

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

**RENAN PAN**

**DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E BIOLÓGICA: EFEITOS NAS  
PROPRIEDADES FÍSICAS E NO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2020**

**RENAN PAN**

**DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E BIOLÓGICA: EFEITOS SOBRE AS  
PROPRIEDADES FÍSICAS E DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO**

Dissertação 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 *Magister Scientiae*.

Orientadora: Dr<sup>a</sup> Edleusa Pereira Seidel

Coorientador: Dr Emerson Fey

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ**

**2020**

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

Pan, Renan

Descompactação mecânica e biológica : efeitos nas propriedades físicas e no carbono orgânico do solo / Renan Pan; orientador(a), Edleusa Pereira Seidel; coorientador(a), Emerson Fey, 2020.  
68 f.

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

1. Agronomia. 2. Física do Solo. 3. Rotação de Culturas. 4. Carbono Orgânico. I. Seidel, Edleusa Pereira. II. Fey, Emerson. III. Título.



**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.



## RENAN PAN

Descompactação mecânica e biológica: efeitos nas propriedades físicas e no carbono orgânico do solo

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

Orientadora - Edleusa Pereira Seidel

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

Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

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

Laercio Augusto Pivetta

Universidade Federal do Paraná - Campus de Palotina (UFPR)

*A meus pais Erualdo Pan e Lucia do Carmo Pan por me darem suporte e sempre me apoiarem ao longo de toda a minha vida me estimulando a nunca desistir dos meus sonhos.*

*A minha companheira para todas as horas Tauane Santos Brito por me auxiliar, me escutar e me aconselhar com as dúvidas da pós-graduação e por acreditar em mim.*

*Dedico!*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus por todas as oportunidades que me deu ao longo de minha vida que me direcionaram a mais essa etapa do meu crescimento pessoal e profissional.

Aos meus pais Erualdo Pan e Lucia do Carmo Pan por sempre acreditarem em mim e por todo o apoio que me deram não só durante o mestrado, mas ao longo de toda a minha vida, me dando estrutura e me aconselhando nos momentos difíceis.

A minha companheira para todas as situações Tauane Santos Brito que me auxiliou em muitos dias quentes em Entre Rios do Oeste com coletas intermináveis de anéis e solo. Por ter me aconselhado e filosofado comigo sobre a pós-graduação antes e durante o processo, e por entender os momentos em que me isolei sozinho em meu cantinho. E obrigado por muitas vezes me tirar desse isolamento e mostrar que tem muita coisa boa do lado de fora da caixinha.

A minha orientadora professora Edleusa Pereira Seidel por ter me aceitado como seu futuro orientado enquanto eu cursava como aluno especial. Por tudo que me ensinou, pela paciência durante minha evolução dentro da pós-graduação e por compartilhar seu vasto conhecimento comigo. Palavras não são suficientes para expressar o tamanho da minha gratidão. Muito obrigado.

Ao meu coorientador professor Emerson Fey que sempre que precisei me auxiliou com dúvidas referentes ao meu projeto, além de todas as contribuições feitas para a melhoria deste. E pelo chimarrão tomado e das experiências trocadas durante esse processo.

Ao Marcos César Mottin por ter me auxiliado e ensinado nas análises de carbono orgânico que foram essenciais ao meu trabalho, além dos conselhos dados quando me encontrava em dúvida.

Aos professores que contribuíram com minha formação durante esses dois anos do mestrado, em especial ao professor Affonso Celso Gonçalves Júnior pela disponibilização de um equipamento durante um período de avaliações.

As amigas, em especial a Alexandra da Silva Martinez e Daniela da Rocha Herrmann pelas conversas, trocas de experiência e apoio durante o mestrado e a minha colega e amiga Luane Laíse Oliveira Ribeiro pelo apoio durante as muitas horas no laboratório fazendo análises. Aos amigos e ao grupo de pesquisa GESA pelo auxílio e pelas risadas e filosofadas durante o mestrado.

Ao programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Agronomia (PPGA) da UNIOESTE de Marechal Cândido Rondon, pela oportunidade de realização desse curso. A Coordenação de

Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa provida durante a execução do meu projeto de mestrado.

E a todos os demais que contribuíram direta ou indiretamente dessa etapa na minha vida, auxiliando no meu crescimento pessoal e profissional.

**Muito obrigado!**

**“O Guia do Mochileiro das Galáxias diz o seguinte a respeito de voar: Há toda uma arte, ele diz, ou melhor, um jeitinho para voar. O jeitinho consiste em aprender como se jogar no chão e errar.”**

**(Douglas Adams)**

**“O homem somente terá saúde se os alimentos possuírem energia vital. Os alimentos somente possuem energia vital se as plantas forem saudáveis. As plantas somente serão saudáveis se o solo for saudável.”**

**(Ana Maria Primavesi)**

## BIOGRAFIA

Renan Pan, nascido em 22 de agosto de 1993, em Matelândia, estado do Paraná, filho de Erualdo Pan e Lucia do Carmo Pan. Graduado em Agronomia pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), Campus de Toledo, ingressou no curso no ano fevereiro de 2010 e formou-se em dezembro 2015. Em março de 2018 iniciou o Mestrado do Curso de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Agronomia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus de Marechal Cândido Rondon.

## RESUMO

PAN, Renan. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, fevereiro de 2020. **DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E BIOLÓGICA: EFEITOS SOBRE AS PROPRIEDADES FÍSICAS E DO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO.** Orientadora: Dr<sup>a</sup> Edleusa Pereira Seidel. Coorientador: Dr Emerson Fey.

A compactação do solo é geralmente considerada negativa dentro do sistema de produção agrícola uma vez que pode levar a redução na infiltração de água, diminuição da aeração e trocas gasosas, aumento do escoamento superficial e erosão, afetando o desenvolvimento das culturas e a produtividade. O teor de carbono orgânico do solo está diretamente relacionado as propriedades físicas do solo, sendo que aumentos nos seus são capazes de reduzir o potencial do solo em ser compactado, uma vez que este aumenta a resistência do mesmo a deformação ao aumentar a sua elasticidade. Os objetivos do presente trabalho foram avaliar o efeito de manejos de solo: mecânico, biológico e sua associação no cultivo de outono/inverno sobre as propriedades físicas do solo e a produtividade de soja em sucessão; avaliar os efeitos dos manejos: semeadura direta, descompactação mecânica e biológica no teor de carbono orgânico do solo (COS) e de suas frações. O experimento foi realizado na estação experimental Alcebíades Luís Orlando localizada em Entre Rios do Oeste – PR nos anos de 2018 a 2019. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados (DBC), com parcelas subdivididas no tempo e quatro repetições. O primeiro fator consistiu em 5 sistemas de manejo: Manejo 1 – nabo + aveia preta seguida de escarificação mecânica; Manejo 2 – nabo + aveia preta; Manejo 3 – milho segunda safra e escarificação logo após a colheita; Manejo 4 - milho segunda safra e trigo mourisco em sucessão; Manejo 5 - milho segunda safra sem escarificação (testemunha). As subparcelas foram os tempos de coleta. As coletas para determinar as propriedades físicas foram realizadas em 3 épocas março/2018, outubro/2018 e março/2019; e para avaliar os teores de carbono e suas frações duas épocas: outubro/2018 e março/2019. As amostras deformadas e indeformadas de solo foram coletadas em três profundidades: 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m. Avaliou-se a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, matéria seca aportada ao solo, cobertura do solo e os componentes de produção da soja. Para avaliar o efeito dos manejos no carbono orgânico do solo avaliou-se o carbono orgânico total do solo (COT), carbono não humificado (CNH) e as frações humificadas do carbono: ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina

(HUM), relação AH/AF e EA/HUM (extrato alcalino/humina). A descompactação mecânica e biológica promoveu melhorias na macroporosidade e porosidade total do solo em algumas profundidades. Entretanto, elas não persistiram e retornaram às condições iniciais da área. A porosidade do solo aumentou quando foi associada a escarificação mecânica com as plantas de cobertura nabo + aveia preta. O cultivo de nabo + aveia produziu maior quantidade de matéria seca na superfície do solo do que o monocultivo. A escarificação após o cultivo do milho segunda safra diminuiu a porcentagem de cobertura do solo, comprometendo a qualidade do SPD. A produtividade da soja não foi influenciada pelos manejos. No presente estudo houve reduções nos teores de COT, AF, AH e HUM após a primeira coleta em todas as profundidades avaliadas. Demonstrando que em regiões com altas temperaturas e precipitação há perda de carbono e de suas frações com o decorrer do tempo. O carbono orgânico total na área com nabo consorciado com aveia na profundidade de 0,15-0,20 m com soja em sucessão foi maior do que na área com milho/trigo mourisco. O manejo milho escarificado apresentou os maiores teores de humina na profundidade de 0,05-0,10 m e de 0,15-0,20 m com o decorrer do tempo.

Palavras-chave: Rotação de culturas, agroecologia, matéria orgânica do solo.

## ABSTRACT

PAN, Renan. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, February 2020. **MECHANICAL AND BIOLOGICAL LOOSENING: EFFECTS OVER THE SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND THE SOIL ORGANIC CARBON.** Advisor: PhD Edleusa Pereira Seidel. Co-Advisor: PhD Emerson Fey.

Soil compaction is generally considered negative in a crop management system once it can reduce the water infiltration, the soil aeration and gas exchanges, increasing the surface runoff and erosion, affecting the crops development and their productivity. The soil organic carbon content is directly related to the soil physical properties, being that increases in its concentration are capable of reducing the soil potential to be compacted once it increases its resistance to deformation by increasing its elasticity. The objectives of the present work were to evaluate the effect of soil management: mechanical, biological and its association in autumn / winter cultivation on physical soil properties and soybean productivity in succession; evaluate the effects of management: no tillage, mechanical and biological soil loosening in the soil organic carbon content (SOC) and its fractions. The experiment was carried in the experimental area Alcebíades Luís Orlando located in Entre Rios do Oeste – PR, during 2018 to 2019. The experiments design was of randomized block (RBD) in time split-plot with four replicates. The first factor consisted in 5 management systems: Management 1 – forage radish + black oats followed by chiseling; Management 2 – forage radish + black oat without chiseling; Management 3 – maize second crop followed by a chiseling after its harvest; Management 4 – maize second crop followed by buckwheat in succession; Management 5 – maize second crop without chiseling (control). The collections to determine the physical properties were carried in three times March/2018, October/2018 and March/2019; and for the evaluation of the carbon content and its fractions only two times October/2018 and March/2019. The disturbed and undisturbed samples were collected in three depths: 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m and 0,15-0,20 m. It was evaluated soil bulk density, macroporosity, microporosity and total porosity, besides the dry matter apported to the soil, soil coverage and the soybean production components. For the evaluation of the managements on the soil organic carbon it was evaluated the total organic carbon (TOC), non-humified carbon (NHC) and the humified carbon fractions fulvic acid (FA), humic acid (HA) and humin (HUM), besides the FA/HA and AE/HUM (alkaline extraction) ratios. The mechanical and biological soil loosening improved the macroporosity and total

porosity in some depths. However, they did not remain and returned to the area initial conditions. The soil porosity increased when the chiseling was associated to the cover crops forage radish + black oat. The crop forage radish + black oat produced the highest amount of dry matter on the soil surface. The chiseling after the maize second crop decreased the percentage of soil cover, compromising the no-till quality. The soybean yield was not influenced by the managements. In the present study there were decreases in the TOC, FA, HA and HUM after the soybean crop in all depths tested. Showing that in regions with high temperatures and rainfalls there is losses in carbon and its fractions with the time. The total organic carbon in the area with forage radish in consortium with black oat in the 0,15-0,20 m depth with soybean in succession was higher than in the area with maize/buckwheat. The area with soybean, which had maize harrowed after its harvest, had the highest humin content in the 0,05-0,10 m and 0,15-0,20 m depths.

