência no aumento da  $D_s$  em profundidade, pois na camada de 0,10 - 0,20 m, o valor médio foi de  $1,59 \text{ Mg m}^{-3}$ . Valores elevados de  $D_s$ , podem ser ocasionados devido ao tráfego de máquinas nas operações de plantio, manejo e colheita (TORRES et al., 2015). No estudo realizado por Cherubin et al. (2015) foram comparados diferentes sistemas de preparo de solo com o solo da mata nativa; os valores médios de  $D_s$  na mata nativa foram de  $0,90 \text{ Mg m}^{-3}$  nas diferentes camadas avaliadas. Segundo Soares et al. (2016) os cultivos alteram os atributos naturais do solo, especialmente a densidade, macroporosidade, microporosidade, resistência do solo a penetração e volume total de poros.

Quanto à resistência do solo à penetração (RP), foi encontrada diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os diferentes usos e manejos do solo apenas para a profundidade até 0,10 m. O manejo 6, que segue no sistema convencional com semeadura direta (SCSD) apresentou a maior resistência, 1,2 Mpa, reflexo de sua menor porosidade total. Isso porque no SSD não há movimentação do solo; além disso, não houve rotação de cultura. A compactação do solo é a principal preocupação com o sistema de plantio direto (Figura 5).

Na Figura 5 são apresentados os valores médios para resistência do solo à penetração (RP), sendo utilizado como critério de limite crítico ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, a pressão de 2 Mpa (TORMENA et al., 1998).



**Figura 5** - Resistência do solo à penetração em MPa, na profundidade de 0 - 0,40 m. M1, M2, M3, M4 e M5 correspondem aos talhões com manejo orgânico tendo respectivamente 8, 6, 5, 4, e 3 anos de implantação deste sistema, e o M6 corresponde ao talhão com manejo em SCSD.

A partir dos 5 cm de profundidade, as áreas avaliadas começam a apresentar um aumento da resistência do solo, chegando próximo ao limite crítico, porém, sem ultrapassá-lo. A RP acima de 2 Mpa é indicativo de compactação e pode comprometer o desenvolvimento radicular da maioria das culturas, principalmente se as condições climáticas foram adversas (DRESCHER et al., 2016).

Os valores de RP são eficientes em discriminar áreas que possam oferecer menor condições para o crescimento e produção de raízes, pois com o aumento da compactação ocorre redução na capacidade da planta em absorver água e nutrientes

pelo sistema radicular (COSTA et al., 2012). De um modo geral aumentos de RP são relacionados à redução de macroporos e à elevada densidade do solo podendo estar relacionado a alguns tipos de sistemas radiculares e a falta de diversificação vegetal. De acordo com Portugal et al. (2008) grande densidade de raízes preenchendo grande proporção desses macroporos e dificultando a penetração no solo podem aumentar a RP.

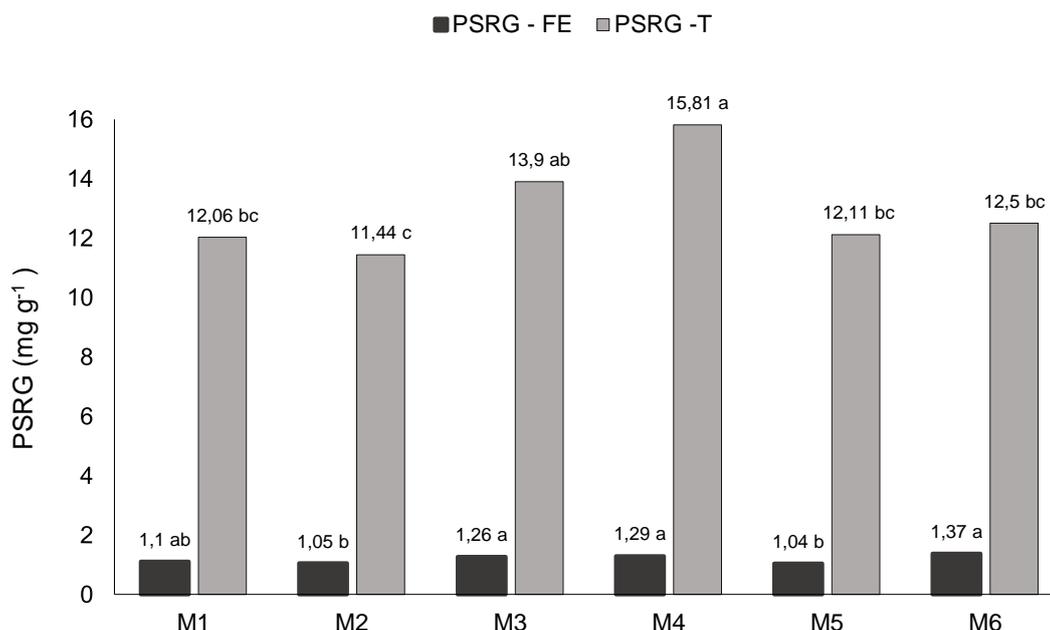
Outro fator que influencia na RP é o preparo inadequado do solo, pois, atua diretamente na compactação, proporcionando aumento na densidade, alterações na porosidade, retenção de água e aeração (MONTANARI et al., 2010).

