

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

MARCOS CESAR MOTTIN

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA, PROPRIEDADES
FÍSICAS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE MILHO DE SEGUNDA SAFRA
CONSORCIADO COM PLANTAS DE COBERTURA E SOJA EM SUCESSÃO**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2019

MARCOS CESAR MOTTIN

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA, PROPRIEDADES
FÍSICAS DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE MILHO DE SEGUNDA SAFRA
CONSORCIADO COM PLANTAS DE COBERTURA E SOJA EM SUCESSÃO**

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

Orientadora: Dr^a. Edleusa Pereira Seidel

Coorientadores: Dr. Emerson Fey

Dr. Jean Sérgio Rosset

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2019

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

Mottin, Marcos Cesar

Caracterização química da matéria orgânica, propriedades físicas do solo e produtividade de milho de segunda safra consorciado com plantas de cobertura e soja em sucessão / Marcos Cesar Mottin; orientador(a), Edleusa Pereira Seidel; coorientador(a), Emerson Fey, coorientador(a)II, Jean Sérgio Rosset, 2019.
69 f.

Tese (doutorado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus Marechal Cândido Rondon, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2019.

1. Adubos verde. 2. Carbono orgânico. 3. Porosidade. 4. Resistência do solo à penetração. I. Seidel, Edleusa Pereira. II. Fey, Emerson. III. Rosset, Jean Sérgio. IV. 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.

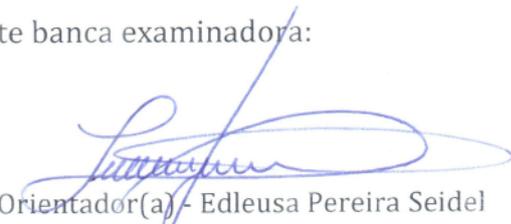


PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO

MARCOS CÉSAR MOTTIN

Caracterização química da matéria orgânica, propriedades físicas do solo e produtividade de milho de segunda safra consorciado com plantas de cobertura e soja em sucessão

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Manejo de Culturas, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Edleusa Pereira Seidel

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



Maria do Carmo Lana

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



Jean Sergio Rosset

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS)



Paulo Cesar Conceição

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)



Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

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

Marechal Cândido Rondon, 27 de fevereiro de 2019

Aos meus pais Algemir João Mottin e Edeli de Fátima Pavazzi Mottin, pelos conselhos e gestos sábios que me ensinam ao longo de suas vidas, os quais são muito importantes para mim.

A minha noiva Juliane de Lurdes Comarella e a seus pais Nédio Comarella e Célia Maria dos Santos Comarella que me ajudam nos momentos mais difíceis, pela dedicação, apoio e ensino para que eu pudesse dar mais um passo em minha vida e assim estar realizando mais um sonho.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida e por estar presente em todos os momentos iluminando e guiando os meus passos e dando coragem para vencer todas as batalhas, tornando tudo possível. Sou grato eternamente as suas graças e dons.

Aos meus Pais Algemir João Mottin e Edeli de Fatima Pavezzi Mottin, que nunca mediram esforços perante as dificuldades e crises. Que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e incentivando a buscar os meus sonhos. Sei que a vontade de vocês sempre foi a de me proporcionar as melhores coisas do mundo, mas que nem sempre isso é possível, mas saibam que os conselhos, o amor, carinho, atenção o afeto de vocês são as melhores coisas que os pais podem dar aos seus filhos. Agradeço imensamente a cada gesto de vocês em minha vida, a vocês devo a minha vida.

Ao meu grande e inigualável irmão Mateus Cleber Mottin, que através do seu jeito criança, sempre propôs bons momentos, com muita alegria, descontração e com boas risadas.

A minha noiva, amiga e companheira Juliane de Lurdes Comarella pelo amor, carinho, compreensão e companheirismo. Muito obrigado por estar sempre ao meu lado em todos os momentos de minha vida, sendo eles bons ou não. E também aos pais da minha namorada, Nédio e Célia Comarella, por me apoiar e acolher como filho sempre ajudando nos momentos que mais precisei.

A grande professora, orientadora e amiga, Edleusa Pereira Seidel, pela orientação durante os trabalhos desde a época do mestrado, amizade, confiança, paciência, dedicação e respeito. Muito obrigado pelas cobranças e ensinamentos, dessa forma, contribuindo de maneira imprescindível na minha vida profissional. Muito obrigado pela orientação e convívio durante esses cinco anos. Grande exemplo de dedicação, comprometimento e amor com a ciência.

Ao professor, amigo e coorientador Emerson Fey, pela imensurável ajuda durante todo o mestrado. Muito obrigado pela orientação, paciência, sinceridade, cobrança e respeito que teve por mim. Muito obrigado por sempre estar disposto em ajudar cientificamente com correções, sugestões e críticas. Tudo isso ajudou no processo de evolução profissional.

Ao professor, amigo e coorientador Jean Sérgio Rosset, pela confiança, companheirismo, orientação, ensinamento e cobranças. Muito obrigado por me atender sempre que precisei de sua ajuda e ensinamentos. Muito obrigado pelo ótimo convívio profissional e pessoal durante a Pós-Graduação.

Finalizando a parte de orientação, A vocês meus professores orientadores, amigos e companheiros, Edleusa Pereira Seidel, Emerson Fey e Jean Sérgio Rosset, terei sempre junto de mim o exemplo que vocês me passaram de profissionalismo, dedicação, otimismo, determinação e amor pela profissão. Sou e serei sempre grato a vocês. Espero que esse nosso “convívio” dure muito tempo.

A minha grande amiga Katiely Anschau pela ajuda com o desenvolvimento desse trabalho. Muito obrigado por sempre estar à disposição para a execução de cada uma das etapas. Muito obrigado pelas dicas, sugestões e críticas, sendo muito importantes para o desenvolvimento do conhecimento.

Ao meu grande amigo e companheiro Marcio Francziskowski. Muito obrigado pelo apoio, dedicação, companheirismo, respeito, incentivo e cobrança. Sempre estando a disposição para qualquer ajuda. Muito obrigado por ser um grande amigo, uma pessoa incrível e fantástica. Muito obrigado pela ajuda em todas as etapas desse trabalho.

A Monica Sustakowski, que também se tornou uma grande amiga, pela amizade e ajuda desde a época de mestrado, que sempre esteve disposta a me ajudar nas análises laboratoriais.

Ao Juceney Fernando Frondoloso, pela amizade, companheirismo, apoio e ajuda com os estudos durante toda a época de mestrado e agora no doutorado também.

Aos amigos de turma, pelo companheirismo e trabalho em equipe no decorrer do curso, pois foram de fundamental importância para o desenvolvimento do conhecimento e crescimento profissional.

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 Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agronomia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Marechal Cândido Rondon. Muito obrigado pelos ensinamentos, conselhos, amizade, críticas e sugestões. Foram muito importantes para o desenvolvimento desse trabalho e para o meu crescimento pessoal e profissional.

A professora Maria do Carmo Lanna, pela amizade, pelo seus ensinamentos, constantes ajudas e conselhos e por disponibilizar o laboratório de fertilidade de solo para realização de análises.

As secretárias do PPGA da UNIOESTE, Leila Dirlene Allievi Werlang pelo comprometimento, atenção e auxílio.

Agradeço a Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que esteve em parceria com a Fundação Araucária pela concessão de bolsa de auxílio ao estudo.

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

Muito obrigado!!!

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre
aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

BIOGRAFIA

Marcos Cesar Mottin, nascido em 12 de janeiro de 1991, em Tupãssi, estado do Paraná, filho de Algemir João Mottin e Edeli de Fatima Pavezzi Mottin. Ingressou no curso de Técnico em Agropecuária no Colégio Agrícola Estadual de Toledo (CAET), em Toledo - PR, no primeiro semestre do ano de 2006, onde formou-se em 2008. No primeiro semestre de 2009, ingressou no curso de Agronomia da Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), campus de Toledo, onde graduou-se em 2013. Em março de 2014, ingressou no Mestrado do Curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agronomia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Marechal Cândido Rondon, onde se tornou Mestre em Agronomia, na área da Produção Vegetal, com a linha de pesquisa em Manejo de Culturas. Em Fevereiro de 2016, ingresso no Doutorado do curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agronomia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Marechal Cândido Rondon.

RESUMO

MOTTIN, Marcos Cesar. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2019. **Caracterização química da matéria orgânica, propriedades físicas do solo e produtividade de milho de segunda safra consorciado com plantas de cobertura e soja em sucessão.** Orientadora: Edleusa Pereira Seidel. Coorientadores: Emerson Fey e Jean Sérgio Rosset.

O presente trabalho teve como objetivos: Avaliar a influência da cultura do milho de segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo, na qualidade do solo a partir das frações das substâncias húmicas da matéria orgânica do solo e no teor de carbono orgânico total do solo e; avaliar a influência da cultura do milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo na produtividade de massa seca, nas propriedades físicas do solo e na produtividade do sistema de sucessão soja e milho segunda safra. O cultivo da cultura do milho segunda safra foi realizado no ano agrícola de 2016 e 2017, entre os cultivos, também foi realizado o cultivo da soja da safra 2016 - 2017. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pela cultura do milho em monocultivo e com consórcio com diferentes plantas de cobertura do solo. As espécies de plantas utilizadas no consórcio foram: duas da família *Poaceae* (*Urochloa ruziziensis* e *Avena strigosa* S.) e duas da família *Fabaceae* (*Cajanus cajan* e *Crotalaria spectabilis*). A cultura da soja cultivada em sucessão sobre as diferentes palhadas. Os fatores avaliados nesse trabalho foram: Frações das substâncias húmicas da matéria orgânica do solo; Teor de carbono orgânico total do solo; Produtividade de massa seca; Volume de macroporos, microporos, porosidade total; densidade do solo; resistência do solo à penetração; Produtividade do sistema soja-milho segunda safra e a produtividade da cultura da soja. No primeiro ano o sistema de cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo aumentou o teor de carbono orgânico total e de suas frações. O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo da família *Poaceae* e *Fabaceae* aumentaram os teores de carbono orgânico total em profundidades diferentes; nas *Poaceae* houve aumento nos teores de carbono orgânico total na profundidade de 0 - 0,20 m, enquanto nas *Fabaceae* houve aumento na profundidade de 0,20 - 0,40m. As plantas de cobertura demonstraram grande potencial em promover a qualidade do solo no sistema de plantio direto. Após dois cultivos de milho consorciados com plantas de cobertura houve melhoria da qualidade da matéria orgânica do solo, observada na porcentagem de humina que representa a maior parte do carbono humificado. O sistema de consórcio milho segunda safra com plantas de cobertura do

solo, não promoveu o aumento de massa seca sobre o solo, nem influenciou na resistência do solo à penetração das raízes. O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura da família *Poaceae*, em especial a braquiária, é mais eficiente para o aumento da massa seca quando comparado a da família *Fabaceae*. Também são mais eficientes em promover melhorias na macroporosidade e redução na densidade do solo na profundidade de 0 - 0,10 m. E dentro da família *Poaceae* as braquiárias são mais eficientes do que a aveia preta. De maneira geral o cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo, promoveu melhorias na qualidade física do solo na profundidade de 0 - 0,10 m. Embora, o consórcio de milho com plantas de cobertura tenha melhorado a qualidade física do solo; o mesmo reduziu em 5% a produtividade de grãos (milho e soja) do sistema na safra agrícola do ano de 2016 e 2017. O cultivo da cultura da soja sobre a palhada do milho consorciado com plantas de cobertura do solo promoveu um aumento na produtividade de 0,19 Mg ha⁻¹. Sendo a maior produtividade da família *Fabaceae*, e dentro desta a soja em sucessão ao feijão guandu não promoveu um aumento de 5 % na produtividade.

Palavras-chave: Carbono orgânico, substâncias húmicas, adubos verde, *Poaceae*, *Fabaceae*, porosidade do solo, culturas de verão.

ABSTRACT

MOTTIN, Marcos Cesar. State University of West Paraná, February 2015. **Chemical characterization of organic matters, physical properties of the soil and second harvest corn productivity consorted with successive coverage and soybean plants.** Advisor: Edleusa Pereira Seidel. Co-Advisors: Emerson Fey e Jean Sérgio Rosset.

The objective of the present work was to evaluate the influence of maize crop of second crop intercropped with soil cover plants on soil quality from humic fraction fractions of soil organic matter and soil organic carbon content and; to evaluate the influence of maize crop second crop intercropping with soil cover plants on biomass productivity, soil physical properties and productivity of the soybean and second succession corn crop system. Cultivation of the second crop maize crop was carried out in the agricultural year of 2016 and 2017, and the soybean crop of the 2016 - 2017 crop was also cultivated. The experimental design was a randomized block design (DBC) with four repetitions. The plots were constituted by corn cultivation in monoculture and with a consortium with different soil cover plants. The species of plants used in the consortium were: two from the family *Poaceae* (*Urochloa ruziziensis* and *Avena strigosa* S.) and two from the family *Fabaceae* (*Cajanus cajan* and *Crotalaria spectabilis*). The cultivation of soybeans grown in succession on the different straw. The factors evaluated in this work were: Fractions of the humic substances of the organic matter of the soil; Total organic carbon content of soil; Dry mass yield; Volume of macropores, micropores, total porosity; soil density; soil penetration resistance; Productivity of the second soybean-corn crop system and the productivity of the soybean crop. In the first year the intercropping system of corn intercropped with soil cover plants increased the total organic carbon content and its fractions. Corn intercropping with soil cover plants of the family *Poaceae* and *Fabaceae* increased the total organic carbon contents at different depths; in the *Poaceae* there was an increase in the total organic carbon contents in the depth of 0 - 0.20 m, while in the *Fabaceae* there was an increase in the depth of 0.20 - 0.40 m. Cover plants have demonstrated great potential in promoting soil quality in the no-tillage system. After two corn intercropping with cover crops there was an improvement in the soil organic matter quality, observed in the percentage of humin that represents the greater part of the humified carbon. The second maize crop consortium system with soil cover plants did not promote the increase of dry mass on the soil, nor did it influence soil resistance to root penetration. The cultivation of corn intercropped with cover crops of the *Poaceae* family, especially the brachiaria, is more efficient for increasing the dry mass when compared to the

Fabaceae family. They are also more efficient in promoting improvements in macroporosity and reduction in soil density at depths of 0 - 0.10 m. And within the *Poaceae* family, brachiaria are more efficient than black oats. In general, maize intercropping with soil cover plants promoted better physical soil quality in the depth of 0 - 0.10 m. Although, the maize consortium with cover crops has improved the physical quality of the soil; it reduced the system's grain yield (corn and soybean) by 5% in the 2016 and 2017 crop years. The cultivation of soybean cultivation on corn straw intercropped with soil cover plants promoted an increase in productivity of 0.19 Mg ha⁻¹. Being the highest productivity of the family *Fabaceae*, and within this the soybean in succession to the dwarf pigeon bean promoted a 5% increase in productivity.

Keywords: Organic carbon, humic substances, green manures, *Poaceae*, *Fabaceae*, soil porosity, summer crops.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REFERÊNCIAS	7
3 CAPITULO 1: FRAÇÕES QUÍMICAS DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM FUNÇÃO DO CULTIVO DE MILHO CONSORCIADO COM PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO.....	13
3.1 RESUMO.....	13
3.2 ABSTRACT.....	13
3.3 INTRODUÇÃO	14
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	16
3.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo.....	16
3.4.2 Delineamento experimental, implantação e condução	17
3.4.3 Coleta de amostras de solos e análises laboratoriais	19
3.4.4 Análises estatísticas.....	20
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
3.6 CONCLUSÕES	30
3.7 REFERÊNCIAS.....	30
4 CAPITULO 2: EFEITO DO CULTIVO DE MILHO CONSORCIADO COM PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS NO SISTEMA DE SUCESSÃO SOJA E MILHO SEGUNDA SAFRA	36
4.1 RESUMO.....	36
4.2 ABSTRACT.....	37
4.3 INTRODUÇÃO	37
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	40
4.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo.....	40
4.4.2 Delineamento experimental, implantação e condução	42
4.4.3 Determinação da massa seca do consórcio	43
4.4.4 Coletas de amostras de solos e análises laboratoriais	44
4.4.5 Produtividade dos sistemas de sucessão soja e milho segunda safra	44
4.4.6 Análises estatísticas.....	45
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4.6 CONCLUSÕES	59
4.7 REFERÊNCIAS.....	59
5 CONCLUSÕES GERAIS	66

6 CONSIDERAÇÕES GERAIS	67
APÊNDICE	68

1 INTRODUÇÃO GERAL

O agronegócio é uma das principais atividades da economia nacional e de vital importância para a balança comercial brasileira, onde as culturas da soja (*Glycine max* L.) e do milho (*Zea mays* L.) são o carro chefe dos cultivos, dando destaque para maior área de soja na primeira safra e milho segunda safra no Oeste do Paraná (SOUZA et al., 2018).

A cultura da soja destaca-se, principalmente, devido a demanda mundial por óleos vegetais. Já o milho é utilizado em grãos para a alimentação humana e animal; ou como silagem na alimentação animal (SANTOS et al., 2010). O complexo da soja, isto é, “grão, óleo e farelo”, constitui-se em uma das mais importantes “commodities” nacionais, sendo responsável nas últimas safras pela captação de divisas no mercado internacional da ordem de US\$ 25,0 a US\$ 30,0 bilhões (ABIOVE, 2013).

O estado do Paraná foi responsável por 20,2% da produção de soja no Brasil (GRZEGOZEWSKI et al., 2017), evidenciando a importância econômica da cultura para o estado. Para o cultivo de milho na segunda safra destaca-se o estado do Paraná entre os cinco maiores estados produtores, ficando atrás apenas do Mato Grosso (SOUZA et al., 2018).

Devido ao crescente desenvolvimento agrícola a manutenção da massa seca vegetal presente no solo é de grande importância, isso porque a matéria orgânica atua de forma direta na estrutura do solo, promovendo alterações na porosidade, densidade, resistência mecânica, retenção de água no solo, auxilia no controle da erosão, entre outros fatores que são limitantes para o pleno desenvolvimento das culturas (CHIODEROLI et al., 2012). A necessidade de se aumentar a produtividade agrícola causando o mínimo de dano ao meio ambiente faz com que se adote cada vez mais o sistema de plantio direto. Este apresenta grandes vantagens, destacando-se os incrementos de matéria orgânica e as melhorias nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (ANSCHAU et al., 2018).

O sistema de plantio direto (SPD) é o sistema de manejo de solo predominante na agricultura brasileira (MERTEN et al., 2015), e sua eficiência está no manejo adequado do sistema solo, com práticas agrícolas conservacionistas (mecânica, edáfica e vegetativa) tendo destaque a utilização de plantas de cobertura do solo (CARVALHO et al., 2015). Na região Oeste do Paraná onde é possível o cultivo de milho segunda safra, o sistema de produção predominante é a sucessão de culturas entre soja e milho segunda safra, o qual aporta baixos resíduos ao solo o que pode ao longo dos anos prejudicar a qualidade do SPD.

Um dos princípios do SPD é a manutenção da cobertura na superfície do solo, o que contribui para o controle de plantas daninhas, redução da ação nociva da chuva e também promove o acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS) (FRANCZISKOWSKI et al., 2017) melhorando os níveis de carbono orgânico do solo (COS). O SPD, ao produzir e manter acima de oito toneladas de massa seca na superfície do solo proporciona diminuição da densidade da camada superficial, contribuindo para a infiltração de água e aeração, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular e a manutenção de maior umidade do solo, entre outros benefícios (SILVA et al., 2011; ALVES et al., 2013).

A MOS influencia os principais processos químicos, físicos e biológicos dos solos (HERMLE et al., 2008), e seu conteúdo de COS determina em grande parte a produtividade das culturas, a fertilidade e sustentabilidade dos solos agrícolas (WANDER, 2004). Devido aos seus benefícios em regular o estoque de carbono no solo, cada vez mais tem recebido atenção mundial na manutenção da sustentabilidade do sistema agrícola (BANWART et al., 2014).

A lixiviação, erosão, volatilização e a decomposição, são os principais processos responsáveis pelas perdas do COS (MILESI, 2010); e estes, podem ser reduzidas através do manejo adequado dos solos. Teoricamente, a quantidade de COS é determinada pelas entradas e saídas de carbono (C) no solo (XIÃO et al., 2017), sendo influenciada pelo preparo do solo, espécies de plantas cultivadas, rotação de culturas, adubação e manejo dos restos culturais (CAMPOS et al., 2016).

Dentre os sistemas de manejo sustentáveis existentes uma opção que consiste no consórcio da cultura do milho segunda safra com plantas de cobertura do solo. A cultura do milho é uma das plantas mais favoráveis para ser utilizada nesse sistema de cultivo (SEIDEL et al., 2017) devido a sua grande adaptação fisiológica ao sistema de consórcio. No consórcio, a produção de massa seca aportada ao solo geralmente é maior do que quando em monocultivo, o que irá favorecer e promover, ao longo dos anos, a manutenção das propriedades do solo.

O cultivo em consórcio é um sistema em que, numa mesma área, são implantadas duas ou mais espécies, convivendo juntas, em parte ou todo seu ciclo, possibilitando aumento de produtividade no sistema (PORTES et al., 2003). Chioderoli et al. (2010) afirmam que o consórcio pode proporcionar o aumento da quantidade de palha, melhorando a cobertura do solo, e proporcionado melhores condições para a realização da semeadura direta; além de ser capaz ao longo dos anos de cultivo, de promover aumento na produtividade da cultura subsequente.

Por não existir uma planta ideal, devido as inúmeras funções, vantagens e desvantagens de cada espécie, qualquer vegetal pode ser utilizado como planta de cobertura do solo, desde que cultivada em monocultivo (NOZAKI; VENDRÚSCOLO; 2010; SANTOS; SEDIYAMA; PEDROSA, 2013). Entretanto, quando se fala em consorciação de plantas de cobertura com milho a escolha das espécies que serão usadas, deve-se tomar muito cuidado. As espécies precisam ser adaptas as condições de clima da região, não competir com a cultura principal, atender aos objetivos propostos e suas sementes terem custo viável ao produtor.

Dentre as inúmeras família de plantas de cobertura as da família *Poaceae* se destacam por apresentarem o sistema radicular do tipo fasciculado e denso, grande aporte de massa seca com grande persistência na superfície do solo devido à alta relação carbono/nitrogênio (C/N) (CALVO et al., 2010), permitindo uma decomposição mais lenta, quando comparadas às *Fabaceae*. As *Poaceae* proporcionam rapidamente melhorias na qualidade física do solo; aumento na porosidade, maior estabilidade de agregados (KONDO et al., 2012); promovendo uma melhor reestruturação da camada arável, além de promoverem maior descompactação (FERREIRA; TAVARES; FERREIRA, 2010), devido ao grande volume e comprimento do sistema radicular dessas plantas.

Também ganha destaque as plantas da família *Fabaceae* por apresentarem adição de nitrogênio ao solo pelo processo de fixação biológica (SANTOS et al., 2013). Além disso, apresentam uma relação C/N mais baixa, favorecendo à rápida decomposição, promovendo grande volume de biomassa decomposta (PITTELKOW et al., 2012).