**Keywords:** Crop rotation, agroecology, soil organic matter.

### Lista de Figuras Capítulo 1

**Figura 1** - Precipitação, temperatura máxima e mínima por decêndio referente ao período de fevereiro de 2018 a março de 2019. 1 – primeira coleta de solo e semeadura do milho; 2 – semeadura de nabo forrageiro + aveia preta com e sem escarificação; 3 – colheita do milho, semeadura do trigo mourisco; 4 – escarificação após o milho; 5 – manejo das plantas de cobertura; 6 – cobertura do solo e produtividade de matéria seca; 7 – segunda coleta de solo; 8 – semeadura da soja; 9 – colheita da soja; 10 – terceira coleta de solo.....31

### Lista de Figuras Capítulo 2

**Figura 1** – Precipitação, temperatura máxima e mínima por decêndio referente ao período de fevereiro de 2018 a março de 2019. 1 – primeira coleta de solo; 2 – semeadura do milho; 3 – semeadura de nabo forrageiro + aveia preta com e sem escarificação; 4 – colheita do milho, semeadura do trigo mourisco; 5 – escarificação após o milho; 6 – manejo das plantas de cobertura; 7 – cobertura do solo e produtividade de matéria seca; 8 – segunda coleta de solo; 9 – semeadura da soja; 10 – colheita da soja; 11 – terceira coleta de solo.....51

### Lista de Tabelas Capítulo 1

- Tabela 1** - Valores encontrados para densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total antes da implantação do experimento nas profundidades de 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m para um Latossolo Vermelho eutroférico. ...36
- Tabela 2** - Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, em diferentes períodos e profundidades, submetido a escarificação mecânica e biológica e rotação de culturas.....37
- Tabela 3** - Porcentagem de solo coberto com palha e produtividade de matéria seca após diferentes manejos realizado em Entre Rios do Oeste – PR..... 39
- Tabela 4** - Número de plantas de soja por metro linear, altura de plantas, altura da inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por planta, massa de mil grãos e produtividade da soja, sob influência ou não de escarificação mecânica ou mecânica associada a biológica. ....40

### Lista de Tabelas Capítulo 2

- Tabela 1** - Carbono orgânico total (COT) e carbono não humificado (CNH) ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de um Latossolo Vermelho Eutroférico, em diferentes tempos de coleta e profundidades, submetido a descompactação mecânica e biológica e rotação de culturas.....54
- Tabela 2** - Ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de um Latossolo Vermelho Eutroférico, em diferentes tempos de coleta e profundidades, submetido a descompactação mecânica e biológica e rotação de culturas. ....57
- Tabela 3** - Relação AH/AF e EA/HUM de um Latossolo Vermelho Eutroférico, em diferentes períodos e profundidades, submetido a escarificação mecânica e biológica e rotação de culturas. .... 60

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>17</b>
1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
<b>1.1.1 Compactação .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1.2 Métodos de análise de solo.....</b>	<b>18</b>
<b>1.1.3 Sistema plantio direto e plantas de cobertura .....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.4 Carbono orgânico total, ácido fúlvico, ácido húmico e humina.....</b>	<b>21</b>
1.2 REFERENCIAS .....	22
<b>2 CAPÍTULO 1: MANEJO MECÂNICO E BIOLÓGICO DO SOLO E SEU EFEITO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO.....</b>	<b>27</b>
2.1 RESUMO .....	27
2.2 ABSTRACT .....	28
2.3 INTRODUÇÃO.....	29
2.4 MATERIAIS E MÉTODOS .....	30
<b>2.4.1 Localização, clima e solo do local de estudo .....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.2 Delineamento experimental, implantação e condução.....</b>	<b>32</b>
<b>2.4.3 Tratos culturais .....</b>	<b>33</b>
<b>2.4.4 Coletas e análises .....</b>	<b>33</b>
<b>2.4.5 Análises estatísticas .....</b>	<b>35</b>
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
2.6 CONCLUSÕES.....	41
2.7 REFERÊNCIAS .....	42
<b>3 CAPÍTULO 2: EFEITO DO SEMEADURA DIRETA, DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E BIOLÓGICA NO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E SUAS FRAÇÕES.....</b>	<b>46</b>
3.1 RESUMO .....	46
3.2 ABSTRACT .....	47
3.3 INTRODUÇÃO.....	47

3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	50
<b>3.4.1 Localização, delineamento, clima e solo do local de estudo .....</b>	<b>50</b>
<b>3.4.2 Condução e tratos culturais .....</b>	<b>52</b>
<b>3.4.3 Coleta e determinação de carbono orgânico total e seu fracionamento.....</b>	<b>52</b>
<b>3.4.4 Análise estatística .....</b>	<b>53</b>
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53
3.6 CONCLUSÕES .....	62
3.7 REFERÊNCIAS .....	62
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

### 1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 1.1.1 Compactação

A compactação do solo é geralmente considerada negativa dentro do sistema de produção agrícola uma vez que pode levar a redução na infiltração de água, diminuição da aeração e trocas gasosas, aumento do escoamento superficial e erosão, afetando o desenvolvimento das culturas e a produtividade (MCPHEE; AIRD, 2013).

O processo de compactação do solo está relacionado com um rearranjo microscópico das partículas sólidas do solo as quais são movidas mais próximas umas às outras, aumentando, conseqüentemente, a densidade do solo (PANAYIOTOPOULOS; PAPADOPOULOU; HATJIIOANNIDOU, 1994).

No geral, a camada compactada se encontra entre 7 e 20 cm de profundidade e é causada pela ausência de rotação de culturas e resíduos culturais ou ela ocorre pela escarificação inadequada (NUNES et al., 2015a). No entanto, escarificadores com hastes fixas pode promover melhorias ao solo. Nunes et al. (2015a) trabalhando com escarificador a uma profundidade de 17 cm constatou que este foi capaz de promover melhorias ao solo, favorecendo o desenvolvimento de plantas de milho, além de apresentar potencial de mitigar a compactação de solos de textura argilosa em sistema plantio direto.

Nas camadas de solo compactadas a resistência do solo a penetração aumenta (TUZZIN DE MORAES et al., 2016) e limita o desenvolvimento radicular em profundidade, o volume de solo explorado para extração de água (NOSALEWICZ; LIPIEC, 2014) e nutrientes (SCHNEPF; LEITNER; KLEPSCH, 2012). Assim, em uma situação onde há uma camada de solo muito compactada, esta tem, por característica, uma alta força física que diminui o desenvolvimento das raízes, concentrando-as acima da camada compactada (NOSALEWICZ; LIPIEC, 2014).

A compactação do solo afeta a distribuição do tamanho de poros (TUZZIN DE MORAES et al., 2016), a geometria dos poros e, portanto, o fluxo de gases e o crescimento radicular (BENGOUGH et al., 2011; TAYLOR; RATLIFF, 1968).

Geralmente, os indicadores mais comuns das características físicas do solo são a densidade, a macroporosidade e a resistência do solo à penetração (KELLER et al., 2015). Sendo que alterações nestes parâmetros irão afetar diretamente as propriedades químicas do

solo, além da diversidade da fauna do solo e o crescimento de plantas (NAWAZ; BOURRIÉ; TROLARD, 2013).

### 1.1.2 Métodos de análise de solo

A qualidade do sistema de produção pode ser avaliada por suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Dentre as propriedades físicas costuma-se avaliar a densidade do solo, a porosidade (micro e macroporos), a resistência do solo à penetração e a estabilidade de agregados. A densidade do solo consiste em quantos gramas de solo há em determinado volume conhecido. Valores acima de  $1,4 \text{ g cm}^{-3}$  para solos muito argilosos podem ser limitantes ao desenvolvimento das raízes (BOTTEGA et al., 2011)

A macroporosidade está diretamente relacionada com a capacidade de drenagem do solo; enquanto, a microporosidade está relacionada com a capacidade do solo em reter água (RABOT et al., 2018). Sua determinação se dá por meio da saturação de amostras indeformadas (com volume conhecido) por 24 horas, seguida de pesagem e submissão à mesa de tensão (com carga conhecida) por mais 24 horas seguida de pesagem; a diferença entre as duas massas é considerada o volume de macroporos (DONAGEMA, 2011).

Outra forma de avaliação da qualidade física do solo se dá por meio da determinação da resistência do solo a penetração, sendo um bom indicativo da qualidade do solo, uma vez que é um processo de rápida avaliação e que apresenta precisão dos dados (FERREIRA et al., 2018; PORTUGAL; COSTA; DA COSTA, 2010). No geral, solos argilosos que apresentem valores de resistência a penetração superiores a 2,0 MPa já são considerados críticos ao desenvolvimento das culturas (SOIL SCIENCE DIVISION STAFF, 2017).

A estabilidade de agregados está diretamente relacionada ao teor de carbono orgânico do solo (COMIN et al., 2018). Quanto mais estável o agregado, maior a sua resistência a ruptura por forças externas, maior resistência ao cisalhamento e abrasão (ANGERS; BULLOCK; MEHUYS, 2006). Geralmente para determinar a estabilidade de agregados ocorre a submissão de uma amostra de solo à forças disruptivas e medição da porção de agregados que não se rompem em tamanhos menores que um tamanho pré-determinado em consequência dessas forças (ANGERS; BULLOCK; MEHUYS, 2006). Sendo comumente determinada a porcentagem de agregados via úmida (DONAGEMA, 2011)

Outra ferramenta utilizada para determinar a qualidade do solo e do sistema de manejo é por meio da análise da matéria orgânica do solo (MOS), determinando o teor de carbono

orgânico total do solo (COT) e de suas frações. No geral, ácidos não humificados e macromoléculas humificadas são os principais constituintes da MOS.

As substâncias húmicas são um produto da decomposição da MOS pelos microrganismos do solo, sendo elas constituintes de cerca de 90% do COT (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014). Estes compostos estão divididos em ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina (DO NASCIMENTO et al., 2010; GUERRA et al., 2008). Sendo que seus teores estão diretamente ligados ao COT e, conseqüentemente, ao sistema de manejo utilizado que pode incrementar ou diminuir a MOS (FOLLETT, 2001).

Os ácidos fúlvicos são consideradas a fração mais livre, sendo facilmente lixiviáveis enquanto os ácidos húmicos já apresentam menor solubilidade sendo intermediário entre as frações AF e Humina; e a humina é caracterizada como o composto mais estável das três frações, fazendo parte do material mineral (BALDOTTO et al., 2015).

Um dos métodos utilizados para a determinar o carbono orgânico total e das frações ácido fúlvico, ácido húmico e humina é por meio da oxidação do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por íons dicromato na presença de ácido sulfúrico (BENITES; MADAR; MACHADO, 2003)

### **1.1.3 Sistema plantio direto e plantas de cobertura**

O SPD é considerado um sistema de manejo conservacionista pois, mantém os resíduos das plantas sobre o solo sem causar a mobilização da camada arável e sem fracionar os agregados, o que contribui para que este solo tenha uma maior qualidade de modo a reduzir sua degradação (TARTARI et al., 2012; SILVA et al., 2009); melhora a dinâmica da água e pode refletir em aumento de produtividade das plantas cultivadas (SANTI et al., 2014).

O impacto do sistema plantio direto pode ser considerado controverso (PITTELKOW et al., 2015a). Alguns estudos reportam que o sistema convencional de cultivo com arado apresentou a mesma produtividade em comparação ao sistema plantio direto (BÜCHI et al., 2017; PITTELKOW et al., 2015a); enquanto outros observaram redução na produtividade (ALVAREZ; STEINBACH, 2009). Em determinadas condições, a produtividade das culturas aumenta quando o SPD é adotado junto à rotação de culturas (PITTELKOW et al., 2015b), ou adoção de plantas de cobertura (BÜCHI et al., 2018).

No Brasil, produtores e pesquisadores adotam o conceito de sistema plantio direto de forma equivocada, muitas vezes considerando a sucessão soja/milho (*Glycine max/Zea mays*) como uma aplicação correta do SPD.

O impacto do sistema plantio direto pode ser considerado controverso (PITTELKOW et al., 2015a). Alguns estudos reportam que o sistema convencional de cultivo com arado apresentou a mesma produtividade em comparação ao sistema plantio direto (BÜCHI et al., 2017; PITTELKOW et al., 2015a); enquanto outros observaram redução na produtividade (ALVAREZ; STEINBACH, 2009). Em determinadas condições, a produtividade das culturas aumenta quando o SPD é adotado junto à rotação de culturas (PITTELKOW et al., 2015b), ou adoção de plantas de cobertura (BÜCHI et al., 2018).

No Brasil, produtores e pesquisadores adotam o conceito de sistema plantio direto de forma equivocada, muitas vezes considerando a sucessão soja/milho (*Glycine max/Zea mays*) como uma aplicação correta do SPD.

Dentre as espécies utilizadas como plantas de cobertura no outono/inverno no oeste do Paraná estão: a aveia (*Avena sativa* L.), o centeio (*Secale cereale* L), o nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e o triticale (*Triticum secale* Wittmack) (ALBRECHT et al., 2018).

Outra espécie que vem ganhando espaço é o trigo mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench), espécie da família *Polygonaceae*. É uma cultura de ciclo curto, com capacidade de produtividade de até 4,5 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca e com adaptação a diferentes solos. Recomenda-se seu cultivo em sucessão a diferentes espécies, como sorgo, soja e milho (GÖRGEN et al., 2016). Entretanto, poucos estudos abordam seus efeitos nas propriedades físicas do solo. Além de sua utilização como adubo verde, seus grãos podem ser utilizados para fabricar farinha. Ela é caracterizada por sua ausência de glúten, e maior valor nutricional, com teor proteico maior que o encontrado no milho, arroz e trigo (ALVES; SIMONETTI, 2017).

O nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L) é uma planta herbácea de ciclo anual, pertencente à família das *Brassicaceae*. Seu sistema radicular é pivotante e agressivo, funcionando como descompactador natural do solo (VALICHESKI et al., 2012). As plantas podem atingir 0,90 m de altura e produzir 4,26 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca (WOLSCHICK et al., 2016).

A aveia preta (*Avena strigosa* Scrb) é uma espécie de ciclo anual, pertencente à família das *Poaceae*. De acordo com Souza et al. (2013) as plantas podem ser utilizadas como pastagem ou adubação verde; sendo que no segundo caso seu manejo aos 95 dias após a semeadura leva a produtividade de 3,30 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca.

Outra ferramenta para manter a qualidade do sistema está no cronograma de semeadura das culturas, e uso de plantas de cobertura. Por meio deste, evita-se a existência de áreas em pousio após a colheita das culturas comerciais. Isso porque áreas em pousio aumentam a incidência de plantas daninhas, e o banco de sementes no solo (BORGES et al., 2015). Assim,

ao realizar o cultivo de espécies de cobertura, logo após a colheita do milho safrinha, o produtor cria em sua área uma barreira verde sobre o solo que reduz a incidência de plantas daninhas e previne a degradação do solo pela erosão, seja ela hídrica ou eólica (REBELLO; TURETTA 2017).

#### **1.1.4 Carbono orgânico total, ácido fúlvico, ácido húmico e humina**

O teor de carbono orgânico do solo está diretamente relacionado as propriedades físicas do solo. De acordo com Soane (1990), aumentos nos teores de carbono são capazes de reduzir o potencial do solo em ser compactado, uma vez que este aumenta a resistência do mesmo a deformação ao aumentar a sua elasticidade.

Geralmente, solos que apresentam baixa umidade, independente do teor de carbono, possuem uma menor vulnerabilidade a compactação do que solos com alta umidade (GYSI; OTT; FLÜHLER, 1999). Em contrapartida, quando o teor de água no solo é muito alto (solo saturado), o solo se torna menos compressível (SMITH; JOHNSTON; LORENTZ, 1997). Além dos teores de carbono e da umidade, o sistema de manejo adotado possui influência direta sobre o teor de carbono orgânico do solo (EBELING et al., 2013; FONTANA et al., 2011; TOMASI; INDA; DICK, 2012).

A rotação de culturas quando adotada anualmente é um dos sistemas de manejo que comumente reestrutura áreas degradadas pelo monocultivo (SANTOS et al., 2014; ZOTARELLI et al., 2012). Nesse sistema há uma maior reciclagem de nutrientes em função do desenvolvimento radicular agressivo das culturas, além do maior aporte de carbono ao solo em função do maior crescimento das plantas (RIBEIRO et al., 2011; ROSOLEM; CALONEGO, 2013).

As práticas mecânicas são outra forma de manejo comumente utilizada por produtores, tanto no sistema convencional quanto no sistema plantio direto (VALENTE et al., 2019). Por exemplo, So, Grabski e Desborough (2009) encontraram que o sistema de manejo convencional do solo pode ser aplicado de forma a preparar solos degradados para a semeadura e que, a curto prazo, pode ainda aumentar a produtividade das culturas. Entretanto, no longo prazo, esse sistema causa a diminuição dos teores de carbono do solo.

De acordo com Melero et al. (2011) as práticas mecânicas utilizadas para diminuir a compactação em sistema plantio direto agem negativamente sob a atividade enzimática do solo, aumentando as perdas de matéria orgânica do solo a curto prazo. Assim, a escarificação

mecânica pode levar a uma diminuição da concentração de carbono orgânico do solo (NUNES et al., 2015b).

Baldotto et al. (2015), coletando amostras de diferentes sistemas de produção, encontraram na profundidade de 0,00-0,20 m para Latossolo sob sistema de monocultivo sob pivô central a mais de duas décadas, valores de AF de 1,52 g kg, AH de 1,39 g kg e HUM de 3,60 g kg e uma relação de 0,92 para AH/AF. Observaram também que na área de mata comparativamente ao cultivo contínuo ou a monocultura de pastagem, apresentavam maior fertilidade do solo, maiores estoques de carbono mais estáveis, menos solúveis e com formas mais aromáticas e hidrofóbicas (maior relação AH/AF).

A partir do exposto, esse trabalho teve como hipótese investigar se: diferentes sistemas de manejo são capazes de melhorar e manter as propriedades físicas do solo, aumentar a produtividade da soja e os teores de carbono do solo e suas frações. Para avaliar essa hipótese, a dissertação foi dividida em dois capítulos com diferentes objetivos:

Capítulo II, intitulado como “Manejo mecânico e biológico do solo e seu efeito nas propriedades físicas do solo”, teve como objetivo: avaliar o efeito de manejos de solo: mecânico, biológico e sua associação no cultivo de outono/inverno sobre as propriedades físicas do solo e a produtividade de soja em sucessão.

Capítulo III, intitulado como “Efeito do semeadura direta, descompactação mecânica e biológica no carbono orgânico do solo e suas frações” teve como objetivo: avaliar os efeitos dos manejos: semeadura direta, descompactação mecânica e biológica no teor de carbono orgânico do solo (COS) e de suas frações.

## 1.2 REFERENCIAS

ALBRECHT, L. P.; KRENCHINSKI, F. H.; GOMES, A. D. O.; et al. Performance of fall and winter crops in a no tillage system in west Paraná State. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, n. 1, p. 2–9, 2018.

ALVAREZ, R.; STEINBACH, H. S. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. **Soil and Tillage Research**, v. 104, n. 1, p. 1–15, 2009.

ALVES, J. N. F.; SIMONETTI, A. P. M. M. Alelopatia de trigo mourisco sobre a cultura da soja João. **Revista Cultivando o Saber**, v. 4, p. 9–15, 2017.

ANGERS, D. A.; BULLOCK, M. S.; MEHUYS, G. R. Soil Sampling and Methods of Analysis. **Canadian society of Soil Science**. v. 19, p.1224, 2006.

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, v. 61, p. 856–881, 2014.

- BALDOTTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; DE OLIVEIRA SOUZA, D.; BALDOTTO, L. E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, v. 62, n. 3, p. 301–309, 2015.
- BENGOUGH, A. G.; MCKENZIE, B. M.; HALLETT, P. D.; VALENTINE, T. A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 1, p. 59–68, 2011.
- BENITES, V. M.; MADAR, B.; MACHADO, P. L. O. D. A. Extração e Fracionamento Quantitativo de Substâncias Húmicas do Solo: um Procedimento Simplificado de Baixo Custo. **Embrapa**, v. 16, p. 1–7, 2003.
- BORGES, W. L. B.; DE FREITAS, R. S.; MATEUS, G. P.; DE SÁ, M. E.; ALVES, M. C. Plantas de cobertura para o noroeste do estado de São Paulo. **Ciencia Rural**, v. 45, n. 5, p. 799–805, 2015.
- BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; DE A. SILVA, S.; et al. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 2, p. 331–336, 2011.
- BÜCHI, L.; WENDLING, M.; AMOSSÉ, C.; et al. Long and short term changes in crop yield and soil properties induced by the reduction of soil tillage in a long term experiment in Switzerland. **Soil and Tillage Research**, v. 174, n. July, p. 120–129, 2017. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.07.002>>. .
- BÜCHI, L.; WENDLING, M.; AMOSSÉ, C.; NECPALOVA, M.; CHARLES, R. Importance of cover crops in alleviating negative effects of reduced soil tillage and promoting soil fertility in a winter wheat cropping system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 256, n. August 2017, p. 92–104, 2018. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.005>>. .
- COMIN, J. J.; FERREIRA, L. B.; DOS SANTOS, L. H.; et al. Carbon and nitrogen contents and aggregation index of soil cultivated with onion for seven years using crop successions and rotations. **Soil and Tillage Research**, v. 184, n. May, p. 195–202, 2018. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.002>>. .
- DONAGEMA, G. K. **Manual de métodos de análise de solo**. 2<sup>o</sup> ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.
- EBELING, A. G.; HELENA, L.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, G. Substâncias húmicas e suas relações com o grau de subsidência em Organossolos de diferentes ambientes de formação no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, p. 225–233, 2013.
- FERREIRA, C. J. B.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; et al. Soil physical properties under a “Tanzânia” grass pasture fertilized with mineral nitrogen or intercropped with stylosanthes. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 53, n. 4, p. 478–486, 2018.
- FOLLETT, R. F. Soil management concepts and carbon sequestration zin cropland soils. **Soil and Tillage Research**, v. 61, n. 1–2, p. 77–92, 2001.
- FONTANA, A.; DA SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; et al. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 545–550, 2011.
- GÖRGEN, A. V.; CABRAL FILHO, S. L. S.; LEITE, G. G.; et al. Produtividade e qualidade da forragemde trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum* Moench) e de milho ( *Pennisetum*

glaucum (L.) R.BR). **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 14, n. 4, p. 599–607, 2016.

GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A. DOS; SILVA, L. S. DA; CAMARGO, F. A. DE O. Macromoléculas e substâncias húmicas. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2<sup>o</sup> ed, p.19–25, 2008. Porto Alegre.

GYSI, M.; OTT, A.; FLÜHLER, H. Influence of single passes with high wheel load on a structured, unploughed sandy loam soil. **Soil and Tillage Research**, v. 52, n. 3–4, p. 141–151, 1999.

KELLER, T.; DA SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; et al. SoilFlex-LLWR: Linking a soil compaction model with the least limiting water range concept. **Soil Use and Management**, v. 31, n. 2, p. 321–329, 2015.

MCPHEE, J. E.; AIRD, P. L. Controlled traffic for vegetable production: Part 1. Machinery challenges and options in a diversified vegetable industry. **Biosystems Engineering**, v. 116, n. 2, p. 144–154, 2013. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.06.001>>. .

MELERO, S.; PANETTIERI, M.; MADEJÓN, E.; et al. Implementation of chiselling and mouldboard ploughing in soil after 8 years of no-till management in SW, Spain: Effect on soil quality. **Soil and Tillage Research**, v. 112, n. 2, p. 107–113, 2011.

DO NASCIMENTO, P. C.; LANI, J. L.; MENDONÇA, E. DE S.; ZOFFOLI, H. J. DE O.; PEIXOTO, H. T. M. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do espírito santo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, n. 2, p. 339–348, 2010.

NAWAZ, M. F.; BOURRIÉ, G.; TROLARD, F. Soil compaction impact and modelling. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 2, p. 291–309, 2013.

NOSALEWICZ, A.; LIPIEC, J. The effect of compacted soil layers on vertical root distribution and water uptake by wheat. **Plant and Soil**, v. 375, n. 1–2, p. 229–240, 2014.

NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, ELOY ANTONIO; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 148, p. 119–126, 2015. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2014.12.007>>. .

NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, ELOY ANTÔNIO; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Effect of soil chiseling on soil structure and root growth for a clayey soil under no-tillage. **Geoderma**, v. 259–260, p. 149–155, 2015. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.003>>. .

PANAYIOTOPOULOS, K. P.; PAPADOPOULOU, C. P.; HATJIOANNIDOU, A. Compaction and penetration resistance of an Alfisol and Entisol and their influence on root growth of maize seedlings. **Soil and Tillage Research**, v. 31, n. 4, p. 323–337, 1994.

PITTELKOW, C. M.; LIANG, X.; LINQUIST, B. A.; et al. Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. **Nature**, v. 517, n. 7534, p. 365–368, 2015.

PITTELKOW, C. M.; LINQUIST, B. A.; LUNDY, M. E.; et al. When does no-till yield more? A global meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 183, p. 156–168, 2015. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2015.07.020>>. .

PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. A. V.; DA COSTA, L. M. Propriedades físicas e químicas

do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da zona da mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 575–585, 2010.

RABOT, E.; WIESMEIER, M.; SCHLÜTER, S.; VOGEL, H. J. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, v. 314, n. November 2017, p. 122–137, 2018. Elsevier. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>>. .

REBELLO, C.; TURETTA, A. P. D. **Ferramentas para avaliação do potencial à prestação de serviços ambientais pelo sistema plantio direto**. Rio de Janeiro, 2017.

RIBEIRO, P. H.; SANTOS, J. V. V. M.; COSER, S. M.; NOGUEIRA, N. O.; MARTINS, C. A. DA S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 6, n. 1, p. 43–50, 2011.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C. Phosphorus and potassium budget in the soil–plant system in crop rotations under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 127–133, 2013. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.08.003>>. .