A RP está relacionada com a permanência da continuidade dos poros, de forma que menores valores estão onde ocorrem menores perturbações. Aumento nos valores de RP foram observados em trabalho realizado por Anschau et al. (2018), onde diferentes coberturas de solo foram avaliadas em sistema de plantio direto (SPD); mesmo obtendo valores adequados para a Ds, os valores da RP foram considerados acima do limite crítico em algumas profundidades. Castagnara et al. (2012), em estudo com diferentes usos do solo também observaram valores de Ds aceitáveis e RP acima do limite.

No presente estudo, embora os valores para Ma e Ds tenham sido insatisfatórios em relação aos valores considerados críticos, este comportamento não se manteve no resultado da RP.

### **3.3.3 Proteína do Solo Relacionada à Glomalina**

Os valores observados para glomalina facilmente extraível (PSRG-FE) foram em média de 1,19 mg g<sup>-1</sup> de solo e foram observadas diferenças significativas (p <0,05) entre os manejos (Figura 6). Os teores encontrados por Sousa et al. (2014) em solo sob Caatinga na Paraíba, região Semiárida do Brasil, foram mais elevados, onde a média foi de 1,39 mg g<sup>-1</sup> para PSRG-FE. Em estudo de longa duração em sistema de preparo direto (12 anos), preparo convencional (15 anos) e vegetação nativa do cerrado, Cardoso (2017) encontrou valores que variaram de 2,91 a 6,49 mg g<sup>-1</sup> para PSRG-FE.



**Figura 6** – Conteúdo de proteína do solo relacionada a glomalina facilmente extraível (PSRG - FE) e proteína do solo relacionada a glomalina total (PSRG - T). M1, M2, M3, M4 e M5 correspondem aos talhões com manejo orgânico tendo respectivamente 8, 6, 5, 4, e 3 anos de implantação deste sistema, e o M6 corresponde ao talhão com manejo em SCSD. Médias seguidas de mesma letra entre os manejos, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

As concentrações de PSRG - FE em áreas agrícolas encontradas por Rillig et al. (2003) foram em torno de  $0,5 \text{ mg g}^{-1}$  solo, valores inferiores aos do presente trabalho ( $1,19 \text{ mg g}^{-1}$ ). A mesma situação foi observada no estudo de Balota et al. (2016), que avaliaram diferentes sistemas de preparo de solo com aplicação de água residuária de suinocultura a longo prazo na região Oeste do Paraná em Latossolo Vermelho Eutroférico de textura muito argilosa. Os valores encontrados por estes pesquisadores foram de  $0,22$  a  $0,45 \text{ mg g}^{-1}$  em sistema convencional e de  $0,58$  a  $0,78 \text{ mg g}^{-1}$  no plantio direto para PSRG - FE.

Para a PSRG - FE os menores teores foram observados nos manejos 2 e 5 (média de  $1,045 \text{ mg g}^{-1}$ ). No manejo 2 houve revolvimento do solo sete meses antes desta amostragem, o que pode ter contribuído para este valor. A redução da glomalina, assim como do COT em sistemas de cultivo, pode ser um indicador de perturbação no sistema. Borie et al. (2008) observaram efeito positivo sobre as concentrações de glomalina ao reduzir ou eliminar o revolvimento de solo. Segundo

estes autores, manejos sem a mobilização do solo preservam a integridade das hifas fúngicas que são as estruturas produtoras de glomalina.