A ausência de revolvimento do solo, e a contínua deposição de resíduos vegetais na superfície no SPD resulta em redução na sua degradação (MENTGES et al., 2010). No SPD o aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial do solo, com o decorrer do tempo de sua implantação; aliado a ausência de revolvimento, promove redução da taxa de decomposição do material vegetal aportado ao solo, diminuindo sua taxa de mineralização e favorece melhorias nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas (SALES et al., 2018).

Considerada uma das principais responsáveis pela qualidade física do solo a MOS, interfere na formação de agregados estáveis, na relação adequada entre macro e microporos e na retenção de água, que afetam direta, ou indiretamente, a produtividade das culturas implantadas (BRACALIÃO; MORAES, 2008). Iwata et al. (2010) afirmam que a MOS, ou melhor, seu teor no solo, é o atributo que melhor representa a qualidade do solo, devido a sua elevada tendência a sofrer alteração de acordo com as práticas de manejo realizadas.

Vale destacar que nem sempre um solo com elevado teor de MOS é um solo de boa qualidade (CAETANO et al., 2013), pois o acúmulo de C na MOS pode ocorrer tanto nas

frações lábeis quanto estáveis (BALIN et al., 2017), sendo influenciado pela quantidade de material no solo e sua relação C/N, condições climáticas e práticas de manejo (LUO et al., 2010). A avaliação precisa das frações do COT no solo torna-se muito importante (KNOX et al., 2015) a fim de conhecer a constituição das diferentes frações que compõem a MOS, como o C da fração humificada (BEZERRA et al., 2013), sendo então possível avaliar a qualidade do solo (LOSS et al., 2010).

A fração humificada constitui aproximadamente 70 a 80% da MOS (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) e 85 a 90% do COT (GUERRA et al., 2008) sendo composta por ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM), que são metodologicamente fracionados em função de sua solubilidade a diferentes valores de pH e compõe as substâncias húmicas (SH) da MOS (ROSSI et al., 2011).

Em regiões tropicais, um dos grandes problemas para sustentabilidade do sistema de plantio direto são as altas taxas de decomposição do material orgânico, levando à necessidade de produção de grandes quantidades de palha (CHIODEROLI et al., 2012).

As SH possuem grande importância em solos tropicais e subtropicais altamente intemperizados, pois as mesmas promovem o fornecimento de nutrientes as culturas, auxiliam na complexação de elementos tóxicos e micronutrientes, promovem melhor infiltração e retenção de água, promovem aeração do solo e atividade microbiana, entre outros fatores, os quais torna-as componente indispensável para a capacidade produtiva do solo (STEVENSON, 1994). A formação das SH é caracterizada por um processo complexo baseado na síntese dos produtos da mineralização dos compostos orgânicos que são aportados ao solo (CANELLAS et al., 2003).

Os AF são solúveis em meio alcalino e ácido diluído, é a fração mais reativa entre as substâncias húmicas (PRIMO et al., 2011) sendo os principais responsáveis pelos mecanismos de transporte de cátions no solo (BENITES et al., 2003). Os AH são solúveis em meio alcalino e insolúveis em meio ácido diluído (PRIMO et al., 2011), são responsáveis pela maior capacidade de troca catiônica (CTC) de origem orgânica nas camadas superficiais do solo (BENITES et al., 2003). A HUM é insolúvel em meio alcalino e ácido, e apresentam reduzida capacidade de reação (PRIMO et al., 2011), no entanto, é responsável pela agregação das partículas minerais do solo (BENITES et al., 2003).

A qualidade física assume importância na avaliação do grau de degradação do solo e na identificação de práticas de uso sustentáveis, isso porque a mesma afeta a parte química e biológica do solo (SANTOS et al., 2011). As propriedades físicas do solo são afetadas pelas diferentes práticas de manejo, e algumas são utilizadas como indicadoras de qualidade física

do solo (QFS), destacando-se entre elas: a resistência a penetração (RP), densidade (Ds), porosidade do solo e a estabilidade de agregados do solo (PACHECO; CANTALICE, 2011), as quais sofrem influência direta ou indireta do teor de MO presente no solo (DEMATTE et al., 2011).

A formação da estrutura do solo por meio da agregação das partículas de areia, silte e argila depende do teor de argila e também da MOS; pois a mesma, promove a ação cimentante entre as partículas, o que torna os agregados mais estáveis e favorece a manutenção das propriedades físicas do solo (CHENU et al., 1994; SIX et al., 2004). Além disso, a ação do sistema radicular das plantas de cobertura é capaz de favorecer a agregação das partículas, melhorando a qualidade estrutural do solo (SALTON et al., 2008).

A MOS possui influência no processo de formação e estabilização dos agregados, sendo que existem estudos que comprovam a correlação entre a matéria orgânica e a agregação do solo. Quanto maior o teor de MOS, maior será a estabilidade da estrutura do solo (FONTANA et al., 2010; PORTUGAL et al., 2010). A formação de agregados mais estáveis no solo é de grande importância para a melhoria e manutenção da qualidade do solo, pois acaba promovendo nos espaços internos poros para o desenvolvimento das raízes das plantas, movimentação de água no solo e trocas gasosas (MACEDO, 2009; MORETI et al., 2007; AGUIAR et al., 2010).

A resistência do solo a penetração (RP), densidade do solo (Ds) e porosidade do solo estão relacionadas ao bom desenvolvimento e estabelecimento das culturas (ROBOREDO et al., 2010); sendo que a Ds e porosidade são utilizadas como parâmetros para complementar e confirmar as avaliações de RP (STEFANOSKI et al., 2013). A verificação de camadas compactadas é realizada por meio do penetrômetro, que mede a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover no perfil, como as raízes das plantas, possibilitando a identificação de locais com ocorrência de impedimentos físicos ao desenvolvimento radicular (LIMA; LEÓN; SILVA, 2013).

Para os níveis críticos de RP, por serem dependentes de diferentes fatores, como estrutura do solo e comportamento radicular das culturas, não apresentem um único valor de referência, mas vários são aceitos e citados na literatura (BETIOLI Júnior et al., 2012). Os valores de 2,0 MPa têm sido associados a condições de impedância ao crescimento de raiz e parte aérea das plantas (SILVA; TORMENA; IMHOFF, 2002). Entretanto, em condições de maior umidade, pode ocorrer o crescimento radicular em RP superiores a 4,0 MPa (DEXTER; WATTS, 2000).

Alterações na porosidade do solo interferem diretamente no sistema de trocas gasosas e disponibilidade de água e estão relacionadas a compactação do solo, ou seja, em um solo acima dos limites críticos de RP sofre alterações na quantia de macro e microporos presentes no solo, o que também são indicativos de restrição ao desenvolvimento radicular das plantas de cobertura (REINERT; REICHERT, 2006).

Em solos argilosos, os valores adequados de PT variam entre 0,43 e 0,52 m³ m⁻³ e são fortemente influenciados pelo tipo de cultivo, vegetação e pela compactação do solo (REINERT; REICHERT, 2006). De acordo com Andrade, Stone e Silveira (2009) para que o solo apresente boa aeração e retenção de água ele deve apresentar PT próxima ou acima de 0,50 m³ m⁻³, sendo que 1/3 deve ser de macroporos e 2/3 de microporos, onde valores de Ma inferiores a 0,10 m³ m⁻³ já podem afetar negativamente o desenvolvimento das culturas.

A preocupação com a sustentabilidade dos sistemas agrícolas é crescente e está em evidência nos últimos anos, e por isso o uso de sistemas de manejo que busquem a manutenção da qualidade do solo tornam-se cada dia mais necessários, destacando-se o manejo empregado como o componente principal para se manter a qualidade física, química e biológica do solo (LOSS et al., 2011), e conseqüentemente promover um maior rendimento das culturas.

Esse fato torna fundamental estudos de sistemas de produção envolvendo rotação, sucessão e/ou consorciação de culturas, principalmente, visando sensibilizar o produtor rural e a assistência técnica para sua adoção (BRANDT et al., 2006).

A partir do exposto, esse trabalho desenvolvido na propriedade particular agrícola Água Vitória no município de Tupãssi - PR e na Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), em parceria com a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) em acordo com a Fundação Araucária, teve como hipótese: O cultivo do milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo, influenciam nas propriedades físico-químicas do solo e na produtividade de grãos do sistema soja e milho segunda safra. Para avaliar essa hipótese, a dissertação foi dividida em dois capítulos com diferentes objetivos:

Capítulo I, intitulado como “Frações químicas do carbono orgânico do solo em função do cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo”, teve como objetivo: avaliar a influência da cultura do milho de segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo, na qualidade do solo a partir das frações das substâncias húmicas da matéria orgânica do solo e no teor de carbono orgânico total do solo.

Capítulo II, intitulado como “Efeito do cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo nas propriedades físicas do solo e na produtividade de grãos no sistema de sucessão soja e milho segunda safra”, teve como objetivo: avaliar a influência da cultura do milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo na produtividade de massa seca, nas propriedades físicas do solo e na produtividade do sistema de sucessão soja e milho segunda safra.

2 REFERÊNCIAS

ABIOVE. **Cultura da soja**. ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, 2013. Disponível em: <<http://www.matsuda.com.br/>> Acesso em: 01 de fevereiro de 2019.

AGUIAR, R. A.; MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; BERNADES, T. G.; JESUS, R. P. Sustentabilidade de sistemas orgânicos com plantas de cobertura na cultura do arroz por meio de alterações físicas do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 2, p. 142-149, 2010.

ALVES, V. B.; PADILHA, N. de S.; GARCIA, R. A.; CECCON, G. Milho safrinha consorciado com *Urochloa ruziziensis* e produtividade da soja em sucessão. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.3, p. 280-292, 2013.

ANDRADE, R. S.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 411- 418, 2009.

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**, Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 3, jul./set., p. 293-299, 2018.

BALIN, N. M.; ZIECH, A. R. D.; OLIVEIRA, J. P. M.; GIRARDELLO, V. C.; STUMPF, L.; CONCEIÇÃO, P. C. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 3, 2017.

BANWART, S. A.; NOELLEMAYER, E., MILNE, E. **Soil carbon, multiple benefits**. **Environ**, Dev. 13, 33–38., 2014.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, **Comunicado Técnico**, 7p., 2003.

BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; FERREIRA, C. J. B.; SILVA, ÁLVARO, P.; GIAROLA, N. F. B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um

Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 36, n. 3, p. 971-982, 2012.

BEZERRA, R. P. M.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Formas de carbono em latossolo sob sistemas de plantio direto e integração lavoura-pecuária no cerrado, Goiás. **Semina**, v.34, p.2637-2654, 2013.

BRANDT, E. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; MARCHETTI, M. E. Desempenho agrônômico de soja em função da sucessão de culturas em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 869-874, 2006.

BRACALIÃO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo Vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 32, 393 - 404, 2008.

CAETANO, J. O.; BENITES, V. de M.; SILVA, G. P.; SILVA, I. R. da; ASSIS, R. L. de; CARGNELUTTI FILHO A. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milheto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1245-1255, 2013.

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

CAMPOS, M.C.C.; SOARES, M.D.R.; NASCIMENTO, M.F.; SILVA, D.M.P. Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 2, 2016.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 935-944, 2003.

CARVALHO, A. M.; COSER, T. R.; REIN, T. A.; DANTAS, R. de A.; SILVA, R. R.; SOUZA, K. W. Manejo de plantas de cobertura em duas épocas e efeito no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 01-11, 2015

CHENU, C.; GUÉRIF, J.; JAUNET, A.M. Polymer bridging: A mechanism of clay and soil structure stabilization by polysaccharides. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 1994, Acalpulco. **Anais...**, Acalpulco. World. Mexico, 1994. p. 403-410.

CHIODEROLI, C. A.; MELO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Consorciação de braquiárias com milho outonal em plantio direto sob pivô central. **Engenharia Agrícola**, Campina Grande, v. 30, n. 6, p. 1101-1109, 2010.

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

CORREA, E. A.; MORAES, I. C.; GUEDES JUNIOR, E.; COUTO JUNIOR, A.; PINTO, S. A. F. P.; **Revista Geonorte**, v.10, n.1, p. 141-146, 2014.

DEMATTE, J. A. M.; BORTOLETTO, M. A. M.; VASQUES, G. M.; RIZZO, R. Quantificação de matéria orgânica do solo através de modelos matemáticos utilizando colorimetria no sistema Munsell de cores. **Bragantia**, v. 70, p. 590-597, 2011.

DEXTER, A.R.; WATTS, C. Tensile strength and friability. In: SMITH, K.; MULLINS, C. **Soil and environmental analysis, physical methods**. New York: Marcel Dekker, p. 401-430, 2000.

FONTANA, A.; BRITO, R. J. de; PEREIRA, M. G.; LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 05, p. 291 - 297, 2010.

GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CAMARGO, F.A.O. Macromoléculas e substâncias húmicas. 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**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, p. 19-25, 2008.

GRZEGOZEWSKI, D. M.; URIBE-OPAZO, M. A.; JERRY A. JOHANN³, J. A.; GUEDES, L. P. C. Spatial correlation of soybean productivity, enhanced vegetation index (evi) and agrometeorological variables. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.37, n.3, p.541-555, maio/jun. 2017.

HERMLE, S.; ANKEN, T.; LEIFELD, J.; WEISSKOPF. The effect of the tillage system on soil organic carbon content under moist, cold-temperate conditions. **Soil and Tillage Research**, v. 98, p.94-105, 2008.

IWATA, B. de F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; BRASIL, E. L.; COSTA, C. do N.; CAMPOS, L. P.; SANTOS, F. S. R. dos. Carbono total e carbono microbiano de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no cerrado piauiense. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, **Anais...**, EMBRAPA Meio-Norte, 2010.

KNOX N. M, GRUNWALD S, MCDOWELL M. L, BRULAND G. L, MYERS D. B, HARRIS W. G. Modelling soil carbon fractions with visible near-infrared (VNIR) and mid-infrared (MIR) spectroscopy. **Geoderma**, v. 239-240, p. 229-239, 2015.

KONDO, M. K.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; WENDLING, B.; SILVA, P. B.; CARDOSO, M. M. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agronômicas do sorgo granífero. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 28, suplemento 1, p. 33-40, 2012.

LIMA, R. P.; LEÓN, M. J.; SILVA, A. R. Resistência mecânica à penetração sob diferentes sistemas de uso do solo. **Scientia Plena**, v. 9, n.6, p.1-7, 2013.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C. dos; SILVA, E. M. R. da. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 913-922, 2010.

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

LUO, Z. K.; WANG, E. L.; SUN, O. J. Soil carbon change and its responses to agricultural practices in Australian agro-ecosystems: A review and synthesis. **Geoderma**, Amsterdam, v. 155, n. 3/4, p. 211-223, 2010.

MACEDO, M. C. M. Interação lavoura e pecuária: O estado da arte e inovação tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, Suplemento 1, p. 133–146, 2009.

MENTGES, M. I.; REICHERT, J. M.; ROSA, D. P.; VIEIRA, D. A.; ROSA, V. T.; REINERT, D. J. Propriedades físico-hídricas do solo e demanda energética de haste escarificadora em argissolo compactado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 315-321, 2010.

MERTEN, G. H; ARAÚJO, A. G.; BISCAIA, R. C. M.; BARBOSA, G. M. C.; CONTE, O. No-till surfsasse runoff and soil losses in the southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 152, p. 85-93, 2015.

MILESI, J. **Análise temporal do carbono orgânico de solos sob diferentes fitofisionomias do Pantanal Matogrossense**. 2010. 57 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

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

MORETI, D.; ALVES, M. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; CARVALHO, M. P. Atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo, adubações e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 167-175, 2007.

NOZAKI, M. D. H.; VENDRÚSCOLO, M. Características químicas e densidade global de um latossolo vermelho eutrófico cultivado com plantas de cobertura em Toledo-PR. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 1245-1252, 2010.

PACHECO, E. P.; CANTALICE, J. R. B. Análise de trilha no estudo dos efeitos de atributos físicos e matéria orgânica sobre a compressibilidade e resistência à penetração de um argissolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 2, p. 403-415, 2011.

PITTELKOW, F. K; SCARAMUZZA, J. F; WEBER, O. L. S; MARASCHIN, L, VALADÃO, F. C. A; OLIVEIRA, E. S. Produção de biomassa e acúmulo de nutrientes em plantas de cobertura sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Agrarian**, v. 5, p. 212:222, 2012.

PORTES, T. DE A.; CARVALHO, S. I. C. DE; KLUTHCOUSKI, J. Aspectos Fisiológicos das Plantas Cultivadas e Análise de Crescimento da *Brachiaria* Consorciada com Cereais. In: Klathcouski, J.; Stone, L. F. e Aidar, H. **Integração Lavoura-Pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p. 303- 330, 2003.

PORTUGAL, A. F.; JUNCKSH, I.; SCHAEFER, C. E. R. G.; NEVES, J. C. de L. Estabilidade de agregados em Argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. **Revista Ceres**, v. 57, p. 545-553, 2010.

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. da. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, vol. 7, n. 5, 2011.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, 18 p., 2006.

ROBOREDO, D.; MAIA, J. C. S.; OLIVEIRA, O. J.; ROQUE, C. G. Uso de dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica de um Latossolo Vermelho Distrófico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 307-314, 2010.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações húmicas da matéria orgânica do solo cultivado com soja sobre palhada de braquiária e sorgo. **Bragantia**, v. 70, p. 622-630, 2011.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na Amazônia legal. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n.1, p. 1-15, 2018.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 11-21, 2008.

SANTOS, G. G.; SILVA, E. M.; MARCHÃO, R. L.; SILVEIRA, P. M.; BRUAND, A.; JAMES, F.; BECQUER, T. Analysis of physical quality of soil using the water retention curve: Validity of the S-index. C. R. **Geoscience**, v. 343, p. 295-301, 2011.

SANTOS, I. C.; SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W. Adubação verde no cultivo de hortaliças. **Circular Técnica**, Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, v. 1, n. 179, p. 1-6, 2013.

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.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; IMHOFF, S. Intervalo hídrico ótimo. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo-sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Funep, p. 1-18, 2002.

SILVA, D. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p. 147-156, 2011.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) agregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 79, p. 7-31, 2004.

SOUZA, A. E. de; REIS, J. G. M. dos; RAYMUNDO, J. C.; PINTO, R. S. Estudo da produção do milho no brasil: regiões produtoras, exportação e perspectivas. **South American Development Society Journal**, v. 4, n. 1, p 182-194, 2018.

STEFANOSKI, D. C.; SOUZA, T. R. S. de; SANTOS, I. L. dos; ALENCAR, V. S. de; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L. **Densidade, resistência à penetração e porosidade sob sistemas de manejo em Latossolo do Cerrado piauiense**. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 28 de julho a 02 de agosto, 2013.

XIAO, H.; LI, Z; CHANG, X.; HUANG, J.; NIE, X.; LIU, C.; LIU, L.; WANG, D.; DONG, Y.; JIANG, J. Soil erosion-related dynamics of soil bacterial communities and microbial respiration. **Applied Soil Ecology**, v. 119, p. 205- 213, 2017.

WANDER, M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function. In: MAGDOFF, F.; WEIL, R. R. (Eds.). **Soil organic matter in sustainable agriculture**. London, p. 67-102, 2004.

3 CAPITULO 1: FRAÇÕES QUÍMICAS DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO EM FUNÇÃO DO CULTIVO DE MILHO CONSORCIADO COM PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO

3.1 RESUMO

O teve como objetivo avaliar a influência da cultura do milho de segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo, na qualidade do solo a partir das frações das substâncias húmicas da matéria orgânica do solo e no teor de carbono orgânico total do solo. O trabalho experimental foi realizado nos anos de 2016 e 2017 no cultivo da cultura do milho de segunda safra. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pela cultura do milho com e sem consorcio com diferentes plantas de cobertura do solo. As espécies de plantas utilizadas no consórcio foram: duas da família *Poaceae* (braquiária e aveia preta) e duas da família *Fabaceae* (feijão guandu anão e crotalária). No primeiro ano o sistema de cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo aumentou o teor de COT e de suas frações. O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo da família *Poaceae* e *Fabaceae* aumentaram os teores de COT em profundidades diferentes; nas *Poaceae* houve aumento nos teores de COT na profundidade de 0 - 0,20 m, enquanto nas *Fabaceae* houve aumento na profundidade de 0,20 - 0,40m. As plantas de cobertura demonstraram grande potencial em promover a qualidade do solo no sistema de plantio direto. Após dois cultivos de milho consorciados com plantas de cobertura houve melhoria da qualidade da matéria orgânica do solo, observada na porcentagem de humina que representa a maior parte do carbono humificado.

Palavras-chave: Matéria orgânica do solo, qualidade do solo, sistemas de cultivo, *Zea mays*

3.2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the influence of second crop maize intercropping with soil cover plants on soil quality from humic fraction of soil organic matter and soil organic carbon content. The experimental work was carried out in the years 2016 and 2017 in the cultivation of second crop maize. The experimental design was a randomized block design (DBC), with four replications. The plots were constituted by maize cultivation with and without consortium with different soil cover plants. The species of plants used in the

consortium were: two from the family *Poaceae* (bracharya and black oats) and two from the *Fabaceae* family (dwarf pigeon pea and crotalaria). In the first year the maize cultivation system consortium with soil cover plants increased the TOC content and its fractions. The cultivation of maize intercropped with soil cover plants of the family *Poaceae* and *Fabaceae* increased the TOC levels at different depths; in the *Poaceae* there was an increase in the TOC contents in the depth of 0 - 0.20 m, while in the *Fabaceae* there was an increase in the depth of 0.20 - 0.40 m. Cover plants have demonstrated great potential in promoting soil quality in the no-tillage system. After two corn intercropping with cover crops there was an improvement in the soil organic matter quality, observed in the percentage of humin that represents the greater part of the humified carbon.

Keywords: Soil organic matter, soil quality, cropping systems, *Zea mays*.

3.3 INTRODUÇÃO

O sistema de plantio direto (SPD) é o sistema de manejo de solo predominante na agricultura brasileira (MERTEN et al., 2015), e sua eficiência está no manejo adequado do sistema solo, com práticas agrícolas conservacionistas (mecânica, edáfica e vegetativa) tendo destaque a utilização de plantas de cobertura do solo (CARVALHO et al., 2015). Na região Oeste do Paraná onde é possível o cultivo de milho segunda safra, conhecido popularmente como milho safrinha, o sistema de produção predominante é a sucessão de culturas entre soja e milho segunda safra, esse sistema de produção gera baixo aporte de resíduos ao solo, comprometendo o SPD.

Um dos princípios do SPD é a manutenção da cobertura na superfície do solo, o que contribui para o controle de plantas daninhas, redução da ação nociva da chuva e também promove o acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS) (FRANCZISKOWSKI et al., 2017) melhorando os níveis de carbono orgânico do solo (COS). A MOS influencia os principais processos químicos, físicos e biológicos dos solos (HERMLE et al., 2008), e seu conteúdo de COS determina em grande parte a produtividade das culturas, a fertilidade e sustentabilidade dos solos agrícolas (WEIL; MAGDOFF, 2004). Devido aos seus benefícios para a sustentabilidade mundial, pois regulam o estoque de carbono no solo, cada vez mais tem recebido atenção (BANWART et al., 2014).