SANTI, A. L.; CORASSA, G. M.; AMADO, T. J. C.; et al. Plantas de cobertura de inverno e a variação espacial e temporal da resistência do solo a penetração. **Revista Plantio Direto**, v. 140, n. Março/Abril, p. 10–20, 2014. Disponível em: <[http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont\\_int&id=1184](http://www.plantiodireto.com.br/?body=cont_int&id=1184)>. .

SANTOS, I. L. DOS; CAIXETA, C. F.; SOUSA, A. A. T. C. DE; et al. Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an oxisol under no-tillage in the cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1874–1881, 2014.

SCHNEPF, A.; LEITNER, D.; KLEPSCH, S. Modeling Phosphorus Uptake by a Growing and Exuding Root System. **Vadose Zone Journal**, v. 11, n. 3, p. vzj2012.0001, 2012.

SILVA, A. A. DA; GALON, L.; FERREIRA, F. A.; et al. Sistema de Plantio Direto na Palhada e seu impacto na agricultura brasileira. **Revista Ceres**, v. 56, n. 4, p. 496–506, 2009.

SMITH, C. W.; JOHNSTON, M. A.; LORENTZ, S. Assessing the compaction susceptibility of South African forestry soils. I. The effect of soil type, water content and applied pressure on uni-axial compaction. **Soil and Tillage Research**, v. 41, n. 1–2, p. 53–73, 1997.

SO, H. B.; GRABSKI, A.; DESBOROUGH, P. The impact of 14 years of conventional and no-till cultivation on the physical properties and crop yields of a loam soil at Grafton NSW, Australia. **Soil and Tillage Research**, v. 104, n. 1, p. 180–184, 2009.

SOANE, B. D. The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects. **Soil and Tillage Research**, v. 16, n. 1–2, p. 179–201, 1990.

SOIL SCIENCE DIVISION STAFF. Soil survey manual. , , n. 18, p. 1–639, 2017. Disponível em: <[https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/ref/?cid=nrcs142p2\\_054262](https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detailfull/soils/ref/?cid=nrcs142p2_054262)>. .

SOUZA, M.; COMIN, J. J.; LEGUIZAMÓN, E. S.; et al. Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Ciência rural**, v. 43, n. 1, p. 21–27, 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&camp](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&camp)>. .

TARTARI, D. T.; NUNES, M. C. M.; SANTOS, F. A. SI.; FARIA JUNIOR, C. A.; SERAFIN, M. E. Perda de solo e água por erosão hídrica em Argissolo sob diferentes densidades de

cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 3, p. 85–93, 2012.

TAYLOR, H. M.; RATLIFF, L. F. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and soil water content. **Soil Science**, v. 106, n. 3, p. 113–119, 1968.

TOMASI, C. A.; INDA, A. V.; DICK, D. P. Substâncias húmicas em Latossolo subtropical de altitude sob usos e manejos distintos. **Ciencia Rural**, v. 42, n. 12, p. 2180–2184, 2012.

TUZZIN DE MORAES, M.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; et al. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 351–362, 2016. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.07.015>>. .

VALENTE, G. F.; SILVA, V. F. A.; SILVA, J. N. DA; PINTO, D. R. DA S.; GALVÃO, J. R. Resistência mecânica à penetração em sistemas de manejo do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 1, p. 140, 2019.

VALICHESKI, R. R.; GROSSKLAUS, F.; STÜRMER, S. L. K. K.; TRAMONTIN, A. L.; BAADE, E. S. A. S. A. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, p. 969–977, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662012000900007&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000900007&lng=pt&tlng=pt)>. .

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; et al. Cobertura do solo, produção de biomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 2, p. 134–143, 2016.

ZOTARELLI, L.; ZATORRE, N. P.; BODDEY, R. M.; et al. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, v. 132, p. 185–195, 2012. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.013>>. .

## 2 CAPÍTULO 1: MANEJO MECÂNICO E BIOLÓGICO DO SOLO E SEU EFEITO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO

### 2.1 RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de manejos de solo: mecânico, biológico e sua associação no cultivo de outono/inverno sobre as propriedades físicas do solo e a produtividade de soja em sucessão. O experimento foi conduzido em um delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas no tempo e quatro repetições. Os tratamentos foram cinco manejos: Manejo 1 – nabo + aveia preta seguida de escarificação mecânica; Manejo 2 – nabo + aveia preta; Manejo 3 – milho segunda safra e escarificação logo após a colheita; Manejo 4 - milho segunda safra e trigo mourisco em sucessão; Manejo 5 - milho segunda safra sem escarificação (testemunha). As subparcelas foram os tempos de coleta: março/2018, outubro/2018 e março/2019. As amostras indeformadas de solo foram coletadas em três profundidades: 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m. Avaliou-se a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, matéria seca aportada ao solo, cobertura do solo e os componentes de produção da soja. Observou-se diferenças entre os tempos de coleta e manejos para as propriedades físicas do solo. Independentemente do manejo utilizado, na segunda coleta observou-se que todos apresentaram valores de macroporos inferiores a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , indicando compactação; e densidades variando de 1,26 e  $1,39 \text{ Mg m}^{-3}$ . Foram observadas melhorias na macroporosidade e porosidade total nas profundidades de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m com os manejos nabo + aveia preta seguida de escarificação após sua semeadura; e milho seguido de escarificação após a colheita. Entretanto, as melhorias não persistiram e retornaram às condições iniciais da área. A porosidade do solo aumentou quando a escarificação mecânica foi associada com as plantas de cobertura nabo + aveia preta. A maior quantidade de matéria seca na superfície do solo foi com o cultivo de nabo + aveia preta, com ou sem escarificação. A escarificação após o cultivo do milho segunda safra diminuiu a porcentagem de cobertura do solo, comprometendo a qualidade do sistema plantio direto. Os diferentes manejos da cultura de outono/inverno não influenciaram na produtividade da soja.

Palavras-chave: *Raphanus sativus*; *Avena strigosa* Scrb; porosidade do solo; densidade do solo; manejo sustentável do solo.

## MECHANICAL AND BIOLOGICAL SOIL MANAGEMENT AND ITS EFFECTS IN THE SOIL PHYSICAL PROPERTIES

### 2.2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of soil managements: mechanic, biological and its association in the fall/winter crop over the soil physical properties and the soybean yield in succession. The experiment was conducted in a randomized blocks design with time split-plot and four replicates. The treatments were five managements: Management 1 – forage radish + black oats followed by chiseling; Management 2 – forage radish + black oat without chiseling; Management 3 – maize second crop followed by a chiseling after its harvest; Management 4 – maize second crop followed by buckwheat in succession; Management 5 – maize second crop without chiseling (control). The subplots were the collection times: March/2018, October/2018 and March/2019. The undisturbed samples were collected in three depths: 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m and 0,15-0,20 m. Were evaluated the soil bulk density, macroporosity, microporosity and total porosity, besides the dry matter apported to the soil, soil coverage and the soybean production components. Differences were observed between the collection times and managements for the soil physical properties. Independently of the management used, it was observed that all managements presented values inferior to  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  for macroporosity in the second collection indicating compaction, and densities varying from 1,26 up to 1,39  $\text{Mg m}^{-3}$ . Improvements were observed for the macroporosity and total porosity in the 0,05-0,10 m and 0,10-0,15 m depths with the managements forage radish+ black oat followed by a chiseling after its sowing and maize followed by chiseling after it was sowed. However, they did not persist returning to the area's initial conditions. Soil porosity increased when the chiseling was associated with the cover crops forage radish + black oat. The higher amount of dry matter on the soil surface was with the crop of forage radish + black oat, with and without chiseling. The chiseling after the maize second crop decreased the percentage of soil covered, compromising the quality of the no-till system. The different managements of the fall/winter crop did not influence on the soybean yield.

Keywords: *Raphanus sativus*; *Avena strigosa* Scrb, soil porosity, soil density, soil sustainable management.

## 2.3 INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto (SPD) vem sendo utilizado por produtores no Brasil por mais de 50 anos (GIAROLA et al., 2013). Esse sistema não tem revolvimento do solo e prioriza a conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (DENARDIN et al., 2012). O SPD mantém a palhada pelo máximo de tempo possível sobre a superfície. Esta palhada é ciclada pelos microrganismos presentes no solo favorecendo a disponibilidade dos nutrientes. Após sua decomposição ela também promove a agregação de partículas; além, de fornecer alimento para outros microrganismos.

De acordo com Denardin et al. (2011) o SPD deve ser fundamentado em alguns preceitos, tais como: o uso diversificado de espécies para rotação, seja consorciando-as ou cultivadas em sucessão; manutenção da cobertura vegetal na superfície e com boa deposição de matéria seca, de forma a manter a atividade biológica do solo e o movimento do solo somente na linha de semeadura.

Contudo, no Brasil em regiões subtropicais úmidas, somente dois preceitos do SPD são utilizados: a movimentação de solo concentrada na linha de semeadura e um pequeno aporte de resíduos culturais na superfície do solo. De acordo com Nunes et al. (2014) e Reichert et al. (2009) a falta da rotação e a pouca quantidade de palhada na superfície leva à compactação do solo.

A introdução de plantas de cobertura em sistemas de rotação de cultura pode trazer vários benefícios para os sistemas agrícolas. Dentre estes, tem-se o aumento no teor de carbono do solo (POEPLAU; DON, 2015); redução da densidade do solo (CHEN; WEIL; HILL, 2014; HUBBARD; STRICKLAND; PHATAK, 2013; ZHU et al., 2012), e decréscimo na resistência do solo à penetração (CHEN; WEIL; HILL, 2014).

Entretanto, quando a rotação não ocorre tem-se vários problemas, tais como: redução da palhada, aumento do processo erosivo, aumento na incidência de plantas daninhas e aumenta a compactação do solo. Ao avaliar um SPD implantado por três anos Colombo et al. (2017), encontraram para um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, valores de densidade do solo superiores à  $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$  e a resistência à penetração acima de 2,00 MPa na camada inferior a 20 cm, indicando compactação.

Uma forma de reduzir os problemas de compactação é por meio da descompactação biológica. Nesse sistema de manejo há uma descompactação natural, promovida pelo sistema radicular das plantas. É uma técnica de fácil uso pelo produtor; e traz melhorias às propriedades físicas do solo, tais como: aumento na macroporosidade, porosidade total e redução na

densidade. Seus efeitos se mantêm por um período maior do que com a escarificação mecânica; pois as melhorias ocorrem gradativamente com a decomposição da matéria orgânica.

Ao cultivar plantas de cobertura, o produtor pode optar entre utilizar uma única espécie ou por consorciar plantas de famílias diferentes; situação benéfica ao solo por proporcionar uma relação C/N próxima a 30. As famílias de plantas de cobertura mais utilizadas são as *Poaceae* e *Fabaceae*. Estas plantas promovem melhorias nos parâmetros físicos do solo, principalmente na agregação, influenciando diretamente em sua estruturação (ALVAREZ; STEINBACH; DE PAEPE, 2017; DONEDA et al., 2012; ZIECH et al., 2015)

Outra técnica que pode ser utilizada pelos produtores para melhoria imediata das características físicas do solo é a escarificação mecânica, cujo princípio está na descompactação do solo, promovendo o revolvimento mínimo, uma vez que as hastes do escarificador atuam rompendo as camadas subsuperficiais do solo (CORTEZ et al., 2011). A redução da compactação proporciona um ambiente que favorece o aumento no desenvolvimento radicular das plantas (PRANDO et al., 2010).

De acordo com Santos et al. (2015), a escarificação mecânica é entendida como a criação de sulcos de 0,25 a 0,30 m de profundidade por meio de hastes escarificadores (com ponteiros estreitos ou aladas) com espaçamento de 0,30 a 0,60 m entre hastes, e sem o revolvimento do solo. Neste sistema as hastes são puxadas dentro do solo, criando ranhuras contínuas (CELIK; RAPER, 2012), que descompactam o solo e aumentam a capacidade de infiltração de água. Entretanto, seus efeitos não apresentam duração superior a seis meses (DRESCHER et al., 2016; NUNES et al., 2015b).

A escarificação, seja ela biológica, mecânica ou a sua associação, é benéfica para as propriedades físicas do solo. Entretanto, pouco se sabe sobre qual destas técnicas apresenta melhores efeitos e duração sobre as propriedades físicas. Sendo assim, a hipótese deste trabalho é de que a descompactação biológica trará mais benefícios às propriedades físicas do solo em comparação à escarificação mecânica.