O menor teor de glomalina observado no manejo 5, pode ter sido influenciado pela cobertura vegetal predominante de leguminosas. Enquanto os demais manejos tiveram ao menos três vezes a presença de gramíneas na rotação de cultura entre a safra de verão 2016/2017 até safra verão 2018/2019 (Tabela 2), o manejo 5 teve apenas um cultivo de gramínea em consórcio, sendo aveia com lab-lab.

O acúmulo de glomalina depende de muitos fatores, sendo alguns deles a composição da comunidade vegetal, a riqueza dos fungos micorrízicos, os sistemas de uso da terra e as propriedades do solo (TRESEDER; TURNER, 2007; SINGH et al., 2016).

Em relação a comunidade vegetal, as principais famílias de plantas utilizadas em cultivos agrícolas são das famílias *Poaceae* (gramíneas) e *Fabaceae* (leguminosas). Gramíneas e leguminosas possuem diferentes tipos de raízes e qualidade de resíduos produzidos. Para o processo de micorrização, as gramíneas se destacam devido à morfologia do seu sistema radicular, com maior volume de raízes finas, rápido crescimento e sistema abundante (CORDEIRO et al., 2005). O sistema radicular das leguminosas possui alta capacidade de fixação simbiótica de nitrogênio atmosférico, maior taxa de degradação de seus resíduos devido a menor relação carbono/nitrogênio, e apesar não se destacar como as gramíneas no processo de micorrização, as leguminosas podem favorecer o aumento da população de FMAs nativos do solo.

Observa-se na Figura 4 que o maior teor de PSRG - FE está no manejo 6; este resultado pode ser devido a adoção do sistema de semeadura direta há 12 anos, sem revolvimento. Da mesma forma a movimentação do solo pode ter prejudicado o manejo 2 que apresentou os menores teores. Possivelmente o fato de o solo não ter sido preparado tenha favorecido a preservação da estrutura do solo e das hifas fúngicas e com isso influenciou na manutenção dos agregados do solo que protegem a glomalina da degradação pelos microrganismos (SOUSA et al., 2012).

A decomposição de glomalina é diretamente influenciada pela agregação do solo, visto que maior agregação incrementa a proteção física no interior dos agregados (RILLIG, 2004) ou ainda pelo grau com que a molécula se encontra ligada às partículas do solo (TRESEDER; TURNER, 2007). Assim, percebe-se um benefício mútuo entre a concentração de glomalina no solo e os índices de agregação

observados. Isto pode ser corroborado no presente estudo pois, na profundidade de 0 - 0,10 m os manejos 2 e 5 apresentaram as menores massas de agregados com diâmetro maior que 2 mm (Figura 2), e os menores teores de PSRG - FE (Figura 6).

As frações de glomalina do solo aqui mensuradas através da PSRG - FE e PSRG - T, tem origem semelhante, porém, compreendem reservatórios com diferentes taxas de estabilidade e reposição. A PSRG - FE representa a fração recentemente formada no solo, que ainda não sofreu transformações bioquímicas e é mais suscetível a atividades de decomposição (WRIGHT et al., 1996). A PSRG - T representa a quantidade total de proteína no solo, tanto na superfície como no interior dos agregados e apresenta-se fortemente ligada às argilas (DRIVER et al., 2005; WRIGHT; UPADHYAYA, 1998).

Embora os mecanismos que regulam a produção de glomalina, e suas funções, ainda não estejam bem compreendidos (PURIN; RILLIG, 2007), supõem-se que os fatores influenciadores da simbiose micorrízica também influenciam na produção desta proteína pelos FMA. As características do solo, condições climáticas, práticas de manejo e uso do solo, são fatores que podem interferir na concentração de glomalina presente nos solos (WRIGHT et al., 1996; RILLIG et al., 2003; RILLIG, 2004; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Os valores de PSRG - T registrados neste estudo variaram de 11,44 a 15,81 mg g<sup>-1</sup> de solo. Estes teores estão acima dos encontrados por Sousa et al. (2014), sendo 2,57 a 3 mg g<sup>-1</sup>, e Balota et al. (2016) que registraram teores de 1,80 a 3,12 no plantio convencional e 2,52 a 4,77 mg g<sup>-1</sup> no plantio direto para a PSRG - T.