A lixiviação, erosão, volatilização e a decomposição, são os principais processos responsáveis pelas perdas do COS (MILESI, 2010), e podem ser reduzidas através do manejo

adequado dos solos. Teoricamente, a quantidade de COS é determinada pelas entradas e saídas de carbono (C) no solo (XIAO et al., 2017), sendo influenciada pelo preparo do solo, espécies de plantas cultivadas, rotação de culturas, adubação e manejo dos restos culturais (CAMPOS et al., 2011).

Assim, é cada vez mais necessário o desenvolvimento de um sistema de cultivo que seja produtivo e ao mesmo tempo traga a sustentabilidade ao solo. Uma alternativa é o consórcio da cultura do milho segunda safra com plantas de cobertura do solo. A cultura do milho é uma das plantas mais favoráveis a esse sistema de cultivo (SEIDEL et al., 2017) devido a sua grande adaptação ao sistema de consórcio (SEIDEL et al., 2018). Vale ressaltar que independentemente da planta de cobertura do solo utilizada no sistema de consórcio, há uma maior produção de massa seca tanto aérea quanto radicular com seu uso (SEIDEL et al., 2017).

As plantas da família *Poaceae* se destacam por apresentarem o sistema radicular do tipo fasciculado e denso (BRANCALIÃO et al., 2015), grande aporte de massa seca com grande persistência na superfície do solo devido à alta relação carbono/nitrogênio (C/N) (CALVO et al., 2010). As plantas da família *Fabaceae* por apresentarem adição de nitrogênio ao solo pelo processo de fixação biológica (SANTOS et al., 2013). Além disso, apresentam uma relação C/N mais baixa, favorecendo à rápida decomposição (BRANCALIÃO et al., 2015), promovendo grande volume de biomassa decomposta (PITTELKOW et al., 2012).

Vale destacar que nem sempre um solo com elevado teor de MOS é um solo de boa qualidade (CAETANO et al., 2013), pois o acúmulo de C na MOS pode ocorrer tanto nas frações lábeis quanto estáveis (BALIN et al., 2017), sendo influenciado pela quantidade de material no solo e sua relação C/N, condições climáticas e práticas de manejo (LUO et al., 2010). A avaliação precisa das frações do COT no solo torna-se muito importante (KNOX et al., 2015) a fim de conhecer a constituição das diferentes frações que compõem a MOS, como o C da fração humificada (BEZERRA et al., 2013), cada fração tem um papel diferenciado nas propriedades físico-químicas do solo. Por meio da análise de sua constituição, utilizar como indicador da qualidade do solo (BARRETO et al., 2011) e estabelecer as melhores práticas de manejo dos solos.

A fração humificada constitui aproximadamente 70 a 80% da MOS (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) e 85 a 90% do COT (GUERRA et al., 2008) sendo composta por ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM), que são metodologicamente fracionados em função de sua solubilidade a diferentes valores de pH (ROSSI et al., 2011).

Os AF são solúveis em meio alcalino e ácido diluído, é a fração mais reativa entre as substâncias húmicas (PRIMO et al., 2011) sendo os principais responsáveis pelos mecanismos de transporte de cátions no solo (BENITES et al., 2003). Os AH são solúveis em meio alcalino e insolúveis em meio ácido diluído (PRIMO et al., 2011), são responsáveis pela maior capacidade de troca catiônica (CTC) de origem orgânica nas camadas superficiais do solo (BENITES et al., 2003). A HUM é insolúvel em meio alcalino e ácido, e apresentam reduzida capacidade de reação (PRIMO et al., 2011), no entanto, é responsável pela agregação das partículas minerais do solo (BENITES et al., 2003).

Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo avaliar a influência da cultura do milho de segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo, na qualidade do solo a partir das frações das substâncias húmicas da matéria orgânica do solo e no teor de carbono orgânico total do solo.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo

O trabalho foi realizado na propriedade particular agrícola Água Vitória no município de Tupãssi – PR, localizada nas coordenadas geográficas 24° 38' 18,72'' de latitude sul e 53° 34' 33,49'' de longitude oeste, a 488 metros de altitude em relação ao nível do mar. Conforme a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com verões quentes, com temperaturas médias superiores a 22°C e invernos com temperaturas médias e inferiores a 18°C e uma precipitação pluviométrica média anual de 1600 - 1800 milímetros (CAVIGLIONE, 2000). De acordo com Santos et al. (2018), o solo da propriedade é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, textura muito argilosa, relevo suave ondulado. Anteriormente a implantação do experimento, a área estava sendo cultivada com sistema de produção de sucessão de culturas entre soja e milho segunda safra, em SPD.

Previamente à implantação do experimento, foi realizada a coleta de amostras deformadas de solo na profundidade de 0 - 0,20 m para a determinação das características químicas e granulométricas. As análises químicas foram realizadas de acordo com a metodologia de Raij et al. (2001). Os resultados apresentados foram: pH (CaCl₂) = 5,85; M.O. = 35,16 g dm⁻³; P = 61,71 mg dm⁻³; Ca²⁺ = 5,78 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 1,52 cmol_c dm⁻³; K⁺ = 0,35 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 cmol_c dm⁻³; H⁺ + Al³⁺ = 3,54 cmol_c dm⁻³ e V (%) = 68,36. Para a

determinação granulométrica foi utilizado o método do densímetro de Bouyoucos, conforme Embrapa (1997). Os resultados foram: 843 g kg⁻¹ de argila, 86 g kg⁻¹ de silte e 71 g kg⁻¹ de areia.

Na Figura 1, são apresentados os dados meteorológicos mensais referentes a precipitação pluviométrica total e as médias das temperaturas máximas e mínimas ocorridas durante o período de condução do experimento. Os dados foram fornecidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar), da estação localizada no município de Assis Chateaubriand.

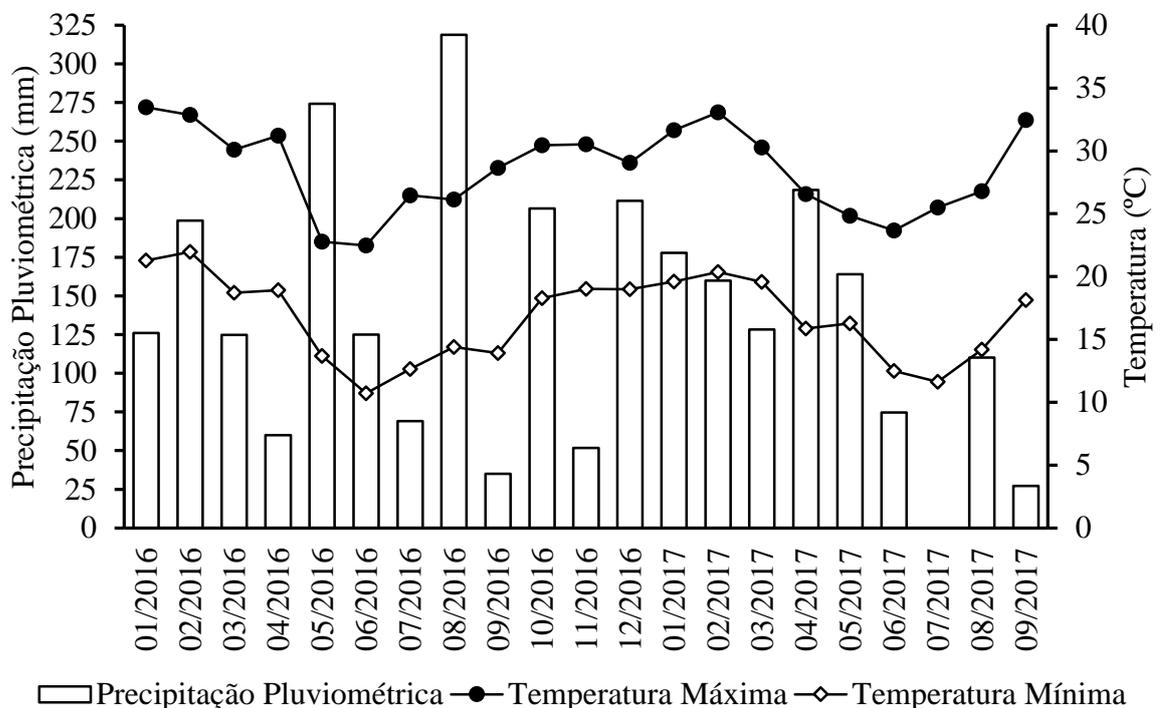


Figura 1 - Dados meteorológicos mensais das precipitações pluviométricas totais e médias das temperaturas máximas e mínimas no período de 01/2016 a 09/2017.

Fonte: Simepar.

3.4.2 Delineamento experimental, implantação e condução

O trabalho experimental foi realizado nos anos de 2016 e 2017 no cultivo da cultura do milho segunda safra. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pela cultura do milho em monocultivo e com consórcio com diferentes plantas de cobertura do solo. As espécies de plantas utilizadas no consórcio foram: duas da família *Poaceae* (*Urochloa ruziziensis* e *Avena strigosa* S.) e duas da família *Fabaceae* (*Cajanus cajan* e *Crotalaria spectabilis*). Cada parcela foi

composta por 30,0 m de comprimento e 10,0 m de largura, totalizando 300 m². À área útil de cada parcela foi calculada descartando 2,0 m de cada extremidade e 1,0 m de cada uma das laterais, totalizando 208,0 m².

Com exceção da aveia preta (*Avena strigosa* S.), a implantação dos consórcios, milho com plantas de cobertura do solo, foram realizadas mecanicamente de forma simultânea utilizando a semeadora de Plantio Direto Semeado modelo PAR 2800, com a terceira caixa para a semeadura de plantas forrageiras, realizada no dia 24/01/2016 e 31/01/2017. Entre as linhas na cultura principal, foram mantidos os componentes de depósito das sementes, compostos por disco sulcador da semente, rodas limitadoras de profundidade e rodas de compactação da semente com sistema em forma de “V”, objetivando o maior contato da semente da braquiária (*Urochloa ruziziensis*) com o solo, e também, a semeadura em linha das plantas de cobertura feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalária (*Crotalaria spectabilis*) com uma profundidade de aproximadamente 5 mm.

Dessa forma, a aveia preta foi semeada manualmente a lanço, nas entre linhas, quando a cultura do milho estava no estágio reprodutivo R3 (grão leitoso), utilizando 60 kg ha⁻¹ da cultivar IAPAR 61 Ibiporã; a braquiária, semeada em cobertura, com a deposição das sementes direcionadas nas entre linhas da cultura do milho, utilizando 10 kg ha⁻¹, com valor cultural de 76%; as plantas de cobertura do solo da família *Fabaceae* foram semeadas nas entre linhas da cultura do milho, utilizando 50 kg ha⁻¹ de feijão guandu anão e 25 kg ha⁻¹ de crotalária.

O milho utilizado nos dois anos de cultivo foi o híbrido simples P4285YHR com tratamento industrial de sementes com o inseticida sistêmico do grupo químico dos Neonicotinóide, na dose de 240 g i.a. ha⁻¹ de Clotianidina para cada 100 kg de semente. O espaçamento entre linhas utilizado foi de 0,90 m, com 6 sementes por metro linear. Para a adubação de base utilizou-se 372 kg ha⁻¹, do formulado 12-18-12 e 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura quando a cultura apresentava-se no estágio vegetativo V3 (terceira folha desenvolvida).

O controle de plantas daninhas foi realizado através de capina manual, e o controle dos insetos praga foram realizados conforme as necessidades da cultura principal, sendo utilizado como base para os controles as recomendações técnicas da Embrapa para a cultura do milho. Visando o controle preventivo de doenças fúngicas na cultura do milho, realizou-se uma aplicação de fungicida com 75,0 g i.a. ha⁻¹ de Trifloxistrobina + 150,0 g i.a. ha⁻¹ de Tebuconazol, quando a cultura apresentava-se em pré-pendoamento. Após a colheita da cultura do milho, final do mês de julho, as plantas tiveram mais um período de 30 - 40 dias

para continuar seu desenvolvimento. Após esse período, final do mês de agosto, as plantas foram manejadas utilizando 3 kg ha⁻¹ do equivalente Ácido Glifosato.

3.4.3 Coleta de amostras de solos e análises laboratoriais

Após um período de aproximadamente 20 dias do manejo das plantas de cobertura do solo, iniciou-se a coleta das amostras de solo para o fracionamento químico da MOS. Foram efetuadas 4 amostragens simples em cada parcela a fim de se obter uma amostra simples representativa. As amostras de solo foram coletadas nas profundidades de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m de profundidade.

As análises foram realizadas nos Laboratórios de Física dos Solos e de Fertilidade e Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná *Campus* de Marechal Cândido Rondon. A determinação do COT do solo foi realizada através da metodologia adaptada de Yeomans e Bremner (1988). O fracionamento químico da MOS foi realizado seguindo a técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (SWIFT, 1996), conforme adaptações de Benites, Madari e Machado (2003). Assim, foi quantificados os teores de C orgânico das frações de AF, AH e HUM, mediante a oxidação do carbono por dicromato de potássio em meio sulfúrico sob aquecimento e, titulação com sulfato ferroso amoniacal. Em seguida, foram calculadas as relações AH/AF e extrato alcalino (EA) (EA=AH+AF)/HUM para verificar os processos de humificação da MOS; e o percentual de cada fração (%AF, %AH e %HUM) e do carbono não humificado (%CNH) em relação ao COT.

Para a determinação dos teores de C orgânico das substâncias húmicas do solo, primeiramente pesou-se a massa de 1,0 g de solo, o qual foi adicionado 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹, agitado manualmente por 1 minuto e deixado em repouso por 24 horas. Após o período de repouso, efetuou-se a separação do EA da HUM por meio da centrifugação a 3800 rpm por 30 minutos a 10°C. Em seguida reservou-se o EA, e adicionou-se mais 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ na fração HUM e agitou-se até a ressuspensão total do material precipitado, deixando em repouso por uma hora, e posteriormente centrifugado a 3800 rpm por 30 minutos a 10°C; o sobrenadante foi recolhido juntamente com o EA já reservado, que resultou em um volume final de aproximadamente 40 mL. A fração HUM foi retirada dos tubos de centrifugação e transferida para placas de petri e colocadas em estufa até a secagem completa a 50°C.

Posteriormente, efetuou-se o ajuste do pH do EA a 1,0 ($\pm 0,1$) com H_2SO_4 20%, em seguida colocou-se em geladeira para decantação por 18 horas. O material precipitado (AH) foi separado da fração solúvel (AF) por meio de centrifugação a 3800 rpm por 30 minutos a 10°C . O AF foi reservado e seu volume completado 45 mL com NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ e posteriormente aferido a 50 mL com água destilada. No AH adicionou-se NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ até o volume de 45 mL e agitou-se até completa solubilização, em seguida aferiu-se o volume a 50 mL com água destilada.

A determinação do C orgânico das frações AF e AH foi realizada através do uso de alíquotas de 5,0 mL do extrato, submetidas a 1,0 mL de dicromato de potássio $0,042 \text{ mol L}^{-1}$ e 5,0 mL de H_2SO_4 concentrado, posteriormente colocadas em bloco digestor a 150°C durante 30 minutos. Após o resfriamento, efetuou-se a adição de indicador ferroin e titulação com sulfato ferroso amoniacal $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$. A fração HUM o C foi determinado usando a massa de 0,5 g, submetida a 5,0 mL de dicromato de potássio $0,1667 \text{ mol L}^{-1}$ e 10,0 mL de H_2SO_4 concentrado, posteriormente colocado em bloco digestor a 150°C por 30 minutos e após seu resfriamento, foi efetuado a adição de indicador ferroin e titulado com sulfato ferroso amoniacal $0,25 \text{ mol L}^{-1}$.

Para a determinação do COT do solo, utilizou-se uma massa de solo de 0,5 g passada em peneira de 0,2 mm (60 mesh) submetida a 5 mL de dicromato de potássio $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ e 7,5 mL de H_2SO_4 concentrado e posteriormente colocadas em bloco digestor a 170°C por 30 minutos. Após o resfriamento adicionou-se aproximadamente 50 mL de água destilada e indicador ferroin e efetuou-se a titulação com sulfato ferroso amoniacal $0,2 \text{ mol L}^{-1}$.

3.4.4 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram tabulados e analisados quanto a normalidade e homogeneidade através dos testes de Lilliefors e Bartlett, respectivamente. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância considerando um nível de significância de 5 % para o teste F. As variáveis em que a relação entre o maior e menor quadrado médio do resíduo (QMr) dos anos avaliados (2016 e 2017) menor que 7:1, foram submetidas a análise de variância conjunta considerando um nível de significância de 5 % para o teste F. Quando significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade, utilizando o software estatístico Genes (CRUZ, 2008).

Diante dos sistemas de cultivo utilizados na cultura do milho: Milho+Braquiária (MB); Milho+Aveia (MA); Milho+Feijão guandu anão (MF); Milho+Crotalária (MC) e

Milho (M), os seguintes contrastes foram estabelecidos para as comparações: C₁: (MB+MA+MF+MC) X (M); C₂: (MB+MA) X (MF+MC); C₃: MB X MA e; C₄: MF X MC. Além disso, foram comparados os dois anos de cultivo (2016 e 2017) pelo seguinte contraste: C₅: 2016 X 2017.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados do quadrado médio do resíduo (QMr) e a relação entre o maior e menor QMr das variáveis analisadas nos cultivos de milho na segunda safra consorciados com plantas de cobertura do solo nos anos de 2016 e 2017. As variáveis COT, AF, AH, EA, CNH, AH/AF, EA/HUM, AF%, AH% HUM% e CNH% nas profundidades de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m foi possível realizar a análise de variância conjunta, assim como para a HUM na profundidade de 0,20 - 0,40 m. No entanto, a variável HUM na profundidade de 0 - 0,20 m, não apresentou homogeneidade entre os QMr, pois teve uma relação superior a 7:1, não sendo possível a realização da análise de variância conjunta a esta variável (BANZATTO; KRONKA, 2006; PIMENTEL GOMES, 2009).

Tabela 1 - Resultados do quadrado médio do resíduo (QMr) e a relação entre o maior e menor QMr das variáveis analisadas em função do cultivo de milho na segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo nos anos de 2016 e 2017

Variáveis	QMr					
	2016	2017	Relação	2016	2017	Relação
	0 - 0,20 m			0,20 - 0,40 m		
COT	0,5094	0,2452	2,0770*	0,3263	0,6293	1,9288*
AF	0,0694	0,0285	2,4358*	0,0695	0,0186	3,7315*
AH	0,0456	0,0447	1,0207*	0,1230	0,0460	2,6734*
HUM	0,6147	0,0498	12,3374**	0,6696	0,1208	5,5441*
EA	0,1290	0,1157	1,1156*	0,2061	0,0778	2,6501*
CNH	1,3685	0,3809	3,5928*	1,2904	0,5511	2,3416*
AH/AF	0,0046	0,0025	1,8754*	0,1122	0,0036	3,1302*
EA/HUM	0,0012	0,0009	1,2703*	0,0018	0,0012	1,4789*
AF%	1,9482	1,1661	1,6707*	1,3637	1,7771	1,3032*
AH%	1,0534	1,2186	1,1568*	2,6559	1,3720	1,9358*
HUM%	11,0136	3,1819	3,4613*	16,6730	14,4475	1,1540*
CNH%	22,3720	9,3688	2,3879*	28,6112	21,5356	1,3286*

*: Relação menor que 7:1, permite a análise de variância conjunta de dados.

** : Relação maior que 7:1, não permite a análise de variância conjunta de dados.

Não houve diferenças significativas ($p > 0,01$ e $p > 0,05$) no teor do COT na comparação entre o cultivo do milho em monocultivo e em consórcio com plantas de cobertura do solo

(braquiária, aveia, feijão guandu anão e crotalária), observada no contraste C₁ na profundidade de 0 - 0,20 m (Tabela 2).

Tabela 2 - Teores de carbono orgânico total (COT) e de carbono orgânico das frações humificadas da MOS ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HUM), extrato alcalino (EA), carbono não humificado (CNH) e relações ácido húmico/ácido fúlvico (AH/AF) e extrato alcalino/humina (EA/HUM) nos cultivos de milho na segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo nos anos de 2016 e 2017 nas profundidades de avaliação de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m

Tratamentos	g kg ⁻¹							
	COT	AF	AH	HUM	EA	CNH	AH/AF	EA/HUM
0 - 0,20 m								
MB	20,00	3,47	1,38	Na	4,86	3,61	0,40	0,42
MA	20,53	4,90	2,67	Na	7,57	2,37	0,54	0,71
MF	22,05	3,78	2,48	Na	6,27	4,03	0,67	0,53
MC	21,63	3,58	2,03	Na	5,61	2,81	0,56	0,43
M	20,96	3,76	1,57	Na	5,33	4,40	0,40	0,47
Contrastes								
C ₁	0,09 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,57 ^{**}	Na	0,74 ^{**}	-1,20 ^{ns}	0,14 ^{**}	0,05 ^{**}
C ₂	-1,58 ^{**}	0,50 ^{**}	-0,23 ^{ns}	Na	0,27 ^{ns}	-0,43 ^{ns}	-0,14 ^{**}	0,08 ^{**}
C ₃	-0,53 ^{ns}	-1,42 ^{**}	-1,28 ^{**}	Na	-2,71 ^{**}	1,24 ^{ns}	-0,14 ^{**}	-0,29 ^{**}
C ₄	0,42 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,45 ^{**}	Na	0,66 [*]	1,21 ^{ns}	0,10 [*]	0,10 ^{**}
2016	22,90	3,91	2,29	Na	6,20	5,00	0,59	0,54
2017	19,17	3,89	1,77	Na	5,66	1,89	0,44	0,49
Contraste								
C ₅	3,73 ^{**}	0,02 ^{ns}	0,52 ^{**}	Na	0,54 ^{**}	3,10 ^{**}	0,15 ^{**}	0,04 [*]
0,20 - 0,40 m								
MB	18,11	3,28	1,51	10,19	4,79	3,13	0,44	0,46
MA	19,42	4,51	2,07	10,18	6,58	2,65	0,48	0,65
MF	17,44	3,13	1,88	9,30	5,01	3,11	0,60	0,54
MC	18,11	3,24	1,82	10,88	5,07	2,16	0,56	0,47
M	16,94	3,12	1,30	8,84	4,42	3,67	0,39	0,50
Contrastes								
C ₁	1,33 ^{**}	0,42 ^{**}	0,52 ^{**}	1,30 ^{**}	0,94 ^{**}	-0,91 ^{ns}	0,13 [*]	0,03 ^{ns}
C ₂	0,99 [*]	0,71 ^{**}	-0,06 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,64 ^{**}	0,25 ^{ns}	-0,12 [*]	0,05 [*]
C ₃	-1,31 [*]	-1,23 ^{**}	-0,57 [*]	0,01 ^{ns}	-1,79 ^{**}	0,48 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,19 ^{**}
C ₄	-0,67 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-1,58 ^{**}	-0,05 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,08 [*]
2016	21,42	3,57	2,27	11,39	5,84	4,20	0,64	0,52
2017	14,58	3,35	1,17	8,37	4,52	1,69	0,35	0,53
Contraste								
C ₅	6,84 ^{**}	0,22 [*]	1,10 ^{**}	3,01 ^{**}	1,32 ^{**}	2,50 ^{**}	0,29 ^{**}	-0,02 ^{ns}

** : Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 1 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

* : Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

^{ns} : Contraste não significativo pelo teste de Scheffé, dentro de cada parâmetro avaliado.