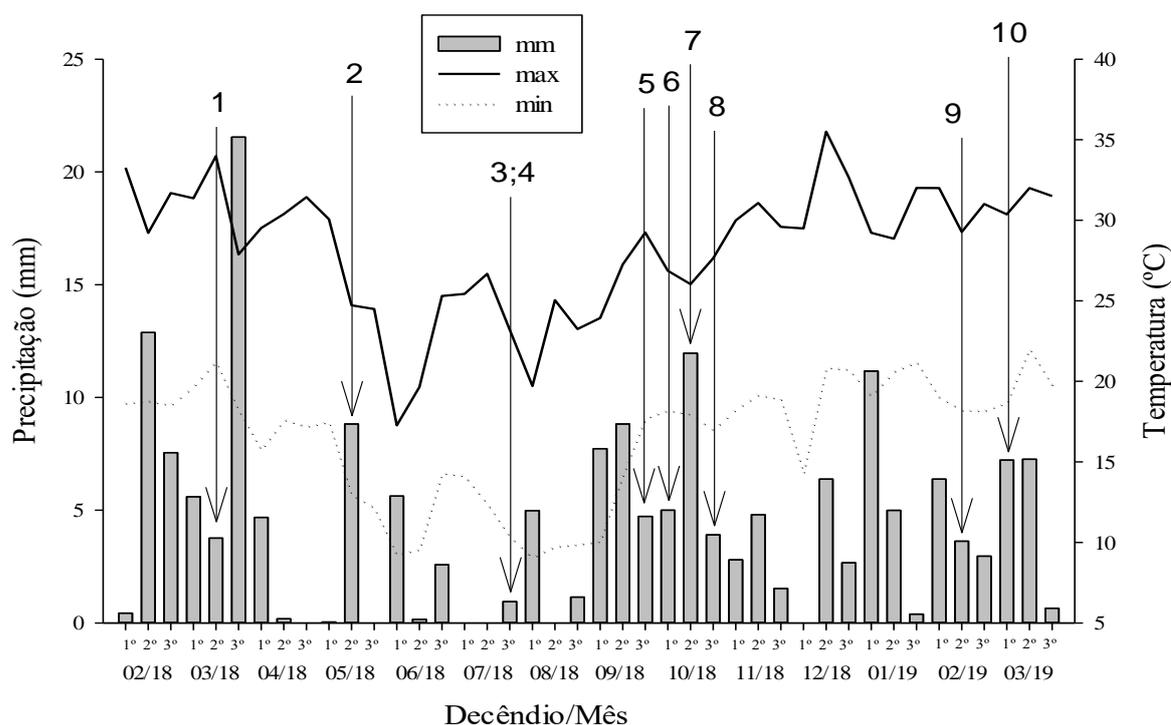
Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de manejos de solo: mecânico, biológico e sua associação no cultivo de outono/inverno sobre as propriedades físicas do solo e a produtividade de soja em sucessão.

## 2.4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.4.1 Localização, clima e solo do local de estudo

O experimento foi realizado na estação experimental Alcebiades Luís Orlando localizada em Entre Rios do Oeste – PR sob as coordenadas 24° 68' S e 54° 28' O e altitude de 244 m. O clima da região, de acordo com a classificação de Koppen, é classificado como Cfa subtropical mesotérmico húmido. O solo do local do experimento foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (SANTOS et al., 2018). A precipitação média anual é de 1600-1800 milímetros (CAVIGLIONE et al., 2000).

Foram coletados dados de precipitação média por decêndio e temperatura máxima e mínima por decêndio durante o experimento (Figura 1).



**Figura 1** - Precipitação, temperatura máxima e mínima por decêndio referente ao período de fevereiro de 2018 a março de 2019. 1 – primeira coleta de solo e semeadura do milho; 2 – semeadura de nabo forrageiro + aveia preta com e sem escarificação; 3 – colheita do milho, semeadura do trigo mourisco; 4 – escarificação após o milho; 5 – manejo das plantas de cobertura; 6 – cobertura do solo e produtividade de matéria seca; 7 – segunda coleta de solo; 8 – semeadura da soja; 9 – colheita da soja; 10 – terceira coleta de solo.

A análise química do solo na camada de 0,00-0,20 m, coletado antes da instalação do experimento, indicou valores de: 21,76 mg dm<sup>-3</sup> de P (Mehlich-1); 21,41 g dm<sup>-3</sup> de M.O.; pH CaCl<sub>2</sub> de 5,76; 4,43 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de H + Al; 0,00 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> Al<sup>3+</sup> (extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); 0,46 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de K<sup>+</sup> (Mehlich-1); 5,06 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Ca<sup>2+</sup> (extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); 2,38 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Mg<sup>2+</sup> (extrator KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); SB de 7,48 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC de 11,91 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V%

63,05. Por meio do método do densímetro (DONAGEMMA, 2011) foram encontrados valores de 48 g kg<sup>-1</sup> de areia, 867,9 g kg<sup>-1</sup> de argila e 84,1 g kg<sup>-1</sup> de silte no solo da área. De acordo com os resultados observados das análises de solo, as propriedades químicas e físicas estavam adequadas para o desenvolvimento das culturas.

#### **2.4.2 Delineamento experimental, implantação e condução**

A implantação do experimento foi feita em março de 2018 em um delineamento de blocos casualizados em parcelas subdivididas no tempo, sendo as parcelas principais constituídas de diferentes manejos e as secundárias os tempos de coleta, e quatro repetições. Os tratamentos foram cinco manejos: manejo 1 – nabo + aveia preta seguida de escarificação mecânica logo após a semeadura das plantas; manejo 2 – nabo + aveia preta sem escarificação; manejo 3 – milho segunda safra e escarificação logo após a colheita; manejo 4 - milho segunda safra e semeadura de trigo mourisco após sua colheita; manejo 5 - milho segunda safra sem escarificação (testemunha). A cultura da soja sucedeu todos os tratamentos. As subparcelas consistiram nos tempos de amostragem outubro/2018, após o cultivo das culturas de outono/inverno e março/2019, após a colheita da soja. Cada parcela tinha a dimensão de 12 m x 12,5 m e uma área útil de 126,5 m<sup>2</sup> descontando-se 1 m de bordadura.

Foram avaliadas a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo e para a soja foram avaliados os componentes de produção (número de plantas por metro linear, altura de planta, altura de inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por planta, massa de 1000 grãos e produtividade) além de terem sido avaliadas a porcentagem de solo coberto com palhada e a produtividade de matéria seca.

A semeadura de milho foi realizada em março de 2018, utilizando o milho híbrido DKB 330 PRO, semeado com semeadora KUHN SDM 2227/29 no espaçamento de 0,5 m entre linhas a 0,05 m de profundidade. Para a adubação foi utilizado 185 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 10-15-15 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O).

A semeadura do nabo (IPR 116) e da aveia preta (variedade 139 BRS) foi realizada em maio de 2018, com semeadora Semeato SHM 11/13 a 0,03 m de profundidade; utilizando 9 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de sementes respectivamente; com espaçamento de 0,17 m entre linhas. Utilizou-se 185 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 10-15-15 (NPK).

O trigo mourisco (cultivar IPR 91) foi semeado no mês de julho, após a colheita do milho segunda safra, a 0,02 m de profundidade, com semeadora manual com roda Knapik®, sem adição de fertilizante, a um espaçamento de 0,35 m entre linhas e densidade de 9 kg ha<sup>-1</sup>.

A escarificação mecânica foi realizada em abril/2018 e julho/2018 com escarificador com sete hastes espaçadas a 0,37 m, com ponteiros estreitos de 0,075 m de largura e profundidade de trabalho de 0,30 m. Este modelo conta com discos de corte na frente das hastes e rolo destorroador/nivelador na parte de trás do equipamento.

A soja NA 5909 RG foi semeada em 15/10/2018 com semeadora KUHN SDM 2227/29 a uma profundidade de 0,03 m, com adição de 310 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 02-20-18, colocado logo abaixo e ao lado das sementes com auxílio de hastes (botinha de adubação). Foi utilizado espaçamento de 0,50 m entre linhas e densidade populacional de 300,000 plantas por hectare. As plantas foram colhidas com auxílio de roçadeira motorizada.

Para a colheita da soja as plantas foram cortadas com roçadeira equipada com disco de serra circular. Para isso, foram coletadas oito linhas centrais com três metros de comprimento, totalizando 12 m<sup>2</sup>. Em seguida, procedeu-se a trilha da soja em trilhadora acoplada ao trator a 1,200 RPM. Todos os grãos foram pesados, levados para estufa a 65 °C até obtenção de peso constante, pesados novamente e a massa extrapolada para 13% de umidade para obtenção da produtividade (t ha<sup>-1</sup>).

### 2.4.3 Tratos culturais

Foram feitas duas dessecações usando 4 L ha<sup>-1</sup> de herbicida à base de glifosato (480 g L<sup>-1</sup>, i.a), uma antes da implementação do experimento e uma antes da semeadura da soja. Uma terceira aplicação com herbicida à base de paraquat (276 g L<sup>-1</sup> i.a, 1 L ha<sup>-1</sup>) foi feita para acelerar a maturação da soja. Foram realizadas três aplicações de fungicidas na soja (V7, V12 e R2) com fungicida à base de triazol e estrobilurina (TRIFLOXISTROBINA 375 g L<sup>-1</sup> i.a e CYPROCONAZOLE 160 g L<sup>-1</sup> i.a, 0,20 L ha<sup>-1</sup>) para evitar e controlar ferrugem (*Phakopsora pachyrhizi*).

Duas aplicações de inseticidas foram feitas no milho para controle de *Spodoptera frugiperda* (inseticida à base de METOMIL 215 g L<sup>-1</sup> i.a, 0,4 L ha<sup>-1</sup>) e uma de fungicida (FLUXAPIROXADE 167 g L<sup>-1</sup> i.a e PIRACLOSTROBIN 333 g L<sup>-1</sup> i.a 0,25 L ha<sup>-1</sup>).

Os tratamentos com nabo forrageiro + aveia preta, com e sem escarificação, foram manejados com rolo faca em setembro / 2018. No mesmo dia, o trigo mourisco foi dessecado com 4 L ha<sup>-1</sup> de um herbicida à base de glifosato (480 g L<sup>-1</sup>, i.a).

### 2.4.4 Coletas e análises

Foram realizadas três coletas físicas na área, a primeira em fevereiro de 2018 para caracterização inicial da área (Tabela 1), a segunda em outubro de 2018 após o manejo das culturas de outono/inverno; e a terceira após a colheita da soja (março de 2019). Os parâmetros físicos (densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total) foram determinados pela coleta de amostras indeformadas de solo (0,025 m de altura e 0,05 m de diâmetro) em três profundidades (0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m, 0,15-0,20 m). e três pontos por parcela. As amostras foram coletadas por escavação e medição com fita, nivelando com a superfície do solo, até a primeira camada de 0,00-0,05 m de solo ser removida e, com auxílio de um trado para anéis volumétricos a primeira amostra foi coletada. Para as amostras subsequentes, o processo foi repetido.

Após as coletas os anéis foram levados para o laboratório de Física do Solo da Unioeste, pesados e saturados. Para saturação, as amostras foram cobertas com água até um terço da altura do anel por 24 horas; após a saturação foram pesadas e colocadas em mesa de tensão a -0,008 MPa por 24 horas. Pesou-se novamente e a diferença entre o peso do solo saturado e após a retirada da mesa de tensão foi considerada como sendo os macroporos. Em seguida, os anéis foram levados para estufa de circulação forçada a 105 °C por 24 horas; pesados e obtido os valores de microporos e de densidade (massa do solo seco dividido pelo volume do cilindro). A soma dos macroporos e microporos resultou na porosidade total deste solo (DONAGEMA, 2011).

Em julho de 2018 foram coletadas as espigas dos tratamentos com milho, de uma área de 2 m<sup>2</sup> para determinação da produtividade. O material foi pesado, secado em estufa de circulação forçada, pesado novamente e a massa foi extrapolada para 13% de umidade via base úmida. Os valores obtidos foram extrapolados para produtividade em toneladas por hectare para realização da análise de variância, entretanto os tratamentos não apresentaram diferença significativa entre si e produziram em média 10 t ha<sup>-1</sup>.

Em outubro de 2018 foi realizada a coleta do material vegetal depositado na superfície do solo para cálculo da produtividade de matéria seca (t ha<sup>-1</sup>) (CHAILA, 1986). Foram escolhidos aleatoriamente dois pontos por subparcela de uma área conhecida (quadrado de 0,50 x 0,50 m), o qual foi armazenado em sacos de papel kraft, identificado e levado para estufa de circulação forçada à 65 °C até obtenção de massa constante. Os dados foram extrapolados para a produtividade de matéria seca.