As concentrações de PSRG - T em áreas agrícolas encontradas por Rillig et al. (2003) foram em torno de 3 mg g<sup>-1</sup> solo. Já quando observados valores de glomalina em solos de floresta, Rillig et al. (2001) conseguiram extrair teores acima 60 mg g<sup>-1</sup> de solo. Os resultados desses autores evidenciam que a ausência de intervenções antrópicas promove condições favoráveis ao crescimento fúngico, e consequentemente à produção de glomalina ( SOUSA et al., 2012).

De acordo com Rillig et al. (2001) a glomalina total pode permanecer no solo por até 42 anos por conta da sua alta estabilidade, e em concentrações elevadas a estrutura do solo se encontra estável. A produção de glomalina é influenciada pelo estado de agregação do solo (RILLIG; STEINBERG, 2002), e independente do tipo de solo e manejo a sua concentração está relacionada a formação e estabilização dos agregados (WRIGHT; ANDERSON, 2000; WRIGHT et al., 2007).

As correlações entre os teores de glomalina e o IEA, DMP, DMG, COT, P e pH são apresentados na Tabela 5. Observa-se que não houve correlação entre os teores de glomalina e IEA, DMP e DMG e fósforo, mas houve correlação negativa entre PSRG - FE e COT e pH.

**Tabela 5** - Coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis, PSRG - FE e PSRG - T e o índice de estabilidade de agregados do solo (IEA), diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP), diâmetro médio geométrico do solo, carbono orgânico total (COT), fósforo (P) e potencial hidrogeniônico (pH).

	IEA	DMP	DMG	COT	P	pH
<b>PSRG - FE</b>	0,11 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	0,32 <sup>ns</sup>	- 0,48*	0,13 <sup>ns</sup>	- 0,42*
<b>PSRG - T</b>	0,14 <sup>ns</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	-0,13	0,13 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>

\*(p < 0.05)

De acordo com Wright e Upadhyaya (1998), a glomalina podem não exercer efeito sobre a agregação do solo quando a estabilidade é maior que 80%. No presente estudo, na profundidade de 0 a 0,10 m o índice de agregação médio ficou acima de 80% (Figura 4). Em solos cuja mineralogia predominante são óxidos de ferro e alumínio, os agentes biológicos têm participação secundária na agregação do solo. Portanto, não se observa correlação entre a glomalina e a agregação do solo.

Segundo Rillig; Steinberg (2002), em solos com menor grau de agregação, há maior produção de glomalina e a produção passa a decair quando o solo atinge estabilidade. A menor agregação pode ter influenciado na maior concentração de PSRG - FE observada no manejo 6 (Tabela 4). Truber e Fernandes (2014) também não encontraram significância nas correlações entre os parâmetros de agregação do solo e os teores de glomalina.

Inúmeros autores como Rillig et al. (2003), Rillig (2011), Nobre et al. (2015) e Silva et al. (2016), enfatizam a semelhança das dinâmicas de deposição e decomposição da glomalina e do carbono orgânico, e que os teores de glomalina são positivamente relacionados com teores de COT do solo. De forma geral, há contribuição da glomalina para o estoque de carbono nos solos e diversos trabalhos encontraram esta significância positiva na correlação entre o COT e as frações da

glomalina (PURIN et al., 2006; NOBRE et al., 2015; SILVA et al., 2016; BALOTA et al., 2016).

No presente trabalho não houve correlação significativa entre o COT e a PSRG – T; mas houve correlação negativa com a PSRG – FE. O carbono orgânico também é um dos indicadores mais consistentes da concentração de glomalina do solo. Após a senescência das hifas, a glomalina depositada no solo representa parte do COT do solo, tanto para solos de clima temperado quanto de clima tropical (RILLIG et al., 2001; LOVELOCK et al., 2004). Entretanto, no presente estudo esta correlação foi negativa. De acordo com Rillig e Steinberg. (2002), em solos estabilizados é mais provável que recursos sejam direcionados para a expansão do micélio do que para secreção de glomalina.