Na: Não avaliado na análise conjunta de dados, dentro de cada parâmetro avaliado.

Provavelmente devido ao pouco tempo entre o processo de manejo das plantas de cobertura do solo e a coleta das amostras de solo, portanto, não houve tempo suficiente para o

processo de decomposição (ANSCHAU, 2018). É necessário maior período de tempo para que as plantas do consórcio possam se decompor e adicionar COT ao solo (CHIEZA, 2010). Lima et al. (2016) trabalhando com experimento de longa duração, verificaram aumentos no teor de COT após seis anos de adoção do SPD na região do Gama no Distrito Federal. Rosset et al. (2016) evidenciaram aumento no teor de COT do solo, somente após 16 anos de cultivo com o SPD na região Oeste do Paraná.

Pode-se observar que houve diferença significativa ($p < 0,01$) entre as famílias de plantas de cobertura do solo utilizadas no consórcio com a cultura do milho na segunda safra para o teor de COT na profundidade de 0 - 0,20 m. O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo da família *Fabaceae* apresentaram $1,58 \text{ g kg}^{-1}$ a mais do que as plantas da família *Poaceae* (C_2), uma diferença de aproximadamente 7%. As plantas da família *Poaceae* apresentam alta relação C/N, demorando mais tempo para ser decomposta (CALVO et al., 2010), e consequentemente sendo mais lenta a adição COT no solo (LIMA FILHO et al., 2014). Entretanto, não houve diferença entre o milho consorciado com plantas de cobertura da mesma família, observado no contraste C3 e C4 (Tabela 2)

Desta forma, é interessante o consórcio entre diferentes famílias de plantas, pois geram a produção de uma fitomassa de relação C/N intermediária, diferente daquelas que são utilizadas apenas uma famílias (DONEDA et al., 2012; LOSS et al., 2015). Vale ressaltar que a adição de N ao sistema de cultivo, seja por fixação biológica (*Fabaceae*) ou química (adubação nitrogenada), favorecem o acúmulo de COT no solo, pois não ocorre aumento de COT no solo se a quantidade de N for limitante à atividade biológica (URQUIAGA et al., 2005). Loss et al. (2015) verificaram a utilização do consórcio entre centeio + nabo apresentou 28 e 18% a mais de COT em relação às plantas solteiras de centeio e nabo, respectivamente, e o consórcio de aveia + nabo apresentaram 14 e 8% a mais de COT do que às plantas solteiras de nabo e aveia respectivamente.

Quanto aos teores de COT na profundidade de 0,20 - 0,40 m, observa-se na Tabela 2 que no milho em consórcio com as plantas de cobertura apresentou um teor de COT de $1,33 \text{ g kg}^{-1}$ a mais do que o cultivo de milho em monocultivo (C_1), uma diferença de mais de 7%. Nessa profundidade de avaliação, ainda foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as famílias das plantas de cobertura (C_2), em que as plantas da família *Poaceae* apresentaram um teor de COT $0,99 \text{ g kg}^{-1}$ a mais do que as plantas da família *Fabaceae*. Além disso, também foram constatadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as plantas de cobertura do solo da família *Poaceae* (C_3), o milho cultivado em consórcio com a braquiária

apresentou aproximadamente 7% a menos de COT do que o milho cultivado em consórcio com a aveia preta.

As plantas de cobertura do solo além de proporcionar maior deposição de resíduos culturais sobre a superfície do solo, também favorecem maiores aportes de MOS pelo sistema radicular, em especial as da família *Poaceae* que possuem sistema radicular bem desenvolvido e distribuído ao longo do perfil do solo (GAZOLLA et al., 2015), estima-se que a quantidade de matéria seca adicionada ao solo pelas raízes equivale a 30% da matéria seca da parte aérea. A aveia preta possui um sistema radicular agressivo, uniforme e abundante em todo o volume de solo (LOPES et al., 2013, COSTA, 2014), contribuindo para o incremento de COT. A avaliação da contribuição do C das raízes é importante, pois este carbono apresenta menor taxa de decomposição, quando comparado ao da parte aérea (MEDINA et al., 2013). Este C permanece no solo 2,4 vezes mais do que o C proveniente da parte aérea (RASSE et al., 2005).

Assim como em diversos estudos em solos tropicais, neste trabalho verificou-se que dentre as frações da MOS, a HUM foi a que apresentou os maiores teores independentemente da espécie cultivada (LOSS et al. (2009), SILVA et al. (2011), ROSSI et al. (2011), ROSSI et al. (2012), GAZOLLA et al. (2015), ROSSET; SCHIAVO; ATANÁZIO (2014), ROSSET et al. (2016), ROSA et al. (2017)). Os altos teores de HUM, normalmente estão ligados ao tamanho das moléculas, ao seu maior grau de estabilidade (ROSSI et al., 2011; FONTANA et al., 2006) e resistência à biodegradação devido à complexação com íons metálicos ou pela formação de compostos argilo-húmicos estáveis (BARRETO et al., 2008). Quanto as frações de AF e AH, por apresentarem menor estabilidade, podem ser translocadas para camadas mais profundas, polimerizadas ou mineralizadas, diminuindo seu teor residual no solo (FONTANA et al., 2006; HAN et al., 2016).

Os teores de AF e AH, foram superiores no milho consorciado com plantas de cobertura nas duas profundidades avaliadas, em comparação milho em monocultivo (C₁). Além disso, verificou-se diferenças significativas ($p < 0,01$) em ambas as profundidades avaliadas (0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m) para o cultivo de milho consorciado com as plantas de cobertura da família *Poaceae*, apresentaram maiores teores de AF quando comparadas às *Fabaceae* (C₂), aproximadamente 12 e 18 %, respectivamente as profundidades de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m (Tabela 2).

Verificou-se também que o cultivo de milho consorciado com aveia preta promoveu os maiores teores de AF e AH em ambas as profundidades avaliadas, quando comparado ao milho consorciado com braquiária (C₃). Na profundidade de 0 - 0,20 m o cultivo de milho

com aveia preta aumentou o teor de AF em $1,42 \text{ g kg}^{-1}$ e de AH em $1,28 \text{ g kg}^{-1}$ em comparação ao milho consorciado com braquiária; e na profundidade de 0,20 - 0,40 m, este aumento foi $1,23 \text{ g kg}^{-1}$ de AF e $0,57 \text{ g kg}^{-1}$ de AH. Além disso, o cultivo de milho consorciado com feijão guandu anão, apresentou um teor de AH de aproximadamente 18 % (Tabela 2) a mais que o cultivo de milho consorciado com crotalária (C₄). Proporções mais elevadas de AH indicam melhoria na qualidade da MOS (CANELLAS et al., 2007).

Os maiores teores de AF e AH ajudam a complexar certos metais como o ferro, que se tornam parte de suas configurações, trazendo benefícios para solos cultiváveis atribuindo maior fertilidade ao solo de cultivo (CARON et al., 2015), sendo o AH responsável também pela maior capacidade de troca catiônica de origem orgânica, nas camadas superficiais dos solos (BENITES et al., 2003).

Vale ressaltar que o processo de formação da MOS é lento, e as flutuações no conteúdo relativo das suas frações expressam mudanças efetivas de curso duradouro (CUNHA et al., 2005). Rosa et al. (2017) e Anschau (2018) verificaram que após o manejo das plantas de cobertura em Latossolo houve alterações no teor do AF; no entanto, não houve alterações no teor de AH. No entanto, Ribeiro (2016) também trabalhando em Latossolo com plantas de cobertura, não verificou alterações no teor de AF, porém encontrou alterações no teor de AH, assim como Santos et al. (2014) em Latossolo na região do cerrado. O recente aporte de material orgânico e a formação de substâncias húmicas levam à maior proporção de compostos de menor estabilidade (COELHO et al., 2013) o que explica as alterações nas frações AF e AH.

O processo de estabilização da MOS começa com a formação de AF e segue em direção aos AH e depois HUM, assim, mudanças iniciais são esperadas na fração AF, já que este é o primeiro estágio em direção à estabilização da MOS, além disso, em Latossolos, os teores de AF são superiores aos teores de AH (ROSA et al., 2017). Diante disso, percebe-se que a utilização do milho consorciado com plantas de cobertura do solo, promove a manutenção dos resíduos culturais no solo, tanto em superfície quanto em subsuperfície, o que proporciona uma decomposição mais lenta e contínua do material vegetal depositado. Com o passar do tempo, esse sistema de cultivo promove a estabilização da MOS e conseqüentemente gera melhorias nos atributos físicos e químicos do solo (GAZOLLA et al., 2015).

Com relação a fração HUM na profundidade de 0,20 - 0,40 m, foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,01$). Verificou-se que a utilização das plantas em cobertura do solo em consórcio com a cultura do milho, aumentou em aproximadamente 13 % o teor de

HUM no solo quando comparado ao cultivo do milho em monocultivo. Também o cultivo de milho consorciado com crotalária apresentou um acréscimo 1,58 g kg de HUM em relação a milho consorciado com feijão guandu anão (Tabela 2).

Não houve efeito entre as famílias *Poaceae* e *Fabaceae* (C₂) para o teor de HUM. Segundo Ribeiro et al. (2011) a inclusão de leguminosas como adubo verde, auxiliam os microrganismos sintetizadores da HUM devido ao fornecimento do N orgânico. Entretanto, neste experimento não foi observado esta diferença.

Na análise do EA verificou-se que o milho consorciado com plantas de cobertura do solo, apresentou 12,30 % a mais de EA na profundidade de 0 - 0,20 m e 17,58 % a mais na profundidade de 0,20 - 0,40 m, quando comparado ao cultivo de milho em monocultivo. O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura da família *Poaceae*, apresentaram 0,64 g kg⁻¹ de EA a mais que o cultivo de milho consorciado com as plantas de cobertura da família *Fabaceae* (C₂) (Tabela 2).

No contraste entre as espécies *Poaceae* constatou-se maiores teores de EA para o milho consorciado com Aveia preta; em ambas as profundidades, sendo em média um aumento de 34,45%. E no contraste entre as espécies *Fabaceae*, na profundidade de 0 - 0,20 m o cultivo de milho consorciado com feijão guandu anão, apresentou 0,66 g kg⁻¹ a mais de EA que o cultivo de milho consorciado com crotalária (Tabela 2).

Não foram verificadas diferenças estatísticas significativas ($p > 0,01$) para os teores de CNH do solo nas duas profundidades avaliadas. Sendo os teores médios do CNH em relação ao teor do COT de 16,36 % (Tabela 2); o que é de se esperar, pois as frações não húmicas, representa uma fase transitória entre os resíduos culturais e a matéria orgânica com maior grau de humificação. Em solos tropicais com auto grau de desenvolvimento, como a maioria dos Latossolos, é comum estes teores (MARQUES, 2009).

Quanto a relação AF/AH maior relação foi observada na profundidade de 0 - 0,20 m, em média estes teores excederam em 0,51 g kg⁻¹ dos observados na profundidade 0,20 - 0,40. Em solos tropicais, esta razão normalmente é inferior a 1,0, devido à menor intensidade do processo de humificação, condensação e síntese, causadas pela intensa mineralização dos resíduos, bem como ao baixo conteúdo de bases trocáveis e alta atividade biológica (CANELLAS et al., 2003). Índice menor que 1 pode ser um indicativo da má evolução do processo de humificação da MOS; seja por razões edáficas, ou de manejo, ou adição recente de material no solo (CANELLAS et al., 2003); que foi o caso neste experimento onde há um aumento inicialmente do conteúdo de AF no solo (ROSA et al., 2017). A relação AH/AF pode ser considerada um indicador da qualidade do húmus (SOUSA et al., 2015), expressando o

grau da evolução do processo de humificação da MOS, auxiliando no monitoramento dos sistemas de produção.

Nas duas profundidades avaliadas a maior relação AH/AF foi no cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo, em comparação ao milho em monocultivo (C₁). No contraste entre as famílias *Fabaceae* e *Poaceae*, a maior relação AH/AF foi observada nas plantas de cobertura da família *Fabaceae*. E dentro da família *Poaceae* o milho consorciado com braquiária teve menor relação AH/AF do que com aveia preta (C₃) (Tabela 2).

O milho consorciado com feijão guandu anão, apresentou um aumento de 0,10 g kg⁻¹ na relação AH/AF comparado ao milho consorciado com crotalária (C₄). Para que haja boa qualidade do solo é fundamental a adoção de sistemas de cultivo que promovam o aumento da relação AH/AF, resultando em melhorias na conservação do C do solo na forma mais condensada (LEITE et al., 2003), sendo portanto, menos propensa a perdas (Tabela 2).

A relação EA/HUM foi em média de 0,52; sendo considerados baixos. Os teores baixos desta relação indicam alta estabilidade da matéria orgânica com a matriz mineral do solo, proporcionado pela interação entre as argilas ou cátions de cálcio e ou magnésio com os grupos funcionais da MOS; além disso, indica o predomínio da HUM no solo (CANELLAS et al. 2008; FONTANA et al., 2010).

O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo, na profundidade de 0 - 0,20 m, proporcionou um acréscimo de 0,05 g kg⁻¹ em comparação ao milho em monocultivo (C₁) na relação EA/HUM; e em ambas as profundidades a maior relação EA/HUM foi observada no milho consorciado com plantas de cobertura da família *Poaceae* (C₂) (Tabela 2).

Houve uma redução média de 0,24 g kg⁻¹ na relação EA/HUM no milho consorciado com braquiária em comparação ao milho consorciado com aveia preta (C₃) nas profundidades avaliadas. O consórcio de milho com feijão guandu anão apresentou os menores valores da relação EA/HUM em ambas as profundidades avaliadas quando comparado ao cultivo de milho consorciado com crotalária (C₄). A relação EA/HUM no milho com aveia preta e milho com feijão guandu anão apresentaram valores superiores em 0,50 g kg⁻¹. (Tabela 2).

Ao analisar os dois anos de cultivo no contraste (C₅), observou-se que apenas os AF na profundidade de 0 - 0,20 m e a relação EA/HUM na profundidade de 0,20 - 0,40 m, não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,01$). Os teores de COT, AF, AH, EA, CNH, AH/AF, EA/HUM foram maiores no cultivo da cultura do milho de segunda safra no ano de 2016, em ambas profundidades avaliadas; bem como os teores de HUM na profundidade de 0,20 - 0,40 m (Tabela 2).

Essas reduções do COT e de suas frações do ano de 2016 para o ano de 2017, podem ser atribuídas ao menor aporte de matéria seca ao solo (PORTUGAL et al., 2010). No entanto, não foram verificados reduções no aporte de materiais orgânicos ao solo. No cultivo de milho de segunda safra no ano de 2016 a produção média de massa seca da cultura do milho e das plantas de cobertura do solo foi de 8729 kg ha⁻¹; enquanto na safra de 2017 foi de 14108 kg ha⁻¹, ou seja, acréscimo de 38,13 %. Entretanto, este material orgânico ainda não tinha sido decomposto, pois a coleta do solo foi realizada aproximadamente 20 dias após a colheita. Seria interessante a avaliação de mais um ano.

Além disso, reduções nos teores de C no solo não se deve unicamente à redução da quantidade de resíduos adicionados ao solo. Outros fatores como: aumento da atividade microbiana (causado por melhores condições de aeração), temperaturas mais elevadas, uso contínuo de implementos, queimadas, processos erosivos (MARCHIORI JÚNIOR; MELO, 2000) e a monocultura (ROSA et al., 2017), também causam a redução dos teores de C no solo.

Com o tempo, esses sistemas mais conservacionistas tendem a aumentar os níveis de C no solo (CANELLAS et al., 2003). Rosset et al. (2016) verificaram que os teores de COT, as frações mais lábeis da MOS e a HUM, aumentaram em função do tempo de implantação do sistema de plantio direto (SPD). Fernandes et al. (2015) verificou na região do cerrado que com o passar do tempo, a adoção do SPD foi capaz de promover acúmulo de MOS, com valores de substâncias húmicas do solo semelhante à área de cerrado nativo. Pedra et al. (2012) verificaram que as plantas de cobertura do solo têm capacidade de aumentar os teores de C orgânico do solo dentro do SPD. Silva et al. (2011) verificaram que no sistema de integração lavoura-pecuária, os incrementos nos teores de COT e nas frações lábeis e recalcitrantes da MOS, só ocorreram 8 anos após a implantação do sistema, ficando semelhante ao sistema sob vegetação nativa.

Com base na Tabela 3 são apresentados a contribuição de cada fração das substâncias húmicas do solo e do CNH em relação ao teor do COT, nas profundidades de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m. Verificou-se que ambas profundidades a fração AH% no cultivo do milho consorciado com as plantas de cobertura do solo foi em média 3,90% maior do que no milho em monocultivo (C₁). Além disso, o sistema de milho em monocultivo apresentou menor teor de CNH% (5,72%) na profundidade de 0 - 0,20 m (Tabela 3).

Esses resultados, evidenciam o fato que o sistema de consórcio da cultura do milho com plantas de cobertura do solo tem grande potencial em promover a qualidade do solo e ao mesmo tempo produzir grãos de milho. Pois, esses resultados indicam que o sistema de

consórcio aumentou o tempo de preservação da palhada e conseqüentemente maior acúmulo de AH, promovendo melhorias na qualidade da MOS (CANELLAS et al., 2003).

O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo da família *Poaceae* apresentaram a maior fração de AF%, nas duas profundidades avaliadas, quando comparado ao cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura da família *Fabaceae*. Sendo 3,90% a mais para a profundidade de 0 - 0,20 m e 2,99% a mais para profundidade de 0,20 - 0,40 m. A alta prevalência de AF em solos de reação ácida pode resultar, a longo prazo, em ambientes menos favoráveis à atividade microbiana, e conseqüentemente afetar negativamente a fertilidade do solo (SILVA et al., 2000).

Tabela 3 – Distribuição em porcentagem das frações húmicas do solo, ácido fúlvico (AF, ácido húmico (AH), humina (HUM) e carbono não humificado (CNH) nos cultivos de milho na segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo nos anos de 2016 e 2017 nas profundidades de avaliação de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m

Tratamentos	0 - 0,20 m				0,20 - 0,40 m			
	AF%	AH%	HUM%	CNH%	AF%	AH%	HUM%	CNH%
MB	17,63	6,58	57,82	17,98	18,85	7,32	57,06	16,77
MA	23,95	13,05	51,71	11,28	23,55	10,65	52,71	13,09
MF	17,16	11,47	53,56	17,81	18,39	10,87	53,75	17,00
MC	16,71	9,30	62,03	12,06	18,03	10,16	60,25	11,56
M	18,20	6,91	54,38	20,50	19,65	6,75	52,97	20,62
Contrastes								
C ₁	0,63 ^{ns}	3,19 ^{**}	1,90 ^{ns}	-5,72 [*]	0,05 ^{ns}	3,00 ^{**}	2,98 ^{ns}	-6,02 ^{ns}
C ₂	3,90 ^{**}	-0,57 ^{ns}	-3,03 ^{ns}	-0,31 ^{ns}	2,99 ^{**}	-1,52 ^{ns}	-2,11 ^{ns}	0,65 ^{ns}
C ₃	-6,32 ^{**}	-6,48 ^{**}	6,10 ^{**}	6,70 [*]	-4,70 ^{**}	-3,33 ^{**}	4,35 ^{ns}	3,68 ^{ns}
C ₄	0,56 ^{ns}	2,17 [*]	-8,48 ^{**}	5,74 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,70 ^{ns}	-6,50 ^{ns}	5,43 ^{ns}
2016	17,13	10,03	51,18	21,65	16,68	10,61	53,19	19,52
2017	20,29	8,89	60,62	10,20	22,71	7,70	57,50	12,09
Contraste								
C ₅	-3,16 ^{**}	1,14 [*]	-9,44 ^{**}	11,45 ^{**}	-6,03 ^{**}	2,91 ^{**}	-4,31 [*]	7,44 ^{**}

^{**}: Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 1 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

^{*}: Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

^{ns}: Contraste não significativo pelo teste de Scheffé, dentro de cada parâmetro avaliado.

Dessa forma, verifica-se que o cultivo da cultura do milho consorciado com braquiária apresentou os menores teores de AF% e AH% nas profundidades de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m, respectivamente para o AF% 6,32 e 4,70% e para o AH% 6,48 e 3,33% (Tabela 3), quando comparado com o cultivo de milho consorciado com aveia preta (C₃). No entanto, verificou-se que esse mesmo sistema de cultivo (milho consorciado com braquiária), apresentou 6,10% a mais de HUM% e 6,70% a mais de CNH% na profundidade de 0 - 0,20 m (Tabela 3), quando comparado ao cultivo da cultura do milho consorciado com aveia preta. Já no cultivo de milho

consorciado com feijão guandu anão, verificou-se que o cultivo apresentou 2,17% a mais de AH%, no entanto, obteve 8,48% a menos de HUM% na fração do COT na profundidade de 0 - 0,20 m (Tabela 3), quando comparado ao cultivo de milho consorciado com crotalária (C₄).

Na comparação entre os anos de cultivo (2016 e 2017) da cultura do milho (C₅), observou-se que o cultivo da cultura do milho no ano de 2016 apresentou os maiores teores de AH% e CNH% nas duas profundidades avaliadas, 1,14% de AH% e 11,45% de CNH% na profundidade de 0 - 0,20 m e 2,91% e 7,44% de CNH% na profundidade de 0 - 0,20 m (Tabela 3). No entanto, apresentou os menores teores de AF% e HUM% nas duas profundidades avaliadas. Portanto, no ano de 2017 houve maiores relações AH%, sendo esta propriedade química indicadora na melhoria da qualidade da matéria orgânica (Tabela 3).

3.6 CONCLUSÕES

No primeiro ano o sistema de cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo aumentou o teor de COT e de suas frações.

O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo da família *Poaceae* e *Fabaceae* aumentaram os teores de COT em profundidades diferentes; nas *Poaceae* houve aumento nos teores de COT na profundidade de 0 - 0,20 m, enquanto nas *Fabaceae* houve aumento na profundidade de 0,20 - 0,40m. As plantas de cobertura demonstraram grande potencial em promover a qualidade do solo no sistema de plantio direto.

Após dois cultivos de milho consorciados com plantas de cobertura houve melhoria da qualidade da matéria orgânica do solo, observada na porcentagem de humina que representa a maior parte do carbono humificado.

3.7 REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 601-612, 2003.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de coberturas do solo, sob sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 241-248, 2002.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de

preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.

BONETTI, J. A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, G. N. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 1, p. 104-112, 2015.

BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S.A.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho Distroférrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 2, p. 331-336, 2011.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotação de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1399-1407, 2008.

CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. A. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, n. 2, p. 221-230, 2002.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas Climáticas do Paraná**. Londrina, Instituto agrônomo do Paraná (IAPAR), 2000. CD-ROM.

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, Santa Maria, p. 32, v. 1, p. 49-54, 2002.

COSTA, P. F. **Manejo das culturas de inverno e sus influência sobre as propriedades físicas do solo, dinâmica de plantas daninhas, teor e acúmulo de nutrientes**. 2014. 82 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2014.