No mês de outubro de 2018 analisou-se a porcentagem de solo coberto com palhada utilizando uma trena de 10 metros. Para isto, colocou-se a trena transversalmente sobre o solo em duplicata (formando um X) em cada parcela; e fez a contagem a cada 0,10 m, determinada

visualmente se havia ou não presença de palhada sob a marcação da trena (LAFLEN; AMEMIYA; HINTZ, 1981).

Aos 20 dias após a semeadura da soja foi realizada a contagem do número de plantas por metro linear, realizada em triplicata com auxílio de uma trena graduada em metros.

No dia da colheita da soja foi realizada a coleta de 20 plantas por parcela e com auxílio de uma trena graduada em metros foi realizada a medição da altura de plantas, altura de inserção da primeira vagem. Foi realizada também a contagem do número de vagens por planta e número de grãos por planta.

A produtividade foi dada coletando-se uma área de 12 m<sup>2</sup> da parte central da parcela, a qual foi levada para laboratório, pesada, levada para estufa a 65 °C até obtenção de uma massa constante e então a massa resultante foi extrapolada para 13% de umidade. Os dados foram extrapolados para t ha<sup>-1</sup>. A massa de mil grãos foi determinada pela contagem em triplicata de cada uma das amostras, segundo a recomendação de BRASIL (2009).

#### **2.4.5 Análises estatísticas**

Os dados foram submetidos à análise de variância considerando um nível de significância de 5 % para o teste F. Quando significativas, as médias foram comparadas pelo de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico SISVAR 5,6 (FERREIRA, 2014).

### **2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Observa-se na Tabela 1 que antes da implantação dos manejos, os valores de densidade encontrados estão abaixo do nível considerado crítico ao desenvolvimento das culturas que é de 1,40 Mg m<sup>-3</sup> para condição de Latossolo. Entretanto os valores observados para macroporosidade estão abaixo do mínimo recomendado para o desenvolvimento das culturas que é de 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> indicando uma condição pobre de aeração desse solo.

Ao analisar a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, constatou-se que houve diferença significativa (p<0,05) entre os manejos e épocas de coleta (Tabela2).

**Tabela 1** - Valores encontrados para densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total antes da implantação do experimento nas profundidades de 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m para um Latossolo Vermelho eutrófico

Trat	Densidade (Mg m <sup>-3</sup> )			Macro m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		
	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
nab/av/esc	1,34	1,35	1,34	0,059	0,057	0,059
nab/av	1,29	1,31	1,38	0,061	0,054	0,047
mil/esc	1,37	1,38	1,39	0,051	0,043	0,048
mil/mou	1,34	1,35	1,35	0,038	0,054	0,044
milho	1,40	1,34	1,39	0,047	0,051	0,055
Média	1,35	1,35	1,37	0,051	0,052	0,051

Trat	Micro m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			Porosidade Total m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>		
	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20
nab/av/esc	0,410	0,404	0,406	0,469	0,461	0,465
nab/av	0,410	0,406	0,398	0,471	0,460	0,445
mil/esc	0,428	0,430	0,401	0,479	0,473	0,449
mil/mou	0,426	0,415	0,420	0,464	0,469	0,464
milho	0,422	0,405	0,420	0,469	0,456	0,475
Média	0,419	0,412	0,409	0,470	0,464	0,460

A densidade média do solo para todas as profundidades avaliadas e tempos de coleta ficou entre 1,26 e 1,39 Mg m<sup>-3</sup>. Esses valores estão abaixo do nível considerado crítico para a soja que é de 1,40 Mg m<sup>-3</sup> (REICHERT et al., 2009) e próximo ou acima do limite crítico para a cultura do milho (1,28 Mg m<sup>-3</sup>) (SPERA et al., 2009).

Em todas as profundidades avaliadas a densidade média inicial do solo foi de 1,35 Mg m<sup>-3</sup> (Tabela 1), e a densidade média aos 160 dias após a semeadura da soja foi de 1,39 Mg m<sup>-3</sup> (Tabela 2). Portanto, observou-se que após o cultivo da soja resultou em aumento da densidade.

Diferentemente dos resultados obtidos por Ren et al. (2019). Os autores testaram diferentes sistemas de cultivo: plantas de cobertura, plantio direto e gradagem; e encontraram valores máximos de densidade do solo de 1,4 Mg m<sup>-3</sup> na profundidade de 0,05-0,10 m na área onde havia as plantas de cobertura e 1,58 Mg m<sup>-3</sup> para gradagem na profundidade de 0,15-0,20 m, mostrando que as culturas de cobertura reduzem a densidade à medida que as raízes se decompõem e o manejo mecânico aumenta a densidade devido ao uso de máquinas pesadas, concentrando todo o peso em alguns pontos.

Para a macroporosidade foi observada influência da descompactação mecânica / biológica do solo apenas na primeira coleta. Após as safras de inverno, com e sem escarificação, a macroporosidade foi maior, diminuindo após a safra da soja. Esses resultados mostram que no período de um ano, nenhum dos tratamentos foi capaz de manter o volume de macroporos

ao longo do tempo. Uma condição comum para o Latossolo que possuem uma tendência natural de retornar à sua característica original (NUNES et al., 2015b).

Independentemente do manejo utilizado, observa-se que todos os tratamentos apresentaram valores inferiores a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para a macroporosidade em março/2019 (Tabela 2); valor este considerado por Reichert et al. (2009) como limite mínimo para uma boa difusão de gases; portanto, pode ser limitante ao desenvolvimento radicular.

**Tabela 2** - Densidade, macroporosidade, microporosidade e porosidade total de um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, em diferentes períodos e profundidades, submetido a escarificação mecânica e biológica e rotação de cultivos

Trat	0,05-0,10		0,10-0,15		0,15-0,20	
	Densidade $\text{Mg m}^{-3}$					
	out/18	mar/19	out/18	mar/19	out/18	mar/19
nab/av/esc	1,240 Ba	1,390 Aab	1,240 Bbc	1,320 Aa	1,250 Bab	1,350 Aa
nab/av	1,320 Ba	1,400 Aab	1,350 Aa	1,380 Aab	1,330 Aa	1,400 Aa
mil/esc	1,100 Bb	1,340 Ab	1,140 Bc	1,330 Aab	1,150 Bb	1,360 Aa
mil/mou	1,330 Ba	1,400 Aab	1,380 Aa	1,400 Aab	1,330 Ba	1,400 Aa
milho	1,350 Ba	1,450 Aa	1,310 Bab	1,440 Ab	1,300 Ba	1,410 Aa
Média	1,26 B	1,39 A	1,29 B	1,37 A	1,27 B	1,38 A
CV (%)	7,49		7,58		6,21	

Trat	Macroporosidade $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$					
	out/18	mar/19	out/18	mar/19	out/18	mar/19
nab/av/esc	0,106 Ab	0,059 Ba	0,101 Ab	0,063 Ba	0,093 Aab	0,068 Ba
nab/av	0,055 Ac	0,059 Aa	0,059 Ac	0,057 Aa	0,069 Ab	0,058 Aa
mil/esc	0,150 Aa	0,070 Ba	0,147 Aa	0,069 Ba	0,124 Aa	0,063 Ba
mil/mou	0,072 Aab	0,039 Ba	0,066 Aab	0,055 Aa	0,078 Ab	0,042 Ba
milho	0,072 Aab	0,043 Ba	0,086 Aab	0,048 Ba	0,088 Ab	0,049 Ba
Média	0,090 A	0,053 B	0,091 A	0,058 B	0,090 A	0,055 B
CV (%)	45,94		48,55		40,72	

Trat	Microporosidade $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$					
	out/18	mar/19	out/18	mar/19	out/18	mar/19
nab/av/esc	0,409 Aa	0,428 Aab	0,416 Aa	0,419 Aa	0,420 Aa	0,425 Aa
nab/av	0,416 Aa	0,399 Ab	0,421 Ba	0,464 Aa	0,422 Aa	0,415 Aa
mil/esc	0,394 Aa	0,430 Aab	0,408 Aa	0,432 Aa	0,415 Aa	0,416 Aa
mil/mou	0,429 Aa	0,464 Aa	0,423 Aa	0,423 Aa	0,418 Aa	0,428 Aa
milho	0,421 Aa	0,440 Aab	0,412 Aa	0,421 Aa	0,410 Aa	0,430 Aa
Média	0,413 B	0,432 A	0,415 A	0,431 A	0,417 A	0,422 A
CV (%)	10,59		10,67		11,68	

Trat	Porosidade Total $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$					
	out/18	mar/19	out/18	mar/19	out/18	mar/19
nab/av/esc	0,515 Aab	0,487 Aa	0,517 Aab	0,482 Aab	0,513 Ab	0,493 Aa
nab/av	0,466 Ab	0,458 Aa	0,480 Bb	0,522 Aa	0,491 Ab	0,473 Aa
mil/esc	0,543 Aa	0,500 Ba	0,555 Aa	0,501 Bab	0,539 Aa	0,478 Ba
mil/mou	0,500 Aab	0,503 Aa	0,489 Ab	0,478 Aab	0,496 Ab	0,470 Aa
milho	0,494 Aab	0,484 Aa	0,497 Ab	0,470 Ab	0,498 Ab	0,479 Aa
Média	0,503 A	0,486 B	0,507 A	0,490 B	0,507 A	0,478 B
CV (%)	9,47		8,89		9,53	

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha (e profundidade) e minúscula na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. nab/av/esc – nabo + aveia preta seguida de escarificação após sua semeadura; nab/av – nabo + aveia preta sem escarificação; mil/esc – milho segunda safra e escarificação após

sua colheita; mil/mou - milho segunda safra e trigo mourisco após a colheita do milho; milho - milho segunda safra sem escarificação (controle).

Em outubro de 2018 observa-se que somente os manejos nabo + aveia preta seguida de escarificação mecânica após sua semeadura e milho seguido de escarificação mecânica após sua colheita apresentaram macroporosidade igual ou superior a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  para as camadas de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m. Nas três profundidades avaliadas, o maior valor de macroporosidade observado foi no manejo milho seguido de escarificação. Ou seja, a escarificação tinha sido próxima da data da coleta.

A microporosidade foi maior com o tempo somente para a profundidade de 0,05-0,10 m. Esse resultado ocorreu devido ao aumento da densidade aparente que, nessas camadas, resultou em um aumento da microporosidade e uma diminuição na macroporosidade (DA COSTA et al., 2014). Segundo Drescher et al., (2016) a microporosidade é um parâmetro de difícil alteração, muitas vezes sem influência da escarificação ou de um SPD bem estruturado; sendo necessários vários anos de deposição de matéria orgânica e estruturação do solo para serem observadas alterações nesta propriedade física (NAVEED et al., 2014).

Para microporosidade na profundidade de 0,05-0,10 m observou-se diferença para a coleta realizada em março/2019. Os maiores valores de microporosidade foram observados na área com milho seguido de trigo mourisco.

Houve redução na porosidade total na avaliação realizada 5 meses após a segunda avaliação. O que foi acompanhado por uma diminuição da macroporosidade. Nas profundidades de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m, o manejo de milho seguido de escarificação após a colheita e nabo forrageiro + aveia preta com escarificação foram superiores ao manejo de nabo forrageiro + aveia preta sem escarificação. Esse resultado ocorreu como reflexo do aumento da macroporosidade desses manejos quando associado ao escarificador que afrouxa o solo, proporcionando um melhor desenvolvimento radicular (NUNES et al., 2015b). É importante ressaltar que os benefícios causados por plantas de cobertura dependem das espécies utilizadas e do nível de compactação do solo (ARVIDSSON; HÅKANSSON, 2014; GOUTAL et al., 2012).

Em todas as profundidades avaliadas após o cultivo de outono houve melhorias na densidade, macroporosidade e porosidade total. Entretanto, estas melhorias não perduraram; e após cinco meses do cultivo de outono/inverno a densidade do solo e a porosidade retornaram à condição inicial em todas as profundidades. O retorno das condições físicas iniciais foi menor

do que observado por Toigo et al. (2015), onde o efeito da escarificação mecânica do solo durou 13 meses após a sua realização.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de produtividade de matéria seca aportada ao solo, e cobertura do solo com palhada após o manejo das culturas de outono/inverno. Observa-se que a quantidade de matéria seca aportada ao solo na área com nabo + aveia preta com escarificação após a semeadura foi de 8,55 t ha<sup>-1</sup> e do nabo + aveia preta de 7,72 t ha<sup>-1</sup> e foram estatisticamente superiores a palhada do milho com e sem escarificação, mesmo sucedido com o trigo mourisco.