As concentrações de P não se correlacionaram com os teores de glomalina no solo. De acordo com Lovelock et al. (2004), solos com altas quantidades de P (Tabela 2) apresentam menores teores de glomalina. Moreira e Siqueira (2006) ressaltam que em condições de maior disponibilidade de P, sinais moleculares emitidos pela planta hospedeira são afetados, reduzindo os sítios de infecção e o estabelecimento da associação micorrízica, o que conseqüentemente afeta a produção de glomalina pelos FMA.

Em relação ao pH, houve correlação negativa para a PSRG - FE. Moreira e Siqueira (2006) ressaltam que de maneira geral, os fungos são mais adaptados a solos mais ácidos, enquanto, solos básicos favorecem as bactérias e actinomicetos. Segundo estes mesmos autores os FMAs, precursores da glomalina, têm grande plasticidade em relação a este fator. Porém, quando ocorrem mudanças do pH original do solo, podem ocorrer mudanças nas comunidades de FMAs indígenas. Na região oeste do Paraná os solos são naturalmente ácidos e para o uso na agricultura são comumente corrigidos. As espécies de FMAs originais deste solo são mais adaptadas a acidez e, portanto, beneficiadas com menores valores de pH, podendo este fator contribuir com os níveis de glomalina.

### 3.4 CONCLUSÕES

As práticas de manejo orgânico no talhão com maior tempo de implantação (oito anos) propiciaram agregados maiores e mais estáveis, demonstrando que o sistema de manejo orgânico e com rotação de cultura diversificada por longo período adotado está sendo eficiente na agregação do solo.

Na profundidade de 0 a 0,10 m os menores valores de DMP, DMG, porosidade total e RP foram observados no talhão que segue SCSD (M6) cultivado com uso de agroquímicos e sem rotação de culturas.

A glomalina PSRG - FE foi menor no manejo onde houve revolvimento e no manejo onde houve predomínio de cultivo de leguminosas.

A glomalina PSRG - T não se correlacionou com IEA, DMP e DMG, COT, P e pH do solo demonstrando que em Latossolos a mineralogia oxídica predomina na estabilidade dos agregados. PSRG - FE correlacionou-se negativamente com COT e pH.

## REFERÊNCIAS

- ANSCHAU, K. A.; SEIDEL, E. P.; MOTTIN, M. C.; LERNER, K. L.; FRANZISKOWSKI, M. A.; HERRMANN, D. da R. Propriedades físicas do solo , características agronômicas e produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura . **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 3, p. 293–299, 2018.
- BALOTA, É. L. **Manejo e Qualidade Biológica do Solo**. Londrina: Editora Mecenas, 2017.
- BALOTA, E. L.; MACHINESKI, O.; HONDA, C.; YADA, I. F. U.; BARBOSA, G. M. C.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Response of arbuscular mycorrhizal fungi in different soil tillage systems to long-term swine slurry application. **Land Degradation and Development**, v. 27, n. 4, p. 1141–1150, 2016.
- BAVEL, C. H. M. VAN. Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 14, p. 20–23, 1949.
- BAVER, L. D. Methods used in physical analyses of soils. **Soil Science**, v. 68, n. 1, p. 1–14, 1949.
- BELO, E. dos S.; TERRA, F. D.; ROTTA, L. R.; VILELA, L. A.; PAULINO, H. B.; SOUSA, E. D. de; VILELA, L. A. F.; CARNEIRO, M. A. C. Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de cerrado. **Global Science and Technology**, v. 5, n. 3, p. 107–116, 2012.
- BORIE, F.; RUBIO, R.; MORALES, A. Arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregation. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**, v. 8, n. 2, p. 9–18, 2008.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Crop Journal**, v. 72, p. 248–254, 1976.
- CARDOSO, F. C. de P. **Carbono orgânico e glomalina afetados por sistemas de cultivo de longa duração**. 2017. 59 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- CARVALHO, W. P. de; CARVALHO, G. J. de; ABADDE NETO, D. de O; TEIXEIRA L. G. V. Desempenho agronômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, n. 2, p. 157–166, 2013.
- CASTAGNARA, D. D.; TIAGO, N. K. J.; PIANO, J.; ZOZ, T.; ROSSOL, C. D.; RABELLO, O. P. S.; SEIDEL, E. P. Atributos físicos de Latossolo Vermelho sob pousio ou cultivado com forrageiras tropicais sob pastejo. **BioScience Journal**, v. 28, n. 1 p. 150–158, 2012.
- CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S. W.; SILVA, R. F.