COUTINHO, F. S.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JÚNIOR, D. J.; TORRES, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 1, n. 2, p. 100-105, 2010.

EDEN, M.; SCHJONNING, P.; MOLDRUP, P.; JONGE, L. W. Compaction and rotovation effects on soil pore characteristics of a loamy sand soil with contrasting organic matter content. **Soil Use and Management**, Harpenden, v. 27, n. 3, p. 340-349, 2011.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), 1997. 212 p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Homogeneidade da qualidade física do solo nas entrelinhas de um pomar de laranja com sistemas de manejo da vegetação permanente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 637-645, 2007.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho Distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 22-30, 2007.

GUEDES FILHO, O.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. **Geoderma**, Amsterdam, v. 204-205, n. 1, p. 94-101, 2013.

HÅKANSSON, I. Machinery-induced compaction of arable soils: incidence, consequences, counter-measures. **Uppsala: Department of soil sciences uppsala**; 2005, nº 109, 156 p.

HAYNES, R. J.; BEARE, M. H. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. **Soil Biology & Biochemistry**, Amsterdam, v. 29, n. 11-12, p. 1647-1653, 1997.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da Curva de Resistencia no Controle da Qualidade Física de um Solo sob Pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500, 2000.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G, ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 116-121, 2008.

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. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 365-371, 2008.

KLIEMANN, H. J.; MAGALHÃES, R. T.; OLIVEIRA, I. P.; MORAES, M. F. Relações da produção de massa verde de *Brachiaria brizantha* com os índices de disponibilidade de nutrientes em solos sob o sistema barreira de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 33, n. 1, p. 49-56, 2003.

KONDO, M. K.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; WENDLING, B.; SILVA, P. B.; CARDOSO, M. M. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agrônômicas do sorgo granífero. **Bioscience Journal**, Uberlandia, v. 28, n. 1, p. 33-40, 2012.

LAFLEN, J. M.; AMEMIYA, M.; HINTZ, E. A. Measuring crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 36, n. 6, p. 341-343, 1981.

LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; CURI, N.; EVANGELISTA, E. R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 71-78, 2012.

LOPES, H. J.; WEBER, F. S.; GUILHERME, V.; SALVADOR, R.; VALICHESKI, R. R.; STÜRMER, S. L. K. Resistência mecânica do solo a penetração e produtividade da cultura do milho sob distintas plantas de cobertura e doses de nitrogênio. In: VI MOSTRA NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA INTERDISCIPLINAR – MICTI; 30 de Outubro de 2013, Camboriú. **Anais...**, Camboriú. Instituto Federal Catarinense, 2013.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R. A.; 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**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 1212-1224, 2015.

MEDEIROS, A. R.; CÂMARA JÚNIOR, C. L.; PEREIRA, J.O.; OLIVEIRA, F.A.; AMARO FILHO, J. Avaliação da compactação do solo por meio de um ensaio oedométrico. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 10, n. 3, p. 09-22, 2015.

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, F. C. B.L.; LIMA, R. C.; VALÉRIO FILHO, W. V.; YANO, E. H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras, milho em sucessão com soja em região de cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 251-259, 2013.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 531-538, 2001.

NEGRINI, A. C. A. **Desempenho de alface (*Lactuca sativa* L.) consorciada com diferentes adubos verdes**. 2007. 113 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

NETO, E. L. S.; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Atributos físicos do solo e produtividade de milho em resposta a culturas de pré-safra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 2, p. 255-260, 2008.

PICKLER, E. P.; NÓBREGA, L. H. P.; LIMA, G. P.; KONOPATZKI, M. R. S.; PACHECO, F. P. Influência da cobertura de inverno nos atributos físicos do solo em culturas de milho e soja sob plantio direto. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 33-45, 2012.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. 1ª ed. Campinas: Instituto Agrônomo; 2001.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 29-48, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; ROSA, G. M.; CERETTA, C. A. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; 2001. V. 1, p. 114-133.

ROSA, H. A. **Potencial estruturante de espécies de cobertura em um Latossolo Argiloso e seus reflexos no rendimento de grãos e de óleo do crambe**. 2013. 28 p. Dissertação

(Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

SANTOS, M. H. F.; RIBON, A. A.; FERNANDES, K. L.; SILVA, O. C. C.; OLIVEIRA, L. C.; SILVA, A. A. Estimativa da compactação através da resistência do solo à penetração em solo sob diferentes culturas e mata nativa. **Revista Científica eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 27, n. 1, p. 49-62, 2015.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3ª ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); 2013. 353 p.

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**, Campina Grande, v. 16, n. 11, p. 1171-1178, 2012.

SEIDEL, E. P.; MATTIA, V.; MATTEI, E.; CORBARI, F. Produção de matéria seca e propriedades físicas do solo na consorciação milho e braquiária. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 1, p. 18-25, 2015.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B.; MAGALHÃES, E. N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 39-45, 2010.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997.

SILVA, J. A. M.; GOMES, T. C. A.; SOARES, E. M. B.; SÁ, P. G.; SILVA, M. S. L.; FARIA, C. M. B. Caracterização de sistemas radiculares de leguminosas cultivadas sob irrigação no Vale do São Francisco: 1. Padrão de distribuição. In: 14º REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA; 28 de Agosto de 2002; Cuiabá. **Anais...**, Cuiabá. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2002.

SILVA, T. C.; MACEDO, C. H. O.; ARAÚJO, S. S.; PINHO, R. M. A.; PERAZZO, A. F.; SANTOS, E. M.; GONZAGA NETO, S. Características agronômicas do capim *Brachiaria decumbens* submetido a intensidades e frequências de corte e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 12, n. 3, p. 583-593, 2011.

SILVEIRA, F. P. M.; SILVA, I. F.; SOUZA, R. F.; SANTIAGO, R. D.; ROCHA, I. T. M. Massa seca do Sistema radicular cespitoso e decumbente de braquiárias em diferentes condições. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO; 02 de Agosto de 2015; Natal. **Anais...**, Natal. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2015.

SILVEIRA, P. M.; CUNHA, P. C. R.; STONE, L. F.; SANTOS, G. G. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 283-290, 2010.

SOUZA, J. L.; GUIMARÃES, G. P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 6, p. 1796-1805, 2013.

VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1-2, p.104-113, 2007.

VIANA, E. T.; BATISTA, M. A.; TORMENA, C. A.; COSTA, A. C. S.; INOUE, T. T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 2105-2114, 2011.

WILLIAMS, S. M.; WEIL, R. R. Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society American**, Madison, v. 68, n. 1, p. 1403-1409, 2004.

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 hibernar na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 5, p. 374-382, 2015.

4 CAPITULO 2: EFEITO DO CULTIVO DE MILHO CONSORCIADO COM PLANTAS DE COBERTURA DO SOLO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS NO SISTEMA DE SUCESSÃO SOJA E MILHO SEGUNDA SAFRA

4.1 RESUMO

O trabalho teve por objetivo avaliar a influência da cultura do milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo na produtividade de massa seca, nas propriedades físicas do solo e na produtividade do sistema de sucessão soja e milho segunda safra. O cultivo da cultura do milho segunda safra foi realizado no ano agrícola de 2016 e 2017, e na sucessão foi realizado o cultivo da soja da safra 2016 e 2017. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pela cultura do milho em monocultivo e com consórcio com diferentes plantas de cobertura do solo. As espécies de plantas utilizadas no consórcio foram: duas da família *Poaceae* (braquiária e aveia preta) e duas da família *Fabaceae* (feijão guandu anão e crotalária). Após o cultivo do milho segunda safra no ano de 2016, sobre as diferentes palhadas produzidas, foi cultivado a soja. O sistema de consórcio milho segunda safra com plantas de cobertura do solo, não promoveu o aumento de massa seca sobre o solo, nem influenciou na resistência do solo à penetração das raízes. O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura da família *Poaceae*, em especial a braquiária, é mais eficiente para o aumento da massa seca quando comparado a da família *Fabaceae*. Também são mais eficientes em promover melhorias na macroporosidade e redução na densidade do solo na profundidade de 0 - 0,10 m. E dentro da família *Poaceae* as braquiárias são mais eficientes do que a aveia preta. De maneira geral o cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura de cobertura do solo, promoveu melhorias na qualidade física do solo na profundidade de 0 - 0,10 m. Embora, o consórcio de milho com plantas de cobertura tenha melhorado a qualidade física do solo; o mesmo reduziu em 5% a produtividade de grãos (milho e soja) do sistema na safra agrícola do ano de 2016 e 2017. O cultivo da cultura da soja sobre a palhada do milho consorciado com plantas de cobertura do solo promoveu um aumento na produtividade de 0,19 Mg ha⁻¹. Sendo a maior produtividade da família *Fabaceae*, e dentro desta a soja em sucessão ao feijão guandu anão promoveu um aumento de 5 % na produtividade.

Palavras-chave: Massa seca; Porosidade do solo; Resistência do solo à penetração; *Zea mays*; *Glycine max*.

4.2 ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the influence of corn crop second intercropping with soil cover plants on biomass productivity, soil physical properties and productivity of the soybean and second succession corn crop system. Cultivation of the second crop maize crop was carried out in the agricultural year of 2016 and 2017, and in succession the soybean cultivation of the 2016 and 2017 crops was carried out. The experimental design was a randomized block design (DBC), with four replications. The plots were constituted by corn cultivation in monoculture and with a consortium with different soil cover plants. The species of plants used in the consortium were: two from the family *Poaceae* (brachiaria and black oats) and two from the *Fabaceae* family (dwarf pigeon pea and crotalaria). After the cultivation of second crop corn in 2016, on the different straw produced, soybean was grown. The second maize crop consortium system with soil cover plants did not promote the increase of dry mass on the soil, nor did it influence soil resistance to root penetration. The cultivation of corn intercropped with cover crops of the *Poaceae* family, especially the *Brachiaria*, is more efficient for increasing the dry mass when compared to the *Fabaceae* family. They are also more efficient in promoting improvements in macroporosity and reduction in soil density at depths of 0 - 0.10 m. And within the *Poaceae* family, *brachiaria* are more efficient than black oats. In general, maize intercropping with soil cover plants promoted better physical soil quality in the depth of 0 - 0.10 m. Although, the maize consortium with cover crops has improved the physical quality of the soil; it reduced the system's grain yield (corn and soybean) by 5% in the 2016 and 2017 crop years. The cultivation of soybean on corn straw intercropped with soil cover plants promoted an increase in productivity of 0.19 Mg ha⁻¹. Being the highest productivity of the family *Fabaceae*, and within this the soybean in succession to the dwarf pigeon bean promoted a 5% increase in productivity.

Keywords: Dry mass, Porosity of soil, Resistance of soil to penetration, *Zea mays*, *Glycine max*.

4.3 INTRODUÇÃO

Os solos agrícolas por fornecerem as condições favoráveis e necessárias para que as sementes das plantas possam germinar, desenvolver e produzir seus frutos, são considerados um sistema complexo (MOTTIN et al., 2018). Alterações nas propriedades do solo podem afetar a sustentação do crescimento vegetal e conseqüentemente o rendimento das culturas, causando impactos negativos direto na economia do produtor rural (SANCHEZ et al., 2014). Em um sistema produtivo não deve ser priorizado apenas as propriedades químicas, mas também, é imprescindível a atenção com as propriedades físicas do solo, tais como: porosidade, resistência à penetração e densidade do solo (BOTTEGA et al., 2011). É necessário e de fundamental importância um ambiente físico favorável para o crescimento e desenvolvimento radicular, a fim de maximizar a produtividade das culturas implantadas (MOTTIN et al., 2018).

Na região Oeste do Paraná, onde é possível o cultivo de milho segunda safra, conhecido popularmente como milho safrinha, o sistema de produção predominante é a sucessão de culturas entre soja e milho segunda safra, esse sistema de produção gera baixo aporte de resíduos ao solo, comprometendo o sistema de plantio direto (SPD).

O SPD, é uma tecnologia que visa principalmente a melhoria do solo, com objetivo de preservar as suas estruturas físicas. Porém, quando esse sistema de manejo é realizado de forma inadequada, causa a compactação do solo. A compactação do solo é caracterizada pela redução do volume de poros; redução da taxa de difusão de oxigênio; aumento da densidade do solo; aumento da resistência física e da energia com que a água fica retida no solo (MÜLLER et al., 2001). O uso de equipamentos agrícolas na umidade inadequada ou com peso acima da capacidade suporte deste solo, e a baixa adição de resíduos orgânicos, têm causado cada vez mais a sua degradação, bem como dos recursos naturais e da produtividade das culturas implantadas (LOSS et al., 2011).

A redução da porosidade do solo e conseqüentemente o aumento na densidade, influenciam diretamente na capacidade de infiltração de água no solo; bem como, altera a movimentação de água e nutrientes no solo, além disso, aumentam a resistência mecânica à penetração das raízes (SANCHEZ et al., 2014). Esses fatores afetam o desenvolvimento radicular, e conseqüentemente as outras estruturas da planta, pois a compactação reduz o volume de solo a ser explorado pelas raízes, assim como, a quantidade de água, ar e nutrientes disponíveis, limitando a produtividade das culturas.

O cultivo de plantas que possuem raízes vigorosas e profundas, contribuem para o rompimento de camadas compactadas do solo, promovendo a formação de bioporos com ampla variação de tamanho, aumentando a porosidade e a capacidade de infiltração de água

no perfil do solo (CALEGARI; COSTA (2009); LIMA et al., (2012)). As plantas de cobertura são consideradas uma excelente alternativa para descompactar e melhorar a estrutura do solo, e conseqüentemente aumentando sua qualidade física (SEVERIANO et al., 2010). A sua utilização é uma importante estratégia de manejo em sistemas intensivos de produção (JIMENEZ et al., 2008).

As plantas de cobertura do solo apresentam vantagens até mesmo quando comparadas a utilização de implementos agrícolas, que normalmente promovem a desagregação do solo, enquanto estas promovem a agregação. Isso ocorre, pois as plantas de cobertura, que apresentam bom desenvolvimento radicular e conseguem atuar de maneira mais uniforme em todas as profundidades do solo quando comparadas aos sistemas mecânicos, contribuindo de modo mais eficiente para sua agregação (ROSA, 2013). Elas também promovem a retirada de nutrientes da subsuperfície, liberando-os gradualmente na superfície durante o processo de decomposição (MENDONÇA et al., 2013). Outra vantagem, é a alta densidade de raízes, principalmente das *Poaceae*, e sua periódica renovação tornando-se desse modo, importante para a qualidade e sustentabilidade do sistema de produção agrícola (MOTTIN et al., 2018). Além disso, as plantas de cobertura do solo promovem a maior diversidade e abundância da fauna edáfica (BALIN et al., 2017).

Desta forma, a utilização de plantas de cobertura do solo em consórcio com a cultura do milho segunda safra é uma alternativa para aumentar a massa seca aportada ao solo, bem como aumentar a produtividade da cultura principal e ao mesmo tempo melhorar as propriedades físicas do solo. Para isso, é necessário a conciliação de forma adequada entre a cultura do milho e as plantas de cobertura do solo, afim de evitar a competição interespecífica (DAN et al., 2012), e conseqüentemente afetar a produtividade da cultura principal, reduzindo a renda do produtor rural.

Com base na literatura, não se tem uma conclusão sobre a interferência das plantas de cobertura do solo na produtividade da cultura do milho. São encontrados muitos trabalhos em que o consórcio do milho com plantas de cobertura do solo tiveram efeito negativo na produtividade da cultura do milho (BRAMBILLA et al., (2009); JAKELAITIS et al., (2010); PARIZ et al., (2011)), mas também, trabalhos em que o consórcio não apresentou efeito na produtividade da cultura do milho ou que influenciou positivamente na produtividade (BATISTA et al., (2011); CHIODEROLI et al., (2012); PAZ et al., (2017); SEIDEL et al., (2014)).

Diversas são as espécies que podem ser utilizadas como plantas de cobertura do solo no consórcio, tornando difícil a melhor escolha, pois não existe uma planta ideal, sendo

necessário antes da escolha, fazer um levantamento das espécies mais favoráveis ao cultivo. Deve-se buscar informações a respeito de sua adaptação ao clima da região, época de semeadura, o ciclo da cultura, desenvolvimento do sistema radicular e a produção de massa seca (NEGRINI, 2007).

As plantas de cobertura da família *Poaceae* são consideradas muito mais eficientes em promover a estruturação do solo em relação às plantas de cobertura da família *Fabaceae* (LOSS et al., (2015); MOTTIN et al., (2018). Porém, nos primeiros anos da implantação de plantas de cobertura, a maior estruturação do solo ocorre com o cultivo de plantas da família *Fabaceae* capazes de incrementar de nitrogênio no solo (COUTINHO et al., 2010), através de fixação biológica de nitrogênio (FBN).

Contudo, há necessidade de verificar a real contribuição dessas plantas com a finalidade de se manter ou melhorar a estrutura do solo (SILVEIRA et al., 2010). Desse modo, é necessário que se opte por espécies de plantas que superem as restrições físicas, bem como, promovam a recuperação da qualidade do solo, principalmente quando submetidas a um sistema intensivo de produção.

Assim, o trabalho teve por objetivo avaliar a influência da cultura do milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo na produtividade de massa seca, nas propriedades físicas do solo e na produtividade do sistema de sucessão soja e milho segunda safra.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Localização, clima e solo da área de estudo

O trabalho foi realizado na propriedade agrícola particular Água Vitória no município de Tupãssi - PR, localizada nas coordenadas geográficas 24° 38' 18,72'' de latitude sul e 53° 34' 33,49'' de longitude oeste, a 488 metros de altitude em relação ao nível do mar. Conforme a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com verões quentes, com temperaturas médias superiores a 22°C e invernos com temperaturas médias e inferiores a 18°C e uma precipitação pluviométrica média anual de 1600 - 1800 milímetros (CAVIGLIONE, 2000). De acordo com Santos et al. (2018), o solo da propriedade é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, textura muito argilosa, relevo suave ondulado. Anteriormente a implantação do experimento,

a área estava sendo cultivada com sistema de produção de sucessão de culturas entre soja e milho segunda safra, em SPD.

Previamente à implantação do experimento, foi realizada a coleta de amostras deformadas de solo na profundidade de 0 - 0,20 m para a determinação das características químicas e granulométricas. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental e Instrumental, na Unioeste, de acordo com a metodologia de Raij et al. (2001). Os resultados foram: pH (CaCl₂) = 5,85; M.O. = 35,16 g dm⁻³; P = 61,71 mg dm⁻³; Ca²⁺ = 5,78 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 1,52 cmol_c dm⁻³; K⁺ = 0,35 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 cmol_c dm⁻³; H⁺ + Al³⁺ = 3,54 cmol_c dm⁻³ e V (%) = 68,36. A determinação granulométrica foi realizado no Laboratório de Física do solo, na Unioeste, utilizando o método do densímetro de Bouyoucos, conforme Embrapa (1997). Os resultados foram: 843 g kg⁻¹ de argila, 86 g kg⁻¹ de silte e 71 g kg⁻¹ de areia.

Na Figura 1, são apresentados os dados meteorológicos mensais referentes a precipitação pluviométrica total e as médias das temperaturas máximas e mínimas ocorridas durante o período de condução do experimento. Os dados foram fornecidos pelo Sistema Meteorológico do Paraná (Simepar), da estação localizada no município de Assis Chateaubriand.

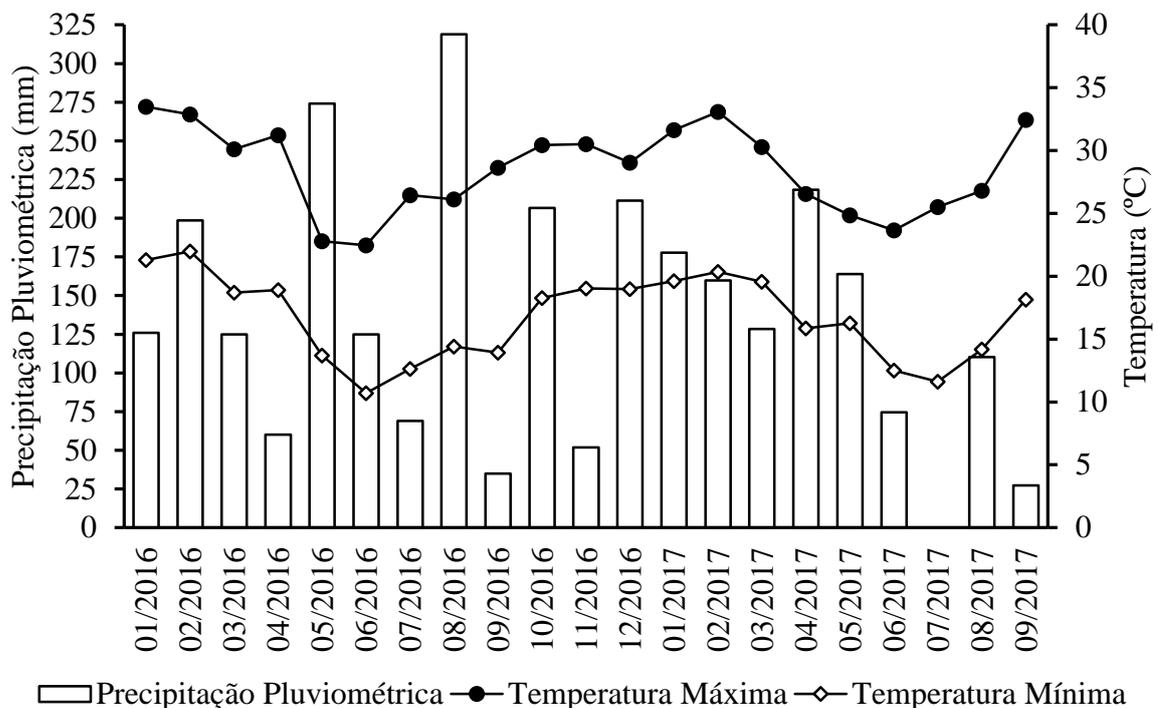


Figura 1 - Dados meteorológicos mensais das precipitações pluviométricas totais e médias das temperaturas máximas e mínimas no período de 01/2016 a 09/2017.

Fonte: Simepar.

4.4.2 Delineamento experimental, implantação e condução

O cultivo da cultura do milho segunda safra foi realizado no ano agrícola de 2016 e 2017, entre os cultivos, também foi realizado o cultivo da soja da safra 2016 - 2017. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pela cultura do milho em monocultivo e com consórcio com diferentes plantas de cobertura do solo. As espécies de plantas utilizadas no consórcio foram: duas da família *Poaceae* (*Urochloa ruziziensis* e *Avena strigosa* S.) e duas da família *Fabaceae* (*Cajanus cajan* e *Crotalaria spectabilis*). Cada parcela foi composta por 30,0 m de comprimento e 10,0 m de largura, totalizando 300 m². À área útil de cada parcela foi calculada descartando 2,0 m de cada extremidade e 1,0 m de cada uma das laterais, totalizando 208,0 m².