**Tabela 3** - Produtividade de matéria seca e porcentagem de solo coberto com palha após diferentes manejos realizado em Entre Rios do Oeste – PR

Tratamento	Matéria seca aportada ao solo t ha <sup>-1</sup>	Cobertura do Solo %
Nabo + aveia preta seguido de escarificação	8,55 a	94,62 a
Nabo + aveia preta sem escarificação	7,72 a	93,87 a
Milho SPD com escarificação após a colheita	3,42 c	21,75 d
Milho SPD seguido de trigo mourisco	4,35 b	79,75 b
Milho SPD sem escarificação	5,50 b	66,75 c
CV (%)	17,49	12,30

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey.

Carneiro et al. (2008), Heinz et al. (2011) e Krenchinski et al. (2018) o trabalhando com nabo forrageiro cultivado em monocultivo obtiveram um rendimento de matéria seca de 5,29 t ha<sup>-1</sup> 5,58 t ha<sup>-1</sup> 7,33 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Esses resultados foram inferiores aos encontrados neste estudo, e reforça a importância do uso do consórcio entre plantas de cobertura para melhorar a quantidade de matéria seca produzida.

A menor produção de matéria seca obtida com o manejo milho seguido de escarificação após a colheita deve estar relacionada ao processo de escarificação que enterrou os restos culturais do milho à medida que as hastes passavam pelo solo, comprometendo a quantidade de matéria seca existente no solo no momento da coleta. A maior matéria seca obtida por outros manejos com milho em comparação ao milho seguido de escarificação pode ser explicada pela presença de trigo sarraceno e plantas daninhas. Como o milho foi manejado em julho e toda a área foi dessecada em setembro / 2018, restou quase dois meses para o trigo mourisco e as ervas daninhas crescerem na área, aumentando a matéria seca.

A porcentagem de solo coberto após o manejo do outono / inverno mostrou diferenças estatísticas. Os tratamentos com nabo forrageiro consorciado com aveia preta, com e sem escarificação, apresentaram maior percentual de cobertura do solo, em média este aumento foi

de 94%. Enquanto, na área de milho seguida de escarificação essa cobertura foi de apenas 21%. Segundo Denardin et al. (2012) um sistema de plantio direto bem estruturado deve apresentar, após a semeadura pelo menos, 30% da cobertura do solo. No entanto, o manejo milho seguido de escarificação após a colheita apresentou 21% de cobertura do solo, valor observado cerca de 30 dias antes da semeadura da soja, mostrando que o sistema de plantio direto já estava comprometido antes mesmo da implantação da soja (Tabela 3). Resultados semelhantes foram observados por Seki et al. (2015) e Almeida et al. (2016); que constataram maior cobertura do solo na associação entre plantas de cobertura

Na Tabela 4 são apresentados os valores referentes ao número de plantas de soja por metro linear, altura de plantas, altura da inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por planta, massa de mil grãos e produtividade da soja; após o cultivo das culturas de outono/inverno.

**Tabela 4** - Número de plantas de soja por metro linear, altura de plantas, altura da inserção da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por planta, massa de mil grãos e produtividade da soja, sob influência ou não de escarificação mecânica ou mecânica associada a biológica

Trat.	Plantas de soja m <sup>-1</sup> linear	Alt. planta (cm)	Alt. Ins. 1 <sup>a</sup> vagem (cm)	Núm. vagens planta <sup>-1</sup>	Grãos planta <sup>-1</sup>	Massa 1000 grãos (g)	Prod. t ha <sup>-1</sup>
nab/av/esc	15,33 a	56,65 b	12,67 c	43,55 b	108,33 bc	84,23 b	3,11 a
nab/av	15,33 a	57,27 b	13,52 bc	44,52 b	105,13 c	85,83 b	3,33 a
mil/esc	15,00 a	65,85 a	15,67 ab	55,82 a	125,12 ab	89,38 a	3,37 a
mil/mou	17,66 a	68,60 a	16,75 a	55,57 a	132,73 a	89,30 a	3,49 a
milho	15,58 a	66,10 a	17,90 a	55,00 a	138,27 a	89,36 a	3,19 a
CV (%)	26,23	8,99	23,79	18,51	24,49	2,82	12,42

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. nab/av/esc – nabo + aveia preta seguida de escarificação após a semeadura; nab/av – semeadura de nabo + aveia preta sem escarificação; mil/esc – milho segunda safra e escarificação imediata após a colheita; mil/mou - milho segunda safra com sucessão de trigo mourisco; milho - milho segunda safra (controle).

A massa de 1000 grãos no presente experimento está menor do que a observada em literatura que é em média 120 g para a cultivar (DUARTE et al., 2016; PHIPPEN; PHIPPEN, 2012; SEGALIN et al., 2013; SEIDEL et al., 2018; ZANATTA et al., 2018), e isso pode ser explicado pelas condições climáticas desfavoráveis. A distribuição de chuva no período de florescimento e enchimento do grão foi insuficiente afetando diretamente esse componente de produtividade, fase onde a planta necessita de cerca de 8 mm por dia para um enchimento adequado dos grãos (FARIAS; NEPOMUCENO; NEUMAIER, 2007). Conforme a Figura 1 observou-se que após a semeadura e até a colheita da soja, a precipitação foi superior à 8 mm

somente no primeiro decêndio de janeiro/2019. Todavia, como o número de plantas por metro linear foi em média de 15,78 compensou a menor massa de 1000 grãos e não comprometeu a produtividade.

Embora os parâmetros altura da planta, altura da primeira vagem, número de vagens por planta, número de grãos por planta e massa de mil grãos apresentem diferenças entre si, nenhum dos manejos testados influenciou o rendimento final da soja (Tabela 4). Resultados semelhantes foram encontrados por Nicoloso et al. (2008) testando o efeito da descompactação mecânica e biológico do solo.

Como a havia sendo utilizada em um sistema de plantio direto nos últimos 4 anos, os resultados mostraram que um ano com um sistema diferente de manejo não foi capaz de alterar o rendimento final da soja. Como exemplo, testando diferentes culturas de cobertura antes da cultura da soja, Krenchinski et al. (2018) não encontraram diferença no rendimento da soja no primeiro ano, somente após o segundo e terceiro ano usando as culturas de cobertura os autores observaram melhorias na rendimento de soja. Resultados semelhantes foram encontrados por Debiasi et al. (2010) que, após avaliar as culturas de cobertura de inverno por dois anos, encontraram aumentos no rendimento da soja apenas no segundo ano.

Quanto aos tratamentos com escarificação, o manejo não foi capaz de aumentar o rendimento da soja. Debiasi et al. (2010); e Seidel et al. (2018) também não encontraram aumento no rendimento da soja em sucessão a escarificação. O rendimento médio obtido neste estudo ( $3,30 \text{ t ha}^{-1}$ ) foi inferior ao encontrado por Girardello et al. (2014) onde, ao testar diferentes escarificadores (sitio específico e convencional), encontraram um rendimento médio de soja de  $4,28 \text{ t ha}^{-1}$ ; sem diferença significativa de produtividade com e sem escarificação.

## 2.6 CONCLUSÕES

A descompactação mecânica e biológica promoveu melhorias na macroporosidade e porosidade total do solo em algumas profundidades. Entretanto, elas não persistiram e retornaram às condições iniciais da área. A porosidade do solo aumentou quando foi associada a escarificação mecânica com as plantas de cobertura nabo + aveia preta.

O cultivo de nabo + aveia produz maior quantidade de matéria seca na superfície do solo do que o monocultivo.

A escarificação após o cultivo do milho segunda safra diminuiu a porcentagem de cobertura do solo, comprometendo a qualidade do SPD.

A produtividade da soja não foi influenciada pelos manejos.

## 2.7 REFERÊNCIAS

- DE ALMEIDA, W. S.; DE CARVALHO, D. F.; PANACHUKI, E.; et al. Erosão hídrica em diferentes sistemas de cultivo e níveis de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1110–1119, 2016.
- ALVAREZ, R.; STEINBACH, H. S.; DE PAEPE, J. L. Cover crop effects on soils and subsequent crops in the pampas: A meta-analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 170, p. 53–65, 2017.
- ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I. Response of different crops to soil compaction-Short-term effects in Swedish field experiments. **Soil and Tillage Research**, v. 138, p. 56–63, 2014.
- BRASIL. **Regras para Análise de Sementes**. 2009.
- CARNEIRO, M. A. C.; CORDEIRO, M. A. S.; ASSIS, P. C. R.; et al. Produção De Fitomassa De Diferentes Espécies De Cobertura E Suas Alterações Na Atividade Microbiana De Solo De Cerrado. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 455–462, 2008.
- CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; et al. Cartas climáticas do estado do Paraná. InfoAgro2000. **Anais...** . v. 375, 2000.
- CELIK, A.; RAPER, R. L. Design and evaluation of ground-driven rotary subsoilers. **Soil and Tillage Research**, v. 124, p. 203–210, 2012. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.06.010>>. .
- CHAILA, S. Métodos de evaluación de malezas para estudios de poblacion y control. **Malezas**, v. 14, n. 2, p. 1986, 1986.
- CHEN, G.; WEIL, R. R.; HILL, R. L. Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 61–69, 2014. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2013.09.004>>. .
- COLOMBO, G. A.; LOPES, M. B. S.; DOTTO, M. C.; CAMPESTRINI, R.; LIMA, S. DE O. Atributos físicos de um latossolo vermelho-amarelo distrófico sob diferentes sistemas de manejo no cerrado tocantinense. **Campo Digital**, v. 12, n. 1, p. 21–29, 2017.
- CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D. DA S.; DE MOURA, M. R. D.; OLSZEWSKI, N.; NAGAHAMA, H. DE J. Atributos físicos do argissolo amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 4, p. 1207–1216, 2011.
- DA COSTA, P. A.; MOTA, J. C. A.; ROMERO, R. E.; FREIRE, A. G.; FERREIRA, T. O. Changes in soil pore network in response to twenty-three years of irrigation in a tropical semiarid pasture from northeast Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 137, p. 23–32, 2014.
- 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, n. 6, p. 603–612, 2010.
- DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A. A agricultura desenvolvida no Brasil é conservacionista ou não? **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 11–13, 2011.
- DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; DENARDIN, N. D.; SANTI, A. Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista. **Embrapa Documentos online**, p. 39, 2012. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/trigo/busca-de>

publicacoes/-/publicacao/969148/diretrizes-do-sistema-plantio-direto-no-contexto-da-agricultura-conservacionista> . .

DONAGEMA, G. K. **Manual de métodos de análise de solo**. 2<sup>o</sup> ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; et al. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1714–1723, 2012.

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

DUARTE, T. C.; CRUZ, S. C. S.; SOARES, G. F.; SENA JÚNIOR, D. G. DE; MACHADO, C. G. Spatial arrangements and fertilizer doses on soybean yield and its components. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 11, p. 960–964, 2016.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. 2007.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109–112, 2014.

GIAROLA, N. F. B.; DA SILVA, ÁLVARO P.; TORMENA, C. A.; GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C. On the Visual Evaluation of Soil Structure: The Brazilian experience in Oxisols under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 127, p. 60–64, 2013.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; SANTI, A. L.; et al. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em LATOSSOLO argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1234–1244, 2014.

GOUTAL, N.; PARENT, F.; BONNAUD, P.; et al. Soil CO<sub>2</sub> concentration and efflux as affected by heavy traffic in forest in northeast France. **European Journal of Soil Science**, v. 63, n. 2, p. 261–271, 2012.

HEINZ, R.; GARBIATE, M. V.; NETO, A. L. V.; et al. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de crame e nabo forrageiro. **Ciência Rural**, v. 41, n. 9, p. 1549–1555, 2011.

HUBBARD, R. K.; STRICKLAND, T. C.; PHATAK, S. Effects of cover crop systems on soil physical properties and carbon/nitrogen relationships in the coastal plain of southeastern USA. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 276–283, 2013. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.07.009>> . .

KRENCHINSKI, F. H.; CESCO, V. J. S.; RODRIGUES, D. M.; et al. Agronomic performance of soybean grown in succession to winter cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 9, p. 1018–1024, 2018.

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

NAVEED, M.; MOLDRUOP, P.; VOGEL, H.-JÖ.; et al. Impact of long-term fertilization practice on soil structure evolution. **Geoderma**, v. 217–218, p. 181–189, 2014. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.001>> . .

NICOLOSO, R. DA S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; et al. Eficiência da escarificação

mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1723–1734, 2008.

NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, E. A.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Effect of soil chiseling on soil structure and root growth for a clayey soil under no-tillage. **Geoderma**, v. 259–260, p. 149–155, 2015. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.003>>. .

NUNES, M. R.; PAULETTO, E. A.; DENARDIN, J. E.; et al. Persistência dos efeitos da escarificação sobre a compactação de Nitossolo sob plantio direto em região subtropical úmida. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 7, p. 531–539, 2014.