DA; SILVA, V. R. DA; BASSO, C. J. Qualidade física, química e biológica de um latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 615–625, 2015.

CORDEIRO, M. A. S.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J. Colonização e densidade de esporos de fungos micorrízicos em dois solos do cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 3, p. 147–153, 2005.

COSTA, M. A. T.; TORMENA, C. A.; LUGÃO, S. M. B.; FIDALSKI, J.; NASCIMENTO, W. G. DO; MEDEIROS, F. M. de. Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 3, p. 993–1004, 2012.

CUNHA, E. de Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. D. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 56–63, 2012.

DEIMLING, K. A. A.; SEIDEL, E. P.; MOTTIN, M. C.; HERRMANN, D. da R.; FAVORITO, A. C. Soil physical properties and soybean productivity in succession to cover crops. **Revista Ceres**, v. 66, n. 3, p. 159–168, 2019.

DRESCHER, M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 2, p. 159–168, 2016.

DRIVER, J. D.; HOLBEN, W. E.; RILLIG, M. C. Characterization of glomalin as a hyphal wall component of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 37, n. 1, p. 101–106, 2005.

FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. S. Adubação verde com leguminosas em videira no Submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 641–648, 2004.

FRANCZISKOWSKI, M. A.; SEIDEL, E. P.; FEY, E.; ANSCHAU, K. A.; MOTTIN, M. C. Propriedades físicas do solo no sistema de plantio direto e preparo reduzido, cultivado com plantas de cobertura. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 6, p. 556–564, 2019.

GARDNER, W. R. Representation of soil aggregate-size distribution by a logarithmic-normal distribution. **Soil Science Society of America**, v. 20, p. 151–153, 1956.

HONTORIA, C.; GÓMEZ-PACCARD, C.; MARISCAL-SANCHO, I.; BENITO, M.; PÉREZ, J.; ESPEJO, R. Aggregate size distribution and associated organic C and N under different tillage systems and Ca-amendment in a degraded Ultisol. **Soil and Tillage Research**, v. 160, p. 42–52, 2016.

KLEIN, V. A.; VIEIRA, M. L.; DURIGON, F. F.; MASSING, J. P.; FÁVERO, F.

Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciencia Rural**, v. 38, n. 2, p. 365–371, 2008.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. dos. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1269–1276, 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; FERREIRA, E. P.; SILVA, E. M. R. da; BEUTLER, S. J. Distribuição dos agregados e carbono orgânico influenciados por manejos agroecológicos. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 31, n. 3, p. 523–528, 2009.

LOVELOCK, C. E.; WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A. Using glomalin as an indicator for arbuscular mycorrhizal hyphal growth: An example from a tropical rain forest soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, n. 6, p. 1009–1012, 2004.

MONTANARI, R.; PASSOS E CARVALHO, M. de; ANDREOTTI, M.; DALCHIAVON, F. C.; LOVERA, L. H.; HONORATO, M. A. de O. Aspectos da produtividade do feijão correlacionados com atributos físicos do solo sob elevado nível tecnológico de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1811–1822, 2010.

MORAES, M. T. ; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C. ;; SILVA, V. R. **Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico sob diferentes usos do solo** In: VI Jornada Acadêmica da Embrapa Soja, 6, 2011, Londrina. Resumos Expandidos. Londrina: Embrapa soja, 2011. p 46-50.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. de. Qualidade física de um Cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1196–1206, 2013.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; PINTO, L. F. D. **Atlas do Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2019.

NOBRE, C. P.; LÁZARO, M. L.; SANTO, M. M. E.; PEREIRA, M. G.; BERBARA, R. L. L. Agregação, glomalina e carbono orgânico na chapada do Araripe, Ceará, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 1, p. 138–147, 2015.