Com exceção da aveia preta (*Avena strigosa* S.), a implantação dos consórcios, milho com plantas de cobertura do solo, foram realizadas mecanicamente de forma simultânea utilizando a semeadora de Plantio Direto Semeado modelo PAR 2800, com a terceira caixa para a semeadura de plantas forrageiras, realizada no dia 24/01/2016 e 31/01/2017. Entre as linhas na cultura principal, foram mantidos os componentes de depósito das sementes, compostos por disco sulcador da semente, rodas limitadoras de profundidade e rodas de compactação da semente com sistema em forma de “V”, objetivando o maior contato da semente da braquiária (*Urochloa ruziziensis*) com o solo, e também, a semeadura em linha das plantas de cobertura feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalária (*Crotalaria spectabilis*) com uma profundidade de aproximadamente 5 mm.

Dessa forma, a aveia preta foi semeada manualmente a lanço, nas entre linhas, quando a cultura do milho estava no estágio reprodutivo R3 (grão leitoso), utilizando 60 kg ha⁻¹ da cultivar IAPAR 61 Ibiporã; a braquiária, semeada em cobertura, com a deposição das sementes direcionadas nas entre linhas da cultura do milho, utilizando 10 kg ha⁻¹, com valor cultural de 76%; as plantas de cobertura do solo da família *Fabaceae* foram semeadas nas entre linhas da cultura do milho, utilizando 50 kg ha⁻¹ de feijão guandu anão e 25 kg ha⁻¹ de crotalária.

O milho utilizado nos dois anos de cultivo foi o híbrido simples P4285YHR com tratamento industrial de sementes com o inseticida sistêmico do grupo químico dos Neonicotinóide, na dose de 240 g i.a. ha⁻¹ de Clotianidina para cada 100 kg de semente. O espaçamento entre linhas utilizado foi de 0,90 m, com 6 sementes por metro linear. Para a

adubação de base utilizou-se 372 kg ha⁻¹, do formulado 12-18-12 e 90 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura quando a cultura apresentava-se no estágio vegetativo V3 (terceira folha desenvolvida).

O controle de plantas daninhas foi realizado através de capina manual, e o controle dos insetos praga foram realizados conforme as necessidades da cultura principal, sendo utilizado como base para os controles as recomendações técnicas da Embrapa para a cultura do milho. Visando o controle preventivo de doenças fúngicas na cultura do milho, realizou-se uma aplicação de fungicida com 75,0 g i.a. ha⁻¹ de Trifloxistrobina + 150,0 g i.a. ha⁻¹ de Tebuconazol, quando a cultura apresentava-se em pré-pendoamento. Após a colheita da cultura do milho, final do mês de julho, as plantas tiveram mais um período de 30 - 40 dias para continuar seu desenvolvimento. Após esse período, final do mês de agosto, as plantas foram manejadas utilizando 3 kg ha⁻¹ do equivalente Ácido Glifosato.

A cultura da soja foi semeada no dia 16/09/2016 sobre as diferentes palhadas do cultivo do milho em monocultivo e com consórcio com diferentes plantas de cobertura do solo. A cultivar de soja utilizada foi a DM 6563 RSF IPRO, DONMARIO sementes, com a tecnologia INTACTA RR2 PROTM, com tratamento industrial de sementes. As sementes foram tratadas com inseticida sistêmico do grupo químico dos Neonicotinóide e inseticida de contato e ingestão do grupo químico dos Metilcarbamato de Oxima, na dose de 75,0 g i.a. ha⁻¹ de Imidacloprido e 225 g i.a. ha⁻¹ de Tiodicarbe para cada 100 kg de semente. O espaçamento entre linhas utilizado foi de 0,45 m, com 16 sementes por metro linear. Para a adubação de base utilizou-se 290 kg ha⁻¹ do formulado 2-20-20. O controle de plantas daninhas, insetos praga e o controle preventivo de doenças foram realizados conforme as necessidades da cultura, sendo utilizado como base as recomendações técnicas da Embrapa para a cultura da soja.

4.4.3 Determinação da massa seca do consórcio

Antecedendo o manejo das plantas de cobertura do solo, aproximadamente 210 dias após a semeadura, efetuou-se a avaliação da produtividade de massa seca (MS) das plantas de cobertura e da cultura do milho remanescente. Para essa avaliação foi utilizado um quadrado de amostragem equivalente a 0,25 m², lançado aleatoriamente em cada parcela, e as plantas contidas em seu interior foram cortadas rente ao solo com uma tesoura de poda, sendo tiradas duas amostras por parcela. As amostras de cada tratamento foram colocadas em sacos de

papel e levadas à estufa de ventilação forçada de ar com temperatura de 65°C por um período de 72 horas. Ao retirar o material fez-se a pesagem determinando a massa seca.

4.4.4 Coletas de amostras de solos e análises laboratoriais

Após um período de aproximadamente 20 dias do manejo das plantas de cobertura do solo, iniciou-se a coleta em dois pontos amostras indeformadas de solo em cada uma das parcelas para a determinação da macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (PT) e densidade do solo (Ds). Para isso utilizou-se um cilindro metálico (Anel de Kopecky) de volume conhecido. As amostras foram coletadas nas profundidades entre 0 - 0,05; 0,05 - 0,10 e 0,10 - 0,15 m. As análises de Ma, Mi e PT foram realizadas em mesa de tensão com potencial de -0,006 MPa (sucção leve), e a Ds pela relação entre a massa de solo seco e o volume total do solo coletado (EMBRAPA, 1997).

A resistência do solo à penetração (RP) foi avaliada com a utilização do penetrômetro digital Falker, modelo PenetroLOG-PGL 1020, com aptidão eletrônica para aquisição dos dados, sendo realizadas quatro determinações por parcela. O penetrômetro foi configurado para registrar leituras a cada 0,01 m de incremento de profundidade, trabalhando em velocidade de penetração constante. Os dados referentes ao penetrômetro Falker foram extraídos da memória digital e analisados a cada 0,05 m de profundidade até 0,40 m. Para o processamento dos dados de resistência à penetração, foi utilizado o Software PenetroLOG. No momento da amostragem, em cada parcela foi retirada uma amostra de solo nas profundidades de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m, para análise do teor de umidade, sendo determinada pelo método padrão da estufa (EMBRAPA, 1997), a qual apresentou em média 0,30 kg kg⁻¹ de água.

4.4.5 Produtividade dos sistemas de sucessão soja e milho segunda safra

A determinação da produtividade da cultura do milho foi realizada através da colheita mecanizada quando a cultura apresentou entre 18 - 25 % de umidade nos grãos. Foram colhidas as quatro linhas centrais da área útil de cada parcela e, através da massa dos grãos produzidos na parcela e corrigida para 13 % de umidade, estimou-se a produtividade para kg ha⁻¹. A determinação da produtividade da cultura da foi realizada através da colheita mecanizada quando a cultura apresentou entre 14 - 16 % de umidade nos grãos. Foi colhida toda a área útil de cada parcela e, através da massa dos grãos produzidos na parcela e

corrigida para 13 % de umidade, estimou-se a produtividade para kg ha^{-1} . Em seguida, foram somadas as produtividades dos dois anos de cultivo da cultura do milho com a produtividade da cultura da soja, obtendo assim, a produtividade total de grãos em kg ha^{-1} em cada sistema de sucessão.

4.4.6 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram tabulados e analisados quanto a normalidade e homogeneidade através dos testes de Lilliefors e Bartlett, respectivamente. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância considerando um nível de significância de 5 % para o teste F. Para as variáveis MS, Ma, Mi, PT, Ds e RP, em que a relação entre o maior e menor quadrado médio do resíduo (QMr) dos anos avaliados (2016 e 2017) menor que 7:1, foram submetidas a análise de variância conjunta considerando um nível de significância de 5 % para o teste F. Quando significativos, os contrastes foram comparadas pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade, utilizando o software estatístico Genes (CRUZ, 2008).

Diante dos sistemas de cultivo utilizados na cultura do milho: Milho+Braquiária (MB); Milho+Aveia (MA); Milho+Feijão guandu anão (MF); Milho+Crotalaria (MC) e Milho (M), os seguintes contrastes foram estabelecidos para as comparações: C₁: (MB+MA+MF+MC) X (M); C₂: (MB+MA) X (MF+MC); C₃: MB X MA e; C₄: MF X MC. Além disso, foram comparados os dois anos de cultivo (2016 e 2017) pelo seguinte contraste: C₅: 2016 X 2017.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados do quadrado médio do resíduo (QMr) e a relação entre o maior e menor QMr das variáveis analisadas nos cultivos de milho na segunda safra consorciados com plantas de cobertura do solo nos anos de 2016 e 2017. Foi possível a realização da análise de variância conjunta para a variável MS, bem como para as variáveis físicas do solo, Mi, PT, Ds e RP na profundidade de 0 - 0,40 m e, Ma na profundidade de 0 - 0,20 m. No entanto, a variável Ma na profundidade de 0,20 - 0,40 m, não apresentou homogeneidade entre os QMr, pois teve uma relação superior a 7:1, não sendo possível a realização da análise de variância conjunta para esta variável (BANZATTO; KRONKA, 2006; PIMENTEL GOMES, 2009).

Tabela 1 - Resultados do quadrado médio do resíduo (QMr) e a relação entre o maior e menor QMr das variáveis analisadas em função do cultivo de milho na segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo nos anos de 2016 e 2017

Variáveis	QMr					Relação
	2016		2017		Relação	
MS	422623,65		952574,92		2,25*	
	2016	2017	Relação	2016	2017	
	0 - 0,10 m			0,10 - 0,20 m		
Ma	0,000150	0,000100	1,50*	0,000025	0,000150	6,00*
Mi	0,001767	0,000808	2,19*	0,000317	0,000183	1,73*
PT	0,001292	0,000942	1,37*	0,000233	0,000142	1,64*
Ds	0,006442	0,001442	4,47*	0,003250	0,001158	2,81*
	0,20 - 0,30 m			0,30 - 0,40 m		
Ma	0,000025	0,000208	8,32**	0,000025	0,000342	13,68**
Mi	0,000217	0,000333	1,53*	0,000325	0,000233	1,39*
PT	0,000292	0,000392	1,34*	0,000233	0,000308	1,32*
Ds	0,003017	0,001067	2,83*	0,004358	0,000917	4,75*
	0 - 0,05 m			0,05 - 0,10 m		
RP	0,005608	0,018342	3,27*	0,183775	0,050150	3,66*
	0,10 - 0,15 m			0,15 - 0,20 m		
RP	0,058608	0,046242	1,27*	0,053042	0,049483	1,07*
	0,20 - 0,25 m			0,25 - 0,30 m		
RP	0,097050	0,090908	1,07*	0,225942	0,078775	2,87*
	0,30 - 0,35 m			0,35 - 0,40 m		
RP	0,140583	0,046833	3,00*	0,063717	0,067358	1,06*

*: Relação menor que 7:1, permite a análise de variância conjunta de dados.

** : Relação maior que 7:1, não permite a análise de variância conjunta de dados.

A produtividade de MS entre o contraste C₁: (MB+MA+MF+MC) X (M) foi de 11,79 e 11,12 Mg ha⁻¹ respectivamente. Observa-se uma tendência de maior produtividade de MS no milho consorciado em relação ao monocultivo. Entretanto, este aumento não foi capaz de promover significância entre os resultados a 5% de probabilidade (Figura 2). Este menor desenvolvimento das plantas de cobertura da família *Fabaceae* foi observado durante a condução do experimento, em que as folhas dessa plantas caíam constantemente, produzindo pouca ou nenhuma ramificação. Demonstrando que estas espécies são poucas adaptadas a condição de redução de luz, a qual no consórcio foram submetidas.

Resultados semelhantes ao presente estudo foram obtidos por Collier et al. (2011) que não verificaram diferenças na produtividade de MS entre o cultivo de milho consorciado com feijão-de-porco e o cultivo de milho em monocultivo. No entanto, resultados contrários foram encontrados por Seidel et al. (2015) e Mattei et al. (2015), que verificaram que o cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo, aumentam em média 35 % a MS aportada ao solo em relação ao cultivo de milho cultivado em monocultivo. Menes da Silva, (2016) verificou que o consórcio de milho com braquiária; milho com braquiária e crotalária;

milho com braquiária e feijão guandu, promoveram os maiores incrementos de MS em relação ao cultivo de milho em monocultivo, no entanto, os consórcios de milho com crotalária e milho com feijão guandu, não promoveram aumento nos teores de MS.

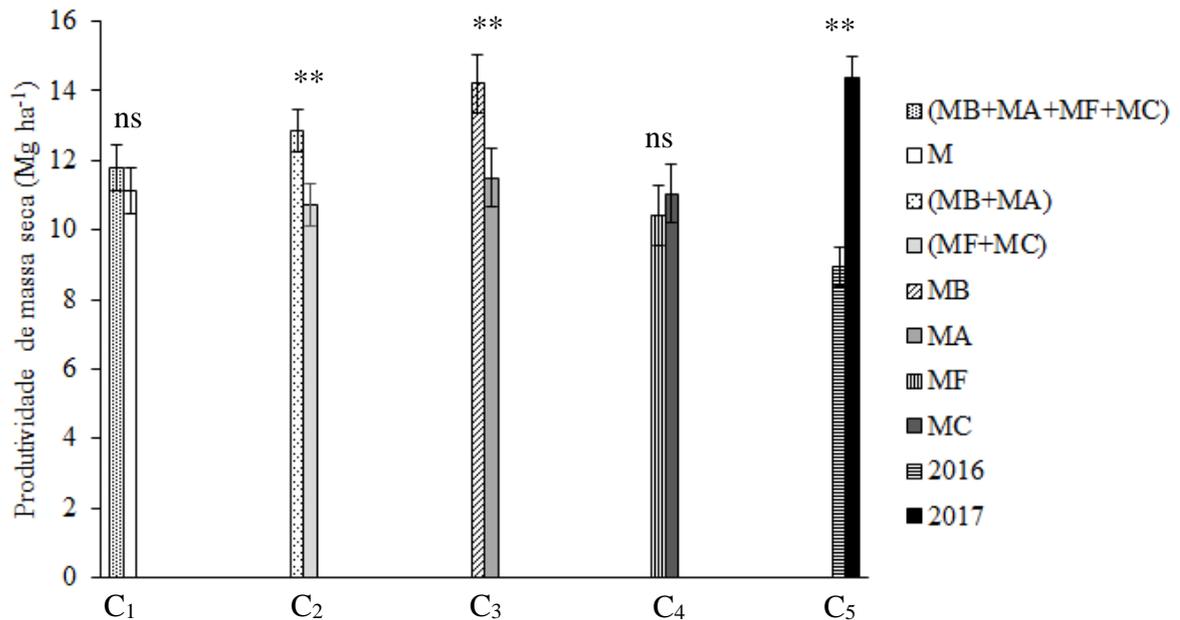


Figura 2 - Produtividade de massa seca nos cultivos de milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo nos anos de 2016 e 2017.

** : Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 1 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

* : Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

ns : Contraste não significativo pelo teste de Scheffé, dentro de cada parâmetro avaliado.

Quanto a comparação entre o cultivo de milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo das famílias *Poaceae* e *Fabaceae*, contraste (C₂) verificou-se que o cultivo de milho consorciado com plantas da família *Poaceae* produziram 12,85 Mg ha⁻¹ e as plantas da família *Fabaceae* 10,73 Mg ha⁻¹; ou seja, houve um aumento de 2,12 Mg ha⁻¹ a mais de MS do que o cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura da família *Fabaceae* (Figura 2).

Resultados semelhantes foram encontrados por Souza e Guimarães (2013). Porém, resultados contraditórios são encontrados na literatura, Mottin et al. (2018) verificaram maior produtividade de MS em plantas da família *Fabaceae*, no entanto, Ziech et al. (2015) não verificaram diferenças na produtividade de MS entre essas família. Assim, vale destacar que essas oscilações são provocadas por fatores fitotécnicos, edáficos e climáticos (KLIEMANN et al., 2003). Além disso, como visto anteriormente, as plantas de cobertura do solo da família *Fabaceae* apresentaram sensibilidade ao fotoperíodo causado pelo sombreamento da cultura do milho após seu completo desenvolvimento vegetativo.

Na avaliação da produtividade de MS do milho consorciado com plantas de cobertura da mesma família, verificou-se que no consórcio de milho com plantas da família *Poaceae*, o milho consorciado com braquiária, teve uma produtividade de MS 19 % superior ao cultivo de milho consorciado com a aveia preta (C₃) (Figura 2). Já no cultivo de milho consorciado com plantas da família *Fabaceae* não foram observadas diferenças (C₄) (Figura 2). A braquiária apresenta grande potencial produtivo, podendo em solos de alta fertilidade, produzir de 6,0 - 13,0 Mg ha⁻¹ de MS (PACHECO et al., 2011), além disso, o uso de plantas de cobertura do solo, com hábito perene, como as braquiárias, pode proporcionar significativo acúmulo de MS (PACHECO et al., 2008). Dessa forma, o consórcio de milho com braquiária é considerada uma técnica eficiente na formação de palhada para o SPD e proteção do solo (SILVA et al., 2011) contra a ação nociva da chuva e radiação solar.

Com relação a produtividade de MS entre os cultivos de milho segunda safra dos anos de 2016 e 2017, verificou-se que no cultivo do milho segunda safra no ano de 2016 foi de 8,94 Mg ha⁻¹, enquanto que no ano de 2017 foi de 14,38 Mg ha⁻¹, uma diferença de 5,44 Mg ha⁻¹ (C₅) (Figura 2). A justificativa foi as condições climáticas mais favoráveis ocorridas no ano de 2017. Conforme podemos observar na figura 1, houve melhor distribuição da precipitação pluviométrica no ano de 2017. Embora a precipitação acumulada durante os períodos de semeadura até a coleta das amostras de MS tenham sido maiores no ano de 2016 quando comparado ao ano de 2017, uma diferença de aproximadamente 270 mm, verificou-se que no ano de 2017 as distribuições totais mensais foram mais homogêneas que no ano de 2016, sendo que nos dois anos avaliados, as temperaturas máximas e mínimas tiveram o mesmo comportamento e apresentaram os mesmos valores médios de 28 °C de temperatura máxima e de 16 °C de temperatura mínima. Ter água disponível no momento e na quantidade em que as plantas mais necessitam é fundamental para seu desenvolvimento e produção das culturas (SILVA et al., 2017).

Vale destacar que, embora a produtividade de MS tenha sido maior no ano de 2017, observou-se que o desenvolvimento das plantas de cobertura do solo foram inferiores as plantas de cobertura do ano de 2016, ou seja, a maior contribuição da MS no ano de 2017 ocorreu em função da MS da cultura do milho segunda safra.

Estimativas mostram que a produção média de MS aportada ao solo do milho segunda safra é de 4,5 Mg ha⁻¹ e, no milho cultivado na safra principal (safra de verão) é de 6,0 - 7,0 Mg ha⁻¹ (NICOLOSO et al., 2008) Assim, verifica-se que em todos os sistemas de cultivo do milho segunda safra, a produtividade de MS ficou acima desses valores, sendo o menor para o

milho consorciado com feijão guandu anão ($10,42 \text{ Mg ha}^{-1}$) e o maior para o milho consorciado com braquiária ($14,20 \text{ Mg ha}^{-1}$) (Figura 2).

Esta produção de MS são considerados bons para manutenção dos teores de matéria orgânica do solo nas condições do Rio Grande do Sul. Segundo Lovato et al. (2004) a adição anual de MS deve ser no mínimo $8,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, enquanto para a região do cerrado essa adição anual deve ser maior do que $10 - 12 \text{ Mg ha}^{-1}$ conforme Bayer (1996) e Fiorin (1999), citados por Amado (2000). Assim, além de buscar por um sistema de cultivo com uma alta produção de MS, também devemos estar atentos a um sistema que apresente estabilidade na produção de MS.

Para as propriedades físicas do solo, observou-se que o maior volume de Ma e a menor Ds, na profundidade de $0 - 0,10 \text{ m}$, ocorreu no cultivo do milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo, apresentando $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a mais de Ma; um aumento de 40% , que contribuiu para uma redução de $0,09 \text{ Mg m}^{-3}$ na Ds, quando comparado ao cultivo da cultura do milho segunda safra sem o consórcio (C_1) (Tabela 2). Esses resultados são justificados pela maior concentração do volume de raízes no solo, promovido pelo uso das plantas de cobertura do solo no consórcio da cultura do milho segunda safra. As raízes das plantas também produzem matéria seca, esta produção pode ser de até 30% da MS produzida pela parte aérea. Pessotto et al., 2016; também salientou a importância do sistema radicular das plantas de cobertura do solo para melhorar as propriedades físicas dos solos agrícolas.

O crescimento radicular e a constante absorção de água no perfil do solo (GUEDES FILHO et al., 2013), exerce pressão sobre o solo promovendo a aproximação de suas partículas, aumentando sua agregação. Além disso, as raízes liberaram exsudados orgânicos, gomas e mucilagens que atuam como agentes cimentantes das partículas do solo (CALONEGO; ROSOLEM, 2008), também aumenta a atividade microbológica do solo e que pode resultar em melhorias nas propriedades físicas do solo, tais como: Ma, Ds e agregação (SCHILLER et al. 2018). Outra contribuição das raízes das plantas para melhoria do solo é que ao se decompor há a formação de bioporos com ampla variação de tamanho (LIMA et al., 2012).

Entretanto, Seidel et al. (2015) não verificaram diferenças entre o cultivo de milho sem e com consórcio com plantas de cobertura do solo na macroporosidade e densidade do solo. Segundo os autores, isso ocorreu em função da imediata avaliação do solo após a colheita do milho, não tendo tempo o suficiente para que as raízes das plantas fossem decompostas pela biota do solo, além disso as avaliações foram realizadas em apenas um ano agrícola.

Tabela 2 - Valores dos macroporos (Ma), microporos (Mi), porosidade total (PT) e densidade do solo (Ds) nos cultivos de milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo nos anos de 2016 e 2017 nas profundidades de avaliação de 0 - 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30 e; 0,30 - 0,40 m

Tratamentos	Ma	Mi	PT	Ds	Ma	Mi	PT	Ds
	m ³ m ⁻³				Mg m ⁻³			
	0 - 0,10 m				0,10 - 0,20 m			
MB	0,16	0,43	0,59	1,12	0,06	0,47	0,53	1,37
MA	0,08	0,47	0,54	1,25	0,05	0,50	0,55	1,32
MF	0,08	0,48	0,54	1,32	0,04	0,49	0,54	1,34
MC	0,08	0,50	0,57	1,22	0,04	0,49	0,54	1,33
M	0,06	0,46	0,56	1,32	0,05	0,47	0,53	1,38
Contrastes								
C ₁	0,03**	0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	-0,09*	0,00 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,05 ^{ns}
C ₂	0,04**	-0,04 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,08*	0,01 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}
C ₃	0,08**	-0,04 ^{ns}	0,05 ^{ns}	-0,13**	0,01 ^{ns}	-0,03**	-0,02 ^{ns}	0,05 ^{ns}
C ₄	0,00 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,03 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}
2016	0,12	0,47	0,59	1,17	0,04	0,48	0,53	1,33
2017	0,06	0,47	0,54	1,32	0,06	0,49	0,54	1,36
Contraste								
C ₅	0,06**	0,00 ^{ns}	0,04*	-0,15**	-0,02*	-0,01 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,03 ^{ns}
	0,20 - 0,30 m				0,30 - 0,40 m			
MB	Na	0,46	0,52	1,36	Na	0,48	0,52	1,31
MA	Na	0,49	0,54	1,33	Na	0,50	0,56	1,37
MF	Na	0,49	0,54	1,36	Na	0,49	0,54	1,32
MC	Na	0,49	0,54	1,36	Na	0,51	0,56	1,33
M	Na	0,48	0,53	1,39	Na	0,48	0,53	1,35
Contrastes								
C ₁	Na	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	Na	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	-0,02 ^{ns}
C ₂	Na	-0,01 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	Na	-0,01 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}
C ₃	Na	-0,03 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	0,03 ^{ns}	Na	-0,02*	-0,04**	-0,06 ^{ns}
C ₄	Na	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	Na	-0,02 ^{ns}	-0,02 ^{ns}	-0,01 ^{ns}
2016	Na	0,48	0,53	1,34	Na	0,49	0,53	1,33
2017	Na	0,49	0,54	1,38	Na	0,50	0,56	1,35
Contraste								
C ₅	Na	-0,01 ^{ns}	-0,01 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	Na	-0,01 ^{ns}	-0,03**	-0,02 ^{ns}

** : Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 1 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

* : Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

^{ns} : Contraste não significativo pelo teste de Scheffé, dentro de cada parâmetro avaliado.