NOGUEIRA, L. R.; SILVA, C. F. da; PEREIRA, M. G.; GAIA-GOMES, J. H.; SILVA, E. M. R. da. Biological properties and organic matter dynamics of soil in pasture and natural regeneration areas in the atlantic forest biome. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1–13, 2016.

OLIVEIRA, D. M. S.; LIMA, R. P. de; VERBURG, E. E. J. Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquido suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 280–285, 2015.

OLIVEIRA, P. R. de; CENTURION, J. F.; CRUZ CENTURION, M. A. P. da; ROSSETTI, K. de V.; FERRAUDO, A. S.; FRANCO, H. B. J.; PEREIRA, F. de S.; JÚNIOR, L. S. B. Qualidade estrutural de um Latossolo Vermelho submetido à compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, p. 604–612, 2013.

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. da; SANTOS, B. C. M. dos. Atributos químicos e físicos de um cambissolo háplico tb distrófico sob diferentes usos na zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 249–258, 2008.

PURIN, S.; KLAUBERG FILHO, O.; STÜRMER, S. L. Mycorrhizae activity and diversity in conventional and organic apple orchards from Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 38, n. 7, p. 1831–1839, 2006.

PURIN, S.; RILLIG, M. C. The arbuscular mycorrhizal fungal protein glomalin: Limitations, progress, and a new hypothesis for its function. **Pedobiologia**, v. 51, n. 2, p. 123–130, 2007.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: **Tópicos em Ciência do Solo**, v. 49, n. 5, p. 49–134, 2007.

RILLIG, M. C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 84, n. 4, p. 355–363, 2004.

RILLIG, M. C.; RAMSEY, P. W.; MORRIS, S.; PAUL, E. A. Glomalin, an arbuscular-mycorrhizal fungal soil protein, responds to land-use change. **Plant and Soil**, v. 253, n. 2, p. 293–299, 2003.

RILLIG, M. C.; STEINBERG, P. D. Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: A mechanism of habitat modification? **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n. 9, p. 1371–1374, 2002.

RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A.; SCHMIDT, W. F.; TORN, M. S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil**, v. 233, n. 2, p. 167–177, 2001.

ROSSET, J. S.; LANA, M do C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; VINÍCIUS, M.; SARTO, M.; SEIDEL, E. P. Carbon stock, chemical and physical properties of soils under management systems with different deployment times in western region of Paraná, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 3053–3072, 2014.

ROSSET, J. S.; LANA, M. do C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Frações químicas e oxidáveis da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo, em Latossolo Vermelho. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1529–1538, 2016.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um

latossolo vermelho distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 1, p. 24–32, 2010.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; ARAUJO FILHO, J. C. OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. ed.5. Brasília, DF:Empapa Solos, 2018.

SAS INSTITUTE INC. SAS University Edition: instalation guide. Cary; SAS Institute, 2014. Disponível em: < [https://www.sas.com/pt\\_br/home.html](https://www.sas.com/pt_br/home.html) >. Acessado 10 de julho 2019.

SEIDEL, E. P.; REIS, W. dos; MOTTIN, M. C.; FEY, E.; SCHNEIDER, A. P. R.; SUSTAKOWSKI, M. C. Evaluation of aggregate distribution and selected soil physical properties under maize-jack bean intercropping and gypsum rates. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 14, p. 1209–1216, 2017.

SHARIFI, Z.; AZADI, N.; RAHIMI, S.; CERTINI, G. The response of glomalin-related soil proteins to fire or tillage. **Geoderma**, v. 329, n. May, p. 65–72, 2018.

SILVA, C. F. da; PEREIRA, M. G.; SANTOS, V. L. dos; MIGUEL, D. L.; SILVA, E. M. R. da. Fungos micorrízicos arbusculares: Composição, comprimento de micélio extrarradicular e glomalina em áreas de mata Atlântica, Rio de Janeiro. **Ciencia Florestal**, v. 26, n. 2, p. 419–433, 2016.

SINGH, A. K.; RAI, A.; SINGH, N. Effect of long term land use systems on fractions of glomalin and soil organic carbon in the Indo-Gangetic plain. **Geoderma**, v. 277, n. May, p. 41–50, 2016.

SOARES, M. D. R.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; CUNHA, J. M.; SANTOS, L. A. C.; FONSECA, J. S.; SOUZA, Z. M. de. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, n. 1, p. 9–15, 2016.