Na: Não avaliado na análise conjunta de dados.

Na profundidade de 0 - 0,10 m (Tabela 2), também houve diferença entre o cultivo de milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura das famílias *Poaceae* e *Fabaceae* na Ma e Ds. O cultivo do milho consorciado com as *Poaceae*, apresentou 0,04 m³ m⁻³ a mais de Ma e 0,08 Mg m⁻³ a menos de Ds (C₂). Os efeitos das diferentes famílias de plantas de cobertura utilizadas no consórcio com a cultura do milho segunda safra, estão atribuídas a

dois fatores. O primeiro fator está relacionado as diferentes formas das estruturas radiculares de cada família, as *Poaceae* o sistema radicular é do tipo fasciculado e nas *Fabaceae* do tipo pivotante. Sendo o sistema radicular fasciculado, considerado o de maior capacidade em promover a agregação solo (CALONEGO et al., 2011a; KONDO et al., 2012) e a formação de macroporos, pois estas propriedades estão diretamente relacionadas (EDEN et al., 2011); isto porque elas apresentam um maior volume de raiz, quando comparado os das *Fabaceae*. Estes resultados são corroborados pelos trabalhos de Mottin et al. (2018), que verificaram que as plantas de cobertura do solo da família *Poaceae* promoveram maior volume de macroporos na profundidade de 0 - 0,10 m do que as plantas da família *Fabaceae*.

Outro fator que contribuiu para maior qualidade física do solo onde se encontrava as plantas da família *Poaceae* foi a produtividade da MS. Como demonstrado anteriormente, o cultivo de milho consorciado com as *Poaceae* promoveu a maior produtividade de MS, 12,85 Mg ha⁻¹, o que aumentou a atividade microbiana, agregação e estruturação do solo (MEDEIROS et al., 2015). O maior conteúdo de matéria orgânica do solo, promovido pelo maior fornecimento de MS, é responsável pelos menores valores na Ds (LAURINDO et al., 2009; ROCHA et al., 2015).

A matéria orgânica do solo promove a flocculação do solo, aumentando a Ma, reduzindo a relação massa/volume, causando a redução da Ds (LAURINDO et al., 2009). Esse fato, também explica a diferença de 50 % no volume de Ma e 10 % na Ds no cultivo do milho consorciado com braquiária quando comparado ao cultivo de milho consorciado com aveia preta (C₃) (Tabela 2). Vale destacar que valores da Ma inferiores a 0,10 m³ m⁻³, podem afetar o crescimento radicular da culturas (SEIDEL et al., 2015).

A densidade do solo média foi de 1,24 Mg m⁻³ e está próximo dos valores de 1,25 - 1,30 Mg m⁻³ que segundo Reichert et al., (2003) são considerados críticos para a maioria das culturas em solos com mais de 55 % de argila. Por outro lado, Reinert et al. (2001) consideram como densidade crítica ao crescimento de raízes valores acima de 1,45 Mg m⁻³. Para Argenton et al. (2005), quando a densidade do solo for superior a 1,30 Mg m⁻³, devem-se realizar práticas de cultivo que favoreçam o crescimento do sistema radicular e aumente a agregação, o que resultará em redução no valor da densidade do solo.

Nas profundidades de 0,10 - 0,20 e 0,30 - 0,40 m (Tabela 2), o cultivo de milho consorciado com aveia preta apresentou a maior Mi, em média 5% a mais que o cultivo de milho consorciado com aveia preta (C₃). O aumento do volume de Mi quando associada a redução do volume de Ma, pode ser um indicativo de compactação do solo (FONSECA et al.,

2007), ou seja, da desfragmentação dos agregados do solo (BONETTI et al., 2015). Porém, esse fato não foi observado nesse presente estudo.

Na profundidade de 0,30 - 0,40 m (Tabela 2), também observou-se que o cultivo de milho consorciado com aveia preta, promoveu o aumento na PT em $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Isso ocorre devido o sistema radicular da aveia preta ser mais agressivo (LOPES et al., 2013), uniforme e abundante em todo o volume de solo (COSTA, 2014), contribuindo para a estabilidade dos agregados de maior diâmetro, melhorando a qualidade estrutural do solo (SANTOS et al., 2012). Além disso, as raízes das plantas apresentam uma contribuição de 30 % do carbono produzido na parte aérea (KISSELLE et al., 2001), aumentando facilmente a PT (SILVA et al., 2012).

Na comparação entre os anos de cultivo do milho segunda safra 2016 e 2017 (C₅), verificou-se que na profundidade de 0 - 0,10 m, o cultivo no ano de 2016 foi superior em 0,06 e $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a mais no volume de Ma e PT, além de promover uma redução de $0,15 \text{ Mg m}^{-3}$ na Ds, quando comparado ao ano de cultivo de 2017 (Tabela 2). Na profundidade de 0,10 - 0,20 m, o maior volume de Ma foi no cultivo do milho no ano de 2017, $0,04 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a mais que o cultivo do milho no ano de 2016 (C₅). Além disso, o cultivo da cultura do milho no ano de 2017, também promoveu um aumento de $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na PT na profundidade de 0,30 - 0,40 m (C₅).

Na comparação entre os sistemas de cultivo do milho segunda safra em monocultivo e com consórcio com plantas de cobertura do solo, não foram observadas diferenças nos valores da RP (Figura 3).

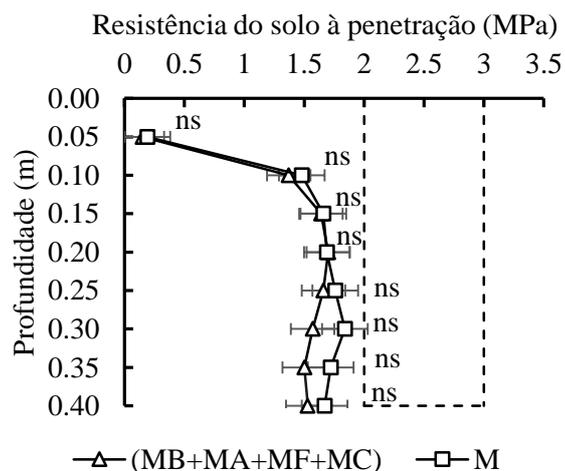


Figura 3 - Resistência do solo à penetração nos cultivos de milho segunda safra com e sem consórcio com plantas de cobertura do solo nos anos de 2016 e 2017.

** : Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 1 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

* : Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

ns : Contraste não significativo pelo teste de Scheffé, dentro de cada parâmetro avaliado.

Também não foram verificadas diferenças nos valores da RP entre o cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura da família *Poaceae* e *Fabaceae* (Figura 4A), assim como, também não foram verificadas diferenças nos valores da RP para o consórcio da cultura do milho com plantas de cobertura da mesma família (Figura 4B e Figura 4C).

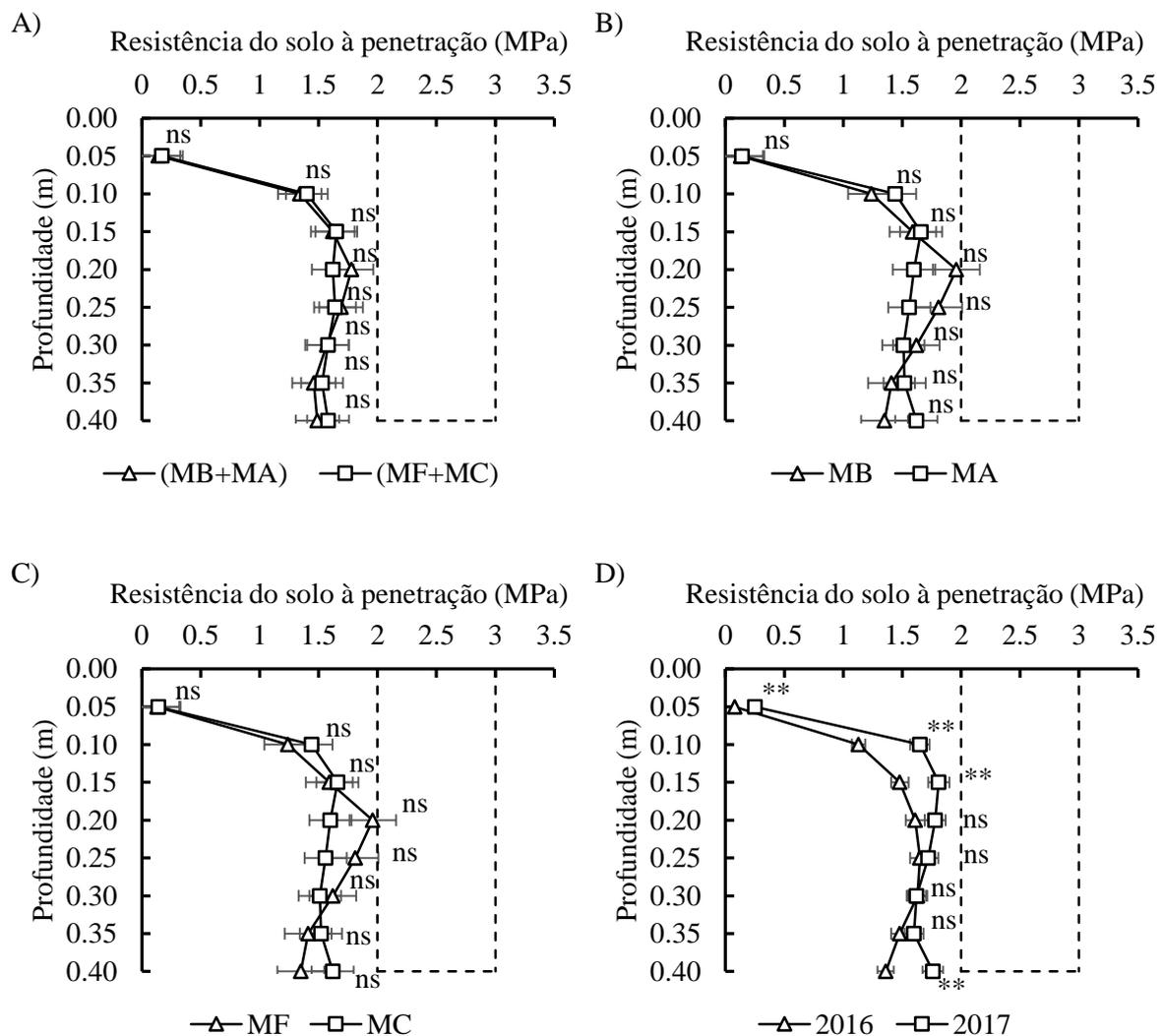


Figura 4 - Resistência do solo à penetração nos cultivos de milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo nos anos de 2016 e 2017.

** : Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 1 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

* : Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

ns : Contraste não significativo pelo teste de Scheffé, dentro de cada parâmetro avaliado.

No entanto, verificou-se que nos consórcios de milho com braquiária e milho com feijão guandu não o maior valor de RP nos dois sistemas de cultivo foi de 1,96 MPa, ficando muito próximo ao valor considerado como limite crítico para a maioria das culturas, 2,0 MPa (SANTOS et al., 2015), porém esse limite pode variar entre 2 - 3 MPa (IMHOFF et al., 2000) em função da umidade do solo no momento da avaliação.

Na comparação entre os anos de cultivo 2016 e 2017, observou-se que o cultivo da cultura do milho no ano de 2016 apresentou os menores valores de RP nas profundidades de 0,05 - 0,15 e 0,40 m, quando comparado ao cultivo do milho no ano de 2017. Esses efeitos estão relacionados ao melhor desenvolvimento das plantas de cobertura no cultivo do milho segunda safra no ano de 2016 quando comparado ao cultivo da safra do ano de 2017. Fato esse que também explica os melhores resultados para Ma, PT e Ds na profundidade de 0 - 0,10 m, observados na Tabela 2.

As plantas de cobertura do solo quando bem desenvolvidas, possuem elevado crescimento radicular que permite a descompactação biológica dos solos, por meio da formação de canais naturais, melhorando o desempenho dos sistemas agrícolas (BONFIM-SILVA et al., 2012). Debiasi et al. (2010), Calonego et al. (2011b) e Lima et al. (2015) verificaram que o uso de plantas de cobertura do solo são eficiente em reduzir a compactação dos solos agrícolas, promovendo dessa forma melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (CALEGARI et al., 2014).

Os resultados referentes a produtividade dos sistemas de produção do cultivo em sucessão de soja e milho segunda safra estão apresentados na Figura 5. Verificou-se que no sistema onde houve a sucessão de milho consorciado com plantas de cobertura do solo e soja, apresentou uma produtividade total de grãos de milho e soja de aproximadamente 5 % menor do que na sucessão de milho em monocultivo e soja (C₁).

Esses resultados indicam que ocorreu competição interespecífica entre a cultura do milho e as plantas de cobertura do solo utilizadas; ou seja, as plantas utilizadas no consórcio competiram pelos recursos disponíveis, como a água, luz, nutrientes, espaço, entre outros; principalmente na safra de 2016 que ocorreu uma precipitação desuniforme. Arf et al. (2018) verificou que a produtividade do milho pode ser afetada negativamente quando cultivado em consórcio com plantas de cobertura do solo, tanto da família *Poaceae* quanto da família *Fabaceae*. A competitividade da cultura com outras plantas, pode afetar a quantidade e a qualidade da produção, bem como a eficiência do aproveitamento dos recursos do ambiente (GALON et al., 2013).

Na comparação do cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura da família *Poaceae* e *Fabaceae* (C₂), observou-se que o cultivo da cultura do milho consorciado com plantas da família *Fabaceae* teve uma produtividade de aproximadamente 8 % a mais (Figura 5). Esses resultados revelam que as plantas de cobertura do solo da família *Poaceae* tem maior competitividade interespecífica do que as plantas de cobertura da família *Fabaceae*; provavelmente devido a sua maior produção de matéria seca, que demandou maior quantidade

de água. Isso ocorre, pois quanto mais semelhantes forem as características morfológicas entre as plantas de uma mesma área, maior será a competitividade (LAMEGO et al., 2004). Assim como a braquiária e a aveia preta, a cultura do milho também pertence à família *Poaceae*, o que torna essas plantas morfológicamente muito semelhantes. Plantas semelhantes, têm necessidades de recursos similares e exploram praticamente o mesmo nicho (AGOSTINETTO et al., 2008).

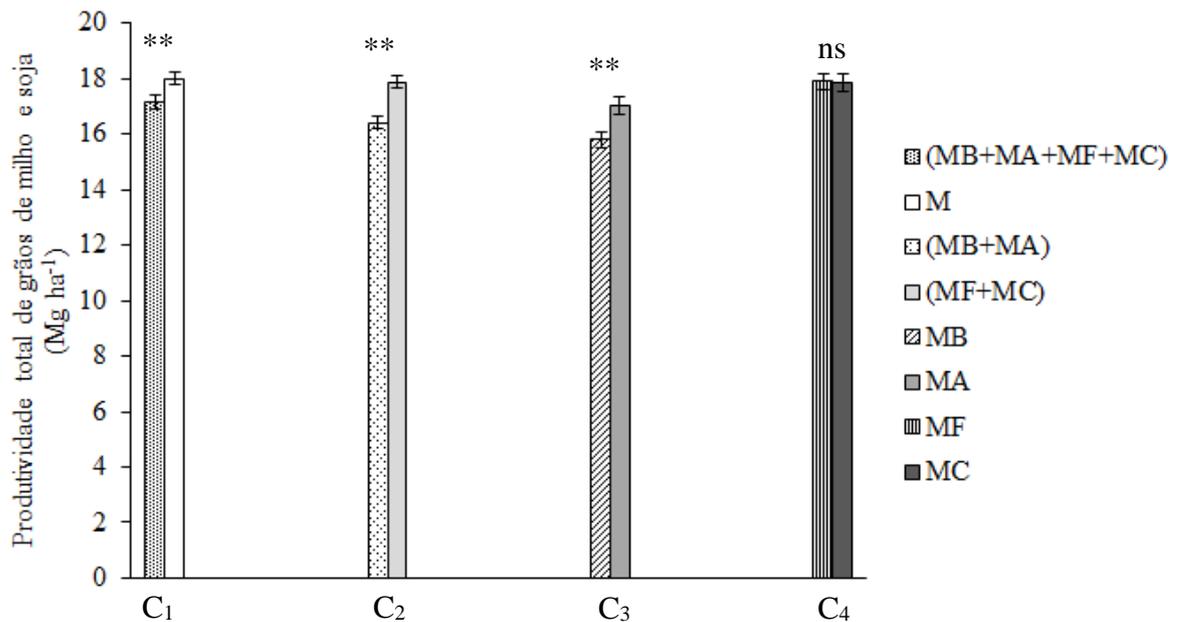


Figura 5 – Produtividade total de grãos de milho e soja em função do cultivo de milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo nos anos de 2016 e 2017.

** : Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 1 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

* : Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

ns: Contraste não significativo pelo teste de Scheffé, dentro de cada parâmetro avaliado.

Na comparação do cultivo do milho consorciado com plantas de cobertura do solo da família *Poaceae*, verificou-se que o cultivo do milho consorciado com braquiária apresentou uma produção de grãos de aproximadamente 7 % a menos quando comparado ao milho consorciado com aveia preta (C₃) (Figura 5). No entanto, não houve diferenças no cultivo do milho consorciado com feijão guandu anão e o milho consorciado com crotalária (C₄) (Figura 5). Vale lembrar que, a braquiária foi semeada no mesmo momento, mecanicamente de forma simultânea com a cultura do milho, enquanto que a aveia preta foi semeada manualmente a lançar, quando a cultura do milho estava no estágio reprodutivo R3 (grão leitoso).

Dessa forma, a braquiária estava presente no momento mais crítico do desenvolvimento da cultura do milho, que vai dos 15 aos 45 dias após a emergência (JAKELAITIS et al., 2010). No entanto, na literatura não existe um consenso sobre a

existência ou não da competitividade interespecífica no consórcio da cultura do milho com a braquiária. Alguns trabalhos como o de Chioderoli et al. (2012) e Seidel et al. (2014), não verificaram competição interespecífica no cultivo do milho consorciado com braquiária, enquanto outros como, o trabalho de Brambilla et al. (2009) e Arf et al. (2018) verificaram que existe a competição interespecífica no consórcio de milho com braquiária. Uma alternativa para evitar a competição interespecífica é a semeadura da braquiária 30 dias após a semeadura da cultura do milho (PAZ et al., 2017).

Embora o sistema de consórcio da cultura do milho segunda safra com plantas de cobertura do solo tenha reduzido a produtividade total de grãos de soja e milho, não devemos priorizar apenas essa informação no momento da escolha de um sistema de produção e, sim observar as demais informações contidas nesse trabalho, para que seja observado cada um dos sistemas como um todo, devido à complexidade de informações que cada sistema possui.

Na Figura 6 estão apresentados os resultados referentes a produtividade de grãos de soja da safra 2016 - 2017, cultivado sobre diferentes palhadas no ano de 2016. Verificou-se diferença significativa entre os tratamentos. A maior produtividade de grãos de soja foi sobre a palhada do milho consorciado com plantas de cobertura do solo, obtendo uma produtividade média de $4,92 \text{ Mg ha}^{-1}$, enquanto a produtividade da soja sob a palhada do milho em monocultivo foi de $4,73 \text{ Mg ha}^{-1}$ (C_1) (Figura 6). Possivelmente, isso tenha ocorrido em função dos benefícios da palhada, como: redução de temperatura do solo, menor perda de água; bem como melhor condicionamento físico do solo como o aumento da M_a em $0,03 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e a redução na D_s em $0,09 \text{ Mg m}^{-3}$, observados no C_1 da Tabela 2.

Resultados semelhantes foram obtidos por Mechi (2017). Chioderoli et al. (2012) avaliando as propriedades físicas do solo e a produtividade da soja em sistema de cultivo de milho consorciado e milho em monocultivo, verificaram aumento na produtividade da soja em função de melhorias físicas do solo promovido pelo consórcio. Os fatores relacionadas as características físicas, químicas e biológicas do solo, são os que mais contribuem para o aumento da produtividade da soja no SPD (FIDELIS et al., 2003).

Além disso, a ausência de plantas de cobertura do solo, como no caso da sucessão soja-milho segunda safra, são mais propensas as perdas devido a veranicos e sendo estas perdas mais severas (CECCON et al., 2013). O sistema de consorciação da cultura do milho com plantas de cobertura do solo, promove a maior cobertura do solo por maior período de tempo, principalmente no período de entressafra, protegendo das condições climáticas adversas (MECHI, 2017).

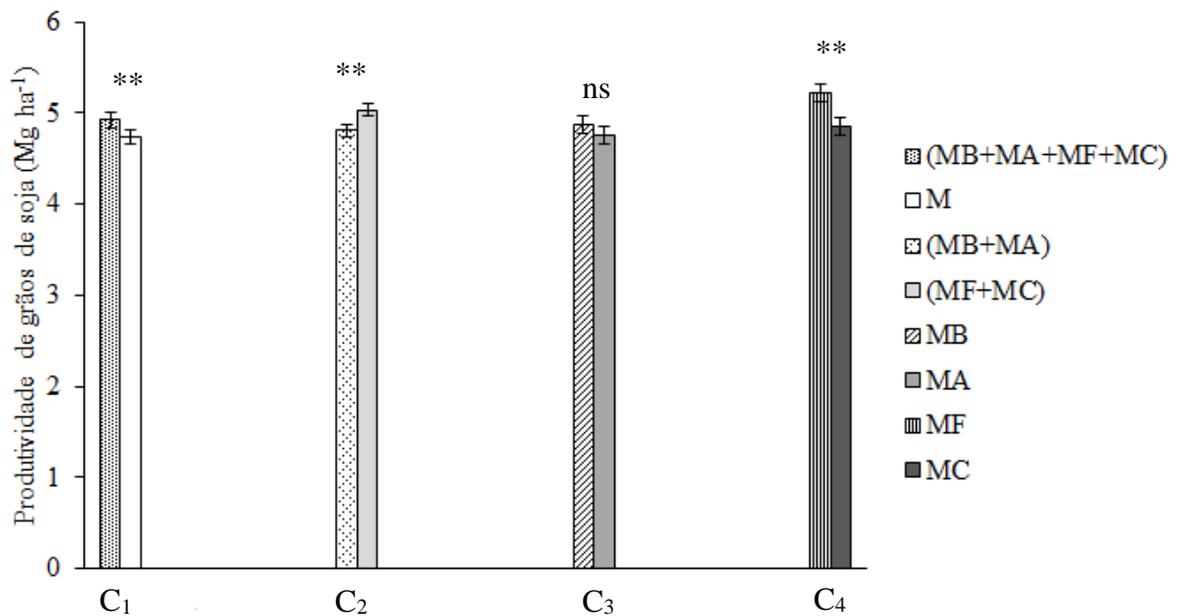


Figura 6 - Produtividade de grãos de soja em função das palhadas do cultivo de milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo no ano de 2016.

** : Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 1 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

* : Contraste significativo pelo teste de Scheffé a 5 % de probabilidade, dentro de cada parâmetro avaliado.

ns : Contraste não significativo pelo teste de Scheffé, dentro de cada parâmetro avaliado.

Outro benefício das plantas de cobertura do solo é que estas tem maior capacidade de ciclagem de nutrientes, e conseqüentemente pode aumentar a produtividade da soja (COSTA et al., 2015); portanto, são consideradas uma excelente ferramenta para a diversificação do sistema de produção agrícola garantido sua sustentabilidade (PARIZ et al., 2011b).

A produtividade da soja na sucessão da palhada de milho consorciado com plantas da família *Poaceae* foi de 4,81 Mg ha⁻¹, enquanto que a produtividade da soja sobre a palhadas do milho consorciado com plantas da família *Fabaceae* foi de 5,03 Mg ha⁻¹; ou seja, uma diferença de aproximadamente 5 % (C₂) (Figura 6). Esses resultados estão relacionados a relação carbono/nitrogênio que afetam a decomposição, liberação e mineralização dos nutrientes para a cultura da soja. Nas espécies das *Fabaceae* a relação C/N é menor, portanto disponibilizou mais nutrientes para a soja.

A alta concentração de nitrogênio na fitomassa, conseqüentemente menor relação carbono/nitrogênio, como na família *Fabaceae*, o processo de decomposição da MS é feita rapidamente, em função da demanda dos microrganismos por nitrogênio ser satisfeita rapidamente, sendo o nitrogênio excedente liberado rapidamente ao solo (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). No entanto, quando a concentração de nitrogênio na fitomassa é baixa, conseqüentemente maior relação carbono/nitrogênio, como na família *Poaceae*, o processo de decomposição da MS é lento, pois a quantidade de nitrogênio mineral não é suficiente para

atender a demanda dos microrganismos, os quais imobilizam o nitrogênio mineral disponível no solo, comprometendo a nutrição nitrogenada das lavouras em sucessão (CALVO et al., 2010).

Isso pode ser corroborado por Carneiro et al., (2008), segundo os quais, a velocidade de decomposição e liberação dos nutrientes varia em função da composição da palhada, principalmente entre as plantas das famílias *Poaceae* e *Fabaceae*. De acordo com Costa et al. (2015), a MS das plantas de cobertura do solo, depositadas sobre o solo, funciona como um reservatório de nutrientes, que são disponibilizados no decorrer do processo de decomposição, mediante a ação dos microrganismos presentes no solo.

Arf et al. (2018) verificou que os sistemas de milho consorciado com plantas de cobertura da família *Fabaceae* apresentaram maiores teores de nitrogênio na MS; facilitando desse modo, o processo de decomposição da MS e liberação de nutrientes para a cultura em sucessão, em especial o nitrogênio. Borges et al. (2015) verificou redução na produtividade da soja cultivada em sucessão a plantas de cobertura da família *Poaceae*, causada pela redução do teor de nitrogênio no solo, o qual foi imobilizado para o processo de decomposição das plantas da família *Poaceae*.

Não foram verificadas diferenças na produtividade da soja cultivada sobre palhada do milho consorciado com braquiária e aveia preta (C₃) (Figura 6). No entanto, entre as espécies da família *Fabaceae* houve diferença significativa. Quando a soja foi cultivada sobre a palhada do milho com feijão guandu anão a produtividade excedeu em 0,37 Mg ha⁻¹ em relação a soja sobre a palhada do milho com crotalária (C₄) (Figura 6). Possivelmente isso ocorreu em função da crotalária apresentar uma relação C/N menor que a do feijão guandu anão, o que favoreceu a rápida decomposição de sua MS e a liberação dos nutrientes, em especial o nitrogênio.

Segundo Pereira (2009), a relação C/N da crotalária é 12,6, enquanto que a do feijão guandu anão é de 14,4. Em função da menor relação C/N apresentada pela crotalária, o seu tempo de meia vida também é menor sendo de 78 dias em quanto que a do feijão guandu chega a 130 dias, sendo assim o feijão guandu anão considerado uma planta de cobertura do solo de maior recalcitrância contra a decomposição e assim de maior proteção a superfície do solo durante o período de entre safra (AKER; PASSOS, 2018). Fancelli (2009) verificou que aos 73 dias após o manejo das plantas de cobertura do solo a crotalária teve uma redução de 60,21 % da MS, enquanto que o feijão guandu anão teve uma redução de 49,36 %.

Outro fator que pode ter contribuído para este resultado é que a decomposição mais rápida da crotalária pode ter ocorrido liberação de grande quantidade de nitrogênio durante a

sua decomposição na fase de estabelecimento da simbiose entre as bactérias responsáveis pela fixação biológica de nitrogênio e a soja, diminuindo a nodulação, posteriormente, na fase de enchimento de grãos, onde ocorre grande demanda de nitrogênio, a deficiência desse elemento pode ter limitado a produtividade (LIMAI et al., 2009).

4.6 CONCLUSÕES

O sistema de consórcio milho segunda safra com plantas de cobertura do solo, não promoveu o aumento de massa seca sobre o solo, nem influenciou na resistência do solo à penetração das raízes.

O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura da família *Poaceae*, em especial a braquiária, é mais eficiente para o aumento da massa seca quando comparado a da família *Fabaceae*. Também são mais eficientes em promover melhorias na macroporosidade e redução na densidade do solo na profundidade de 0 - 0,10 m. E dentro da família *Poaceae* as braquiárias são mais eficientes do que a aveia preta.

De maneira geral o cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura de cobertura do solo, promoveu melhorias na qualidade física do solo na profundidade de 0 - 0,10 m. Embora, o consórcio de milho com plantas de cobertura tenha melhorado a qualidade física do solo; o mesmo reduziu em 5% a produtividade de grãos (milho e soja) do sistema na safra agrícola do ano de 2016 e 2017.

O cultivo da cultura da soja sobre a palhada do milho consorciado com plantas de cobertura do solo promoveu um aumento na produtividade de 0,19 Mg ha⁻¹. Sendo a maior produtividade da família *Fabaceae*, e dentro desta a soja em sucessão ao feijão guandu não promoveu um aumento de 5 % na produtividade.

4.7 REFERÊNCIAS

AGOSTINETTO, D.; RIGOLI, R.; SCHAEGLER, C. E.; TIRONI, S. P.; SANTOS, L. S. Período crítico de competição de plantas daninhas com a cultura do trigo. **Planta Daninha**, v. 26, p. 271–278, 2008.

AKER, A. M.; PASSOS, A. M. A. Performance de plantas leguminosas para sistema plantio direto na região amazônica. **Enciclopédia Biosféra**, v. 15, p. 804–814, 20018. <https://doi.org/10.18677/EnciBio>

ARF, O.; MEIRELLES, F. C.; PORTUGAL, J. R.; BUZETTI, S.; SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F. Benefícios do milho consorciado com gramínea e leguminosas e seus efeitos na

produtividade em sistema plantio direto. **Revista Brasileira Milho e Sorgo**, v. 17, p. 431–444, 2018.

BALIN, N. M.; ZIECH, A. R. D.; OLIVEIRA, J. P. M. DE; GIRARDELLO, V. C., STUMPF, L., CONCEIÇÃO, P. C. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Scientia Agraria**, v.18, p. 85–94, 2017.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação Agrícola**, 2006.

BATISTA, K.; DUARTE, A. P.; CECCON, G.; DE MARIA, I. C.; CANTARELLA, H. Acúmulo de matéria seca e de nutrientes em forrageiras consorciadas com milho safrinha em função da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1154–1160, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000006>

BONETTI, J. DE A., PAULINO, H.B., SOUZA, E.D., CARNEIRO, M.A.C., SILVA, GEANDERSON, N. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, p. 104–112, 2015. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529625>

BONFIM-SILVA, E. M.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; REIS, R. H. P. dos; CAMPOS, J. J.; SCARAMUZZA, W. L. M. P. Establishment of xaraés and marandu grasses under levels of soil compaction. **Engenharia Agrícola**, v. 32, p. 727–735, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000400012>

BORGES, W. L. B., FREITAS, R. S., MATEUS, G. P., SÁ, M. E., ALVES, M. C. Produção de soja e milho cultivados sobre diferentes coberturas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 89–98, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902015000100011>

BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, C. M. A.; RAFAULL, L. Z. L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférrico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 6, p. 331–336, 2011. <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i2a882>

BRAMBILLA, J. A.; LANGE, A.; BUCHELT, A. C.; MASSAROTO, J. A. Produtividade de milho safrinha no sistema de integração lavoura-pecuária, na região de Sorriso, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 8, p. 263–274., 2009. <https://doi.org/10.18512/1980-6477>

CALEGARI, A., COSTA, A. Manutenção da cobertura melhora atributos do solo. **Visão Agrícola**, v. 9, p. 13–16, 2009.

CALONEGO, J. C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e Braquiária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2183–2190, 2011a. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000600033>

CALONEGO, J. C.; GOMES, T. C.; HENRIQUE, C.; TIRITAN, C. S. Cover Crops Growth in Compacted Soil. **Bioscience Journal**, v. 27, p. 289–296, 2011b.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1399–1407, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400004>

CARVALHO, W. P.; CARVALHO, G. J.; NETO, D. O. A.; TEIXEIRA, L. G. V. Desempenho agrônômico de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, p. 157–166, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200005>

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; HOLANDA, H. V.; FURLANI, C. E. A.; GRIGOLLI, P. J.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Consórcio de Urochloas com milho em sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 42, p.1804–1810, 2012.

COLLIER, L. S.; KIKUCHI, F. Y.; BENÍCIO, L. P. F.; DE SOUSA, S. A. Consórcio e sucessão de milho e feijão-de-porco como alternativa de cultivo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira Tropical**, v. 41, p. 306–313, 2011. <https://doi.org/10.5216/pat.v41i3.8706>

COUTINHO, F. S.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES, D. J.; TORRES, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbon em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p. 100–105, 2010.

DAN, H. D. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; DAN, L. G. de M.; BRAZ, G. B. P.; BALBINOT, E.; SOUSA, F. G.; REIS, R. H. P. Controle de plantas daninhas em sistemas de cultivo consorciados. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 11, p. 108–118, 2012.

DE MENDONÇA, V. Z.; DE MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, F. C. B. L.; LIMA, R. C.; FILHO, W. V. V.; YANO, É. H. Avaliação dos atributos físicos do solo em consórcio de forrageiras e milho em sucessão com soja em região de Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 251–259, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100026>

DE SOUZA, J. L.; GUIMARÃES, G. P. Rendimento de massa de adubos verdes e o impacto na fertilidade do solo em sucessão de cultivos orgânicos. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1796–1805, 2013.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 603–612, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000600010>

EDEN, M.; SCHJØNNING, P.; MOLDRUP, P.; DE JONGE, L. W. Compaction and rotovation effects on soil pore characteristics of a loamy sand soil with contrasting organic matter content. **Soil Use and Management**, v. 27, p. 340–349, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00344.x>

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R. DA; OLIVEIRA, G. C. DE; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de latossolo vermelho distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Revista Agropecuária Tropical**, v. 37, p. 22–30, 2007.

GALON, L.; FERREIRA, E. A.; CONCENÇO, G.; SILVA, A. A.; SILVA, D. V.; SILVA, A. F.; ASPIAZÚ, I.; VARGAS, L. Características fisiológicas de biótipos de *Conyza bonariensis* resistentes ao glyphosate cultivados sob competição. **Planta Daninha**, v. 31, p. 859–866, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-83582013000400012>

GUEDES FILHO, O.; DA SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. **Geoderma**, v. 204–205, p. 94–101, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.04.017>

JAKELAITIS, A.; DANIEL, T. A. D.; ALEXANDRINO, E.; SIMÕES, L. P.; SOUZA, K. V.; LUDTKE, J. Cultivares de milho e de gramíneas forrageiras sob monocultivo e consorciação. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, p. 380–387, 2010. <https://doi.org/10.5216/pat.v40i4.5924>

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V. DE; ASSIS, R. L. DE; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, p. 116–121, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000200002>

KISSELLE, K. W.; GARRETT, C. J.; FU, S.; HENDRIX, P. F.; CROSSLEY JR, D. A.; COLEMAN, D. C.; POTTER, R. L. Budgets for root-derived C and litter-derived C: comparison between conventional tillage and no tillage soils. **Soil Biology & Biochemistry**, p. 1067–1075, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00012-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00012-8)

KLIEMANN, H. J.; MAGALHÃES, R. T.; OLIVEIRA, I. P.; MORAES, M. F. Relações da produção de massa verde de *Brachiaria brizantha* com os índices de disponibilidade de nutrientes em solos sob o sistema barreira de manejo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 33, p. 49–56, 2003.

KONDO, M. K.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; WENDLING, B.; DA SILVA, P. B.; CARDOSO, M. M. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agrônômicas do sorgo granífero. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 33–40, 2012.

LAMEGO, F. P.; FLECK, N. G.; BIANCHI, M. A.; SCHAEGLER, C. E. Tolerância à interferência de plantas competidoras e habilidade de supressão por genótipos de soja - II. Resposta de variáveis de produtividade. **Planta Daninha**, v. 22, p. 491–498, 2004.

LAURINDO, M. C. D. O.; NÓBREGA, L. H. P.; PEREIRA, J. O.; MELO, D.; LAURINDO, É. L. Atributos físicos do solo e teor de carbono orgânico em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo. **Engenharia na Agricultura**, v. 17, p. 367–374, 2009.

LIMA, L. B. DE; PETTER, F. A.; LEANDRO, W. M. Desempenho de plantas de cobertura sob níveis de compactação em Latossolo Vermelho de Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 1064–1071, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n11p1064-1071>

LIMA, V. M. P.; DE OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; CURTI, N.; EVANGELISTA, A. R. Intervalo hídrico ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 71–78, 2012.

<https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000100008>

LOPES, H. J.; WEBER, F. S.; VITÓRIA, G.; SALVADOR, R.; VALICHESKI, R. R.; STURMER, S. L. K. Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar – VI MICTI Instituto Federal Catarinense – Câmpus Camboriú 30 a 31 de outubro de 2013. **Anais...**, No. VI MICTI), Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar – VI MICTI. Camboriú, 2013.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; DE PAULA KOUCHER, L.; DE OLIVEIRA, R. A.; 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, p. 1212–1224, 2015. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140718>

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 Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1269–1276, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000022>

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, p. 175–187, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000100017>

MEDEIROS, A. R.; JÚNIOR, C. L. C.; PEREIRA, J. O.; OLIVEIRA, F. A.; AMARO FILHO, J. Avaliação da compactação do solo por meio de um ensaio oedométrico. **Revista Verde Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, p. 09-22, 2015.

MENES DA SILVA, K. **Produtividade de milho consorciado com plantas de coberturas em solo arenoso**. 57 f. Dissertação, 2016. Universidade Federal do Piauí, 2016.

MOTTIN, M. C.; SEIDEL, E. P.; FEY, E.; VANELLI, J.; ALVES, A. L.; RICHART, A.; FRANDOLOSO, J. F.; ANSCHAU, K. A.; FRANZISKOWSKI, M. A. Biomass Productivity and Physical Properties of the Soil after Cultivation of Cover Plant in the Autumn and Winter. **American Journal of Plant Sciences**, v. 09, p. 775-788, 2018. <https://doi.org/10.4236/ajps.2018.94061>

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 531–538, 2001.

NEGRINI, A. C. A. **Desempenho de alface (*Lactuca sativa* L.) consorciada com diferentes adubos verdes**. 2007. 113 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. DE A.; DE ASSIS, R. L.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 17–25, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000100003>

PACHECO, L. P.; PIRES, F. R.; MONTEIRO, F. P.; PROCÓPIO, S. O.; ASSIS, R. L.; DO CARMO, M. L.; PETTER, F. A. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 815–823, 2008.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; AZENHA, M. V.; BERGAMASCHINE, A. F.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Produtividade de grãos de milho e massa seca de braquiárias em consórcio no sistema de integração lavoura-pecuária. **Ciência Rural**, v. 41, p. 875–882, 2011. <https://doi.org/10.1007/3-540-45921-9>

PAZ, L. B.; GALLO, A. S.; SOUZA, R. L.; OLIVEIRA, L. V. N.; CUNHA, C.; SILVA, R. F. Desempenho e produtividade do milho safrinha em consórcio com leguminosas em sistema orgânico. **Revista Ciências Agrárias**, v. 40, p. 788–794, 2017.

PESSOTTO, P. P.; SILVA, V. R.; ORTIGARA, C.; KOPPE, E.; STROJAKI, T.; SANTI, A. L. Influência de diferentes plantas de cobertura nas propriedades físicas de um latossolo vermelho. **Revista Agraria**, v. 9, p. 348–356, 2016.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência Ambiental**, v. 20, 2003

ROCHA, S. P. DA; PREVEDELLO, J.; REINERT, D. J.; FLEIG, F. D.; VOGELMANN, E. S.; SOARES, J. C. W.; HEINZ, B. B. Propriedades físicas do solo e crescimento de eucalipto implantado em diferentes métodos de preparo do solo. **Scientia Forestalis**, v. 43, p. 965–977, 2015. <https://doi.org/10.18671/scifor.v43n108.20>

ROSA, H. A. **Potencial estruturante de espécies de cobertura em um latossolo argiloso e seus reflexos no rendimento de grãos e de óleo do crambe**. 2013. 28 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

SANCHEZ, E.; MAGGI, M. F.; GENÚ, A. M.; MÜLLER, M. M. L. Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Magistra**, v. 26, p. 48, 2014.

SANTOS, G. G.; DA SILVEIRA, P. M.; MARCHAO, 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, p. 1171–1178, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012001100005>

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. Á. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de Solos**, 2018. <https://doi.org/ISBN 978-85-7035-198-2>

SEIDEL, E. P.; GERHARDT, I. F. S.; CASTAGNARA, D. D.; NERES, M. A. Efeito da época e sistema de semeadura da *Brachiaria brizantha* em consórcio com o milho, sobre os componentes de produção e propriedades físicas do solo. **Semina**, v. 35, p. 55–66, 2014. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n1p55>

SEIDEL, E. P.; MATTIA, V.; MATTEI, E.; CORBARI, F. Produção de Matéria Seca e

Propriedades Físicas do Solo na Consorciação Milho e Braquiária. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, p. 18–24, 2015. <https://doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v14n1p18-24>

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; CASTRO, M. B.; MAGALHÃES, E. N. Potencial de descompactação de um Argissolo promovido pelo capim-tifton 85. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 39–45, 2010.

SILVA, C. A. T.; CEZAR, T. C. M.; NÓBREGA, L. H. P. Porosidade de latossolos e práticas de manejo agrícola para a conservação do solo. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 02, 153–164, 2012.

SILVA, M. G. O.; FREITAS, F. C. L.; MESQUITA, H. C.; NASCIMENTO, P. G. M. L.; RODRIGUES, A. P. M. DOS S.; SANTANA, F. A. O. Rendimento de grãos de cultivares de milho em consórcio com *Brachiaria brizantha*. **Agropecuária científica no Semi-árido**, v. 7, p. 23–29, 2011.

SILVA, M. S. M.; CARNEIRO, M. S. S.; EDVAN, R. L.; SANTIAGO, F. E. M.; NÓBREGA, J. C. A.; SANTIAGO, F. L. A. Diferentes turnos de rega sobre o crescimento e produção de *Macroptilium lathyroides* (L.) Urb. **Revista Ciências Agrárias**, v. 40, p. 430–435, 2017.

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 hibernar na região Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 374–382, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000500004>

5 CONCLUSÕES GERAIS

No primeiro ano o sistema de cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo aumentou o teor de COT e de suas frações.

O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo da família *Poaceae* e *Fabaceae* aumentaram os teores de COT em profundidades diferentes; nas *Poaceae* houve aumento nos teores de COT na profundidade de 0 - 0,20 m, enquanto nas *Fabaceae* houve aumento na profundidade de 0,20 - 0,40m. As plantas de cobertura demonstraram grande potencial em promover a qualidade do solo no sistema de plantio direto.

Após dois cultivos de milho consorciados com plantas de cobertura houve melhoria da qualidade da matéria orgânica do solo, observada na porcentagem de humina que representa a maior parte do carbono humificado.

O sistema de consórcio milho segunda safra com plantas de cobertura do solo, não promoveu o aumento de massa seca sobre o solo, nem influenciou na resistência do solo à penetração das raízes.

O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura da família *Poaceae*, em especial a braquiária, é mais eficiente para o aumento da massa seca quando comparado a da família *Fabaceae*. Também são mais eficientes em promover melhorias na macroporosidade e redução na densidade do solo na profundidade de 0 - 0,10 m. E dentro da família *Poaceae* as braquiárias são mais eficientes do que a aveia preta.

De maneira geral o cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura de cobertura do solo, promoveu melhorias na qualidade física do solo na profundidade de 0 - 0,10 m. Embora, o consórcio de milho com plantas de cobertura tenha melhorado a qualidade física do solo; o mesmo reduziu em 5% a produtividade de grãos (milho e soja) do sistema na safra agrícola do ano de 2016 e 2017.

O cultivo da cultura da soja sobre a palhada do milho consorciado com plantas de cobertura do solo promoveu um aumento na produtividade de 0,19 Mg ha⁻¹. Sendo a maior produtividade da família *Fabaceae*, e dentro desta a soja em sucessão ao feijão guandu não promoveu um aumento de 5 % na produtividade.

6 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Para melhores resultados sobre os benefícios da sucessão da soja e milho segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo, torna-se muito importante um maior período de tempo com esse sistema de cultivo e assim estar avaliando ainda mais afundo as propriedades físico-químicas do solo e de suas influências na produtividade de grãos de soja e milho. Assim, será possível selecionar o melhor sistema de cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura o solo para a sucessão com a cultura da soja, auxiliando para aumentar a produtividade de grãos ao mesmo tempo em que condiciona melhorias nas propriedades físico-químicas do solo.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Plantas de cobertura do solo utilizadas no presente trabalho.



Milho+Braquiária (*Urochloa ruziziensis*)

Milho+Aveia preta (*Avena strigosa* S.)



Milho+Feijão guandu anão (*Cajanus cajan*)

Milho+Crotalária (*Crotalaria spectabilis*)



Milho em monocultivo