SOUSA, C. da S.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. de S. B.; LIMA, F. de S.; OEHL, F.; MAIA, L. C. Arbuscular mycorrhizal fungi in successional stages of caatinga in the semi-arid region of Brazil. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v. 24, n. 1, p. 137–148, 2014.

SOUSA, C. S.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. de S. B.; LIMA, F. S. Glomalina: características, produção, limitações e contribuição nos solos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 3033–3044, 2012.

SOUZA, H. A. de; VALENTEMARCELO, A.; CENTURION, J. F. Carbono orgânico e agregação de um Latossolo Vermelho com colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, n. 4, p. 658–663, 2012.

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, n. 12, p. 1301–1309, 2013.

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. Physical edaphology: the physics of irrigated and non-irrigated soils. **Journal Environmental Quality**, v. 3, n.2, p 188, 1972.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, Brasília, DF: Embrapa solos, 2017 p 63-65.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G.; SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 1, p. 301–309, 1998.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; PEREIRA, M. G. Alterações dos atributos físicos de um latossolo vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 3, p. 437- 445, 2011.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J. C.; FABIAN, A. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 609–618, 2005.

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L. de; SOUZA, Z. M. de. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 39, n. 2, p. 428–437, 2015.

TRESEDER, K. K.; TURNER, K. M. Glomalin in ecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, n. 4, p. 1257–1266, 2007.

TRUBER, P. V.; FERNANDES, C. Arbuscular mycorrhizal fungal communities and soil aggregation as affected by cultivation of various crops during the sugarcane fallow period. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 415–422, 2014.

WRIGHT, S.F., UPADHYAYA, A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi. **Soil Science**, v. 161, p. 575–586, 1996.

WRIGHT, S. F.; ANDERSON, R. L. Aggregate stability and glomalin in alternative crop rotations for the central Great Plains. **Biology and Fertility of Soils**, v. 31, n. 3–4, p. 249–253, 2000.

WRIGHT, S. F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J. B.; UPADHYAYA, A. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, v. 181, n. 2, p. 193–203, 1996.

WRIGHT, S. F.; GREEN, V. S.; CAVIGELLI, M. A. Glomalin in aggregate size classes from three different farming systems. **Soil and Tillage Research**, v. 94, n. 2, p. 546–549, 2007.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin,

a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, v. 198, n. 1, p. 97–107, 1998.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467–1476, 1988.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, v. 28, n. 5, p. 337–351, 1936.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os atributos microbiológicos e físicos avaliados nos capítulos 1 e 2, foram sensíveis em detectar as diferenças entre os manejos empregados nos talhões de estudo, revelando a degradação da qualidade de solo proveniente de algumas práticas adotadas.

No início do experimento os teores de COT foram superiores no sistema de manejo convencional com semeadura direta e no manejo com menor tempo de implantação do sistema orgânico que não teve movimentação do solo, influenciando de forma positiva nos atributos microbiológicos avaliados. Entretanto, na última etapa do experimento o COT obteve maiores teores nos talhões com maior tempo de implantação do manejo orgânico, o que refletiu positivamente nos atributos físicos avaliados. O teor de carbono orgânico do solo influenciou diretamente no incremento da biomassa microbiana, e participou da formação e estabilização dos agregados.

Com o decorrer do tempo de estudo houve uma evolução na qualidade do solo nos sistemas de manejo orgânico. Esta melhoria ocorreu após os resultados das primeiras avaliações microbiológicas relatadas no capítulo 1. Em função desses resultados, houve mudanças no sistema de preparo do solo dos talhões orgânicos, onde, evitou-se a movimentação do solo e deu-se prioridade para as adubações verdes com maior produção de massa seca e uso de sementes de qualidade evitando solos em pousio ou com baixa produção de cobertura de solo.

O estudo apresentado reafirma a importância da manutenção da cobertura do solo, do incremento da MOS e do uso da agricultura orgânica para a manutenção e melhoria da qualidade do solo.

Sobre a atuação dos manejos na qualidade do solo, salienta-se a importância de um maior período de pesquisa, utilizando esses sistemas de cultivo, para avaliar de forma integral as propriedades do solo e de suas influências.