PHIPPEN, W. B.; PHIPPEN, M. E. Soybean seed yield and quality as a response to field pennycress residue. **Crop Science**, v. 52, n. 6, p. 2767–2773, 2012.

POEPLAU, C.; DON, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops - A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 200, p. 33–41, 2015. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.024>>. .

PRANDO, M. B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A. P. E.; ROSOLEM, C. A. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 693–700, 2010.

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242–254, 2009.

REN, L.; NEST, T. VANDEN; RUYSSCHAERT, G.; D'HOSE, T.; CORNELIS, W. M. Short-term effects of cover crops and tillage methods on soil physical properties and maize growth in a sandy loam soil. **Soil and Tillage Research**, v. 192, n. May, p. 76–86, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.026>>. .

SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5<sup>o</sup> ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018.

SANTOS, J. C. DOS; NETO, F. C. R.; JUNIOR, J. M. C.; WANDERLEY, R. A. DESEMPENHO DE UM ESCARIFICADOR COM DOIS TIPOS DE PONTEIRAS E TRÊS ESPAÇAMENTOS ENTRE HASTES. **Science & Engineering Journal**, v. 24, n. 2, p. 1983–4071, 2015.

SEGALIN, S. R.; BARBIERI, A. P. P.; HUTH, C.; et al. Physiological quality of soybean seeds treated with different spray volumes. **Journal of Seed Science**, v. 35, n. 4, p. 501–509, 2013.

SEIDEL, E. P.; SCHNEIDER, A. P. H.; SUSTAKOWSKI, M. C.; et al. Soybean Yield, Soil Porosity and Soil Penetration Resistance under Mechanical Scarification in No-Tillage System. **Journal of Agricultural Science**, v. 10, n. 4, p. 268, 2018.

SEKI, S.; SEKI, G.; PAULO, S.; SILVA, A.; HUGO, S. Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema Effects of soil decompaction techniques in an area under a system of direct seeding. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, p. 460–468, 2015.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P. DOS; TOMM, G. O.; KOCHHANN, R. A.; ÁVILA, A. Atributos físicos do solo em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 1079–1093, 2009.

TOIGO, S.; BRAIDA, J. A.; POSSENTI, J. C.; BRANDELERO, E. M.; BAESSO, M. M. Atributos físicos de um NITOSSOLO VERMELHO cultivado com trigo em sistema plantio direto, submetido à compactação e escarificação. **Engenharia na agricultura**, v. 23, n. 1, p. 19–28, 2015.

ZANATTA, T. P.; KULCZYNSKI, S. M.; LIBERA, D. DELLA; et al. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de soja colhidas em diferentes períodos de maturação. **Cultivando o Saber**, v. 11, p. 92–109, 2018.

ZHU, B.; YI, L.; GUO, L.; et al. Performance of two winter cover crops and their impacts on soil properties and two subsequent rice crops in Dongting Lake Plain, Hunan, China. **Soil and Tillage Research**, v. 124, n. 3, p. 95–101, 2012. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.05.007>>. .

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

### **3 CAPÍTULO 2: EFEITO DO SEMEADURA DIRETA, DESCOMPACTAÇÃO MECÂNICA E BIOLÓGICA NO CARBONO ORGÂNICO DO SOLO E SUAS FRAÇÕES**

#### **3.1 RESUMO**

O objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos dos manejos: plantio direto, descompactação mecânica e biológica no teor de carbono orgânico do solo (COS) e em suas frações. O experimento foi conduzido em um delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas no tempo e quatro repetições. Os tratamentos consistiram em cinco manejos: Manejo 1 – nabo + aveia preta seguida de escarificação mecânica; Manejo 2 – nabo + aveia preta; Manejo 3 – milho segunda safra e escarificação logo após a colheita; Manejo 4 - milho segunda safra e trigo mourisco em sucessão; Manejo 5 - milho segunda safra sem escarificação (testemunha) (SPD). As subparcelas foram dois tempos de coleta: outubro/2018 e março/2019. As amostras deformadas de solo foram coletadas em três profundidades: 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m. Avaliou-se o carbono orgânico total do solo (COT), carbono não humificado (CNH) e as frações humificadas do carbono ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HUM), além da relação AH/AF e EA/HUM (extrato alcalino/humina). No presente estudo houve reduções nos teores de COT, AF, AH e HUM após o cultivo da soja em todas as profundidades avaliadas, demonstrando que em regiões com altas temperaturas e precipitação há perda de carbono e de suas frações com o decorrer do tempo. O carbono orgânico total na área com nabo consorciado com aveia na profundidade de 0,15-0,20 m com soja em sucessão foi maior do que na área com milho/trigo mourisco. A área com soja onde havia milho escarificado obteve os maiores teores de humina na profundidade de 0,05-0,10 m e de 0,15-0,20 m.

Palavras-chave: Matéria orgânica do solo, frações húmicas, humina.

## **EFFECT OF THE NO-TILL SYSTEM, MECHANICAL AND BIOLOGICAL LOOSENING INT THE SOIL ORGANIC CARBON AND ITS FRACTIONS**

### **3.2 ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the effect of the managements: no-till, mechanical and biological soil loosening in the soil organic carbon content (SOC) and its fractions. The experiment was conducted in a randomized block design with time split-plot and four replicates. The treatments consisted on five managements: Management 1 – forage radish + black oats followed by chiseling; Management 2 – forage radish + black oat without chiseling; Management 3 – maize second crop followed by a chiseling after its harvest; Management 4 – maize second crop followed by buckwheat in succession; Management 5 – maize second crop without chiseling (control). The subplots were two collection times: October/2018 and March/2019. The deformed soil samples were collected on three depths: 0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m and 0,15-0,20 m. It was evaluated the soil total organic carbon (TOC), non-humified carbon (NHC) and the carbon humified fractions fulvic acid (FA), humic acid (HA) and humin (HUM) besides the AH/AF and AE/HUM ratios. In the present study there were decreases in the TOC, FA, HA and HUM after the soybean crop in all depths tested. Showing that in regions with high temperatures and rainfalls there is losses in carbon and its fractions with the time. The total organic carbon in the area with forage radish in consortium with black oat in the 0,15-0,20 m depth with soybean in succession was higher than in the area with maize/buckwheat. The area with soybean, which had maize harrowed after its harvest, had the highest humin content in the 0,05-0,10 m and 0,15-0,20 m depths.

Keywords: Soil organic matter, humic fractions, humin.

### **3.3 INTRODUÇÃO**

O carbono orgânico do solo é um dos atributos mais sensíveis ao sistema de manejo de solo adotado por produtores; ou seja, a escolha errônea de um manejo pode prejudicar seu teor e suas frações no solo, conseqüentemente diminuindo sua quantidade e qualidade (RAHMATI et al., 2020). Desta forma, o conhecimento das práticas de manejo e de sua influência no solo possibilita o estabelecimento de estratégias que aumentam ou mantêm seus teores no solo (BARRETO et al., 2008; CANELLAS et al., 2014; ROSSI et al., 2011).

Em determinados casos não é possível utilizar somente os teores de carbono orgânico total para determinar o impacto de determinado manejo sobre o solo (BARRETO et al., 2011). A fim de estabelecer parâmetros de qualidade do solo é necessário a investigação de seus teores fracionados, como o carbono presente nas frações húmicas (BEZERRA et al., 2013) e o pertencente as frações oxidáveis (RANGEL et al., 2008).

A matéria orgânica do solo (MOS) é majoritariamente constituída por macromoléculas humificadas e ácidos não humificados. Sendo que cerca 85% a 90% do carbono orgânico total (COT) é composto pelas substâncias húmicas, que são compostos formados pela ação da microbiota do solo (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014). De maneira geral, os compostos oriundos da atividade microbiana são divididos em: humina (HUM), ácidos fúlvicos (AF) e ácidos húmicos (AH) (DO NASCIMENTO et al., 2010; GUERRA et al., 2008).

Os ácidos húmicos são caracterizados como a fração intermediária entre a existências de ácidos orgânicos de caráter livre na solução do solo (ácidos fúlvicos) e os compostos estáveis com o material mineral (huminas) (BALDOTTO et al., 2015). Os ácidos húmicos são então, uma forma natural advinda do processo de humificação, representando assim as condições de manejo e gênese do solo.

Uma alta proporção da fração ácido húmico nas substâncias húmicas está relacionado a altos níveis de cátions base. Mudanças na matéria orgânica do solo, pela alta concentração de AH ou alta relação AH/AF em solos altamente intemperizados, contribuem para melhorar a qualidade do solo (CUNHA et al., 2009).

A fração ácido fúlvico é solúvel em solução aquosa ácida e alcalina, enquanto a fração ácido húmico, apresenta solubilidade em pH alcalino, coagulando em situação de pH inferior a 2,0. Já a fração humina é insolúvel em ambos extratos alcalino e ácido (CUNHA et al., 2009).

A fração humina é menos propensa a mudanças devido às práticas de manejo do solo, uma vez que é a fração mais estável e resiliente (WOLSCHICK et al., 2018). O não revolvimento do solo resulta em maior estabilidade do carbono, causando predominância da fração humina (ROSSET et al., 2016). O carbono da fração humina é uma parte importante do carbono orgânico total, estando intimamente relacionado com a fração mineral do solo (MORAES et al., 2011).

Devido ao baixo conteúdo de bases trocáveis em solos mais intemperizados, os processos de condensação e síntese que levam a humificação diminuem, resultando em uma menor relação AH/AF (BALDOTTO et al., 2015). Conseqüentemente, relações inferiores a 1,0 são indicativas de maior presença de ácido fúlvico, o que leva a uma maior lixiviação destes compostos. Em contrapartida, relações AH/AF próximas a 1,0 refletem uma maior quantidade

de AH, composto hidrofóbico e mais estável que a fração ácido fúlvico (BALDOTTO et al., 2015).

O processo de formação das substâncias húmicas pode acontecer de forma progressiva na natureza pela acumulação de moléculas recalcitrantes no solo. No entanto, a relação entre AH/AF pode expressar o grau relativo de humificação da matéria orgânica e sua disponibilidade (PICCOLO, 2012).

Outra relação utilizada, oriunda das frações humificadas, é a relação EA/HUM, quociente entre o extrato alcalino (EA = ácidos fúlvicos + ácidos húmicos) e a humina. Esta relação indica a iluviação de matéria orgânica ou carbono orgânico no solo (MARTINS; CORINGA; WEBER, 2009). De acordo com Campos et al., (2010) quando a relação EA/HUM apresenta valores menores que 1 há um predomínio da fração humina na matéria orgânica do solo em relação à fração ácido-alcalina.

De acordo com Conceição, Dieckow e Bayer (2013), a estabilização do carbono orgânico do solo está diretamente relacionada à formação de macroagregados. Sua formação mais lenta favorece a formação de microagregados mais estáveis dentro dos macroagregados (DU et al., 2015); além de propiciar um ambiente favorável para a estabilização do C pelos minerais do solo (CONCEIÇÃO; DIECKOW; BAYER, 2013). Entretanto, em solos tropicais ou subtropicais, a forma que os diferentes sistemas de cultivo alteram os mecanismos de estabilização do carbono orgânico do solo ainda não estão claros (VELOSO; CECAGNO; BAYER, 2019).

Dentre as práticas de manejo que favorecem o acúmulo de matéria orgânica está o sistema plantio direto (SPD). Neste sistema a rotação de culturas com plantas de cobertura é um dos seus preceitos (DENARDIN et al., 2012). Todavia, de maneira geral, o conceito de SPD é aplicado erroneamente por pesquisadores e produtores, muitas vezes considerando a sucessão de culturas soja/milho como sendo um SPD.

A rotação entra no manejo como uma ferramenta para reestruturar áreas de solo que foram degradadas devido à sucessão de culturas e cultivo intensivo da monocultura (SANTOS et al., 2014; ZOTARELLI et al., 2012). A rotação de culturas aumenta o teor de carbono e nutrientes do solo por meio da ciclagem de nutrientes (RIBEIRO et al., 2011; ROSOLEM; CALONEGO, 2013). Vale ressaltar que de acordo com o sistema de manejo adotado, este influenciará de forma direta sobre o estoque de carbono orgânico do solo (EBELING et al., 2013; FONTANA et al., 2011; TOMASI; INDA; DICK, 2012).

O sistema plantio direto é um potencial redutor e recuperador da degradação de solos tropicais; pois, aumenta o carbono orgânico do solo (JUNIOR; CORÁ; LAL, 2016). Sá et al.,

(2015) observaram que a redução do revolvimento do solo pela adoção do plantio direto aumentou o carbono de um Latossolo em até  $0,67 \text{ t ha}^{-1}$ .

Wolschick et al., (2018) ao avaliarem os efeitos de diferentes sistemas de manejo (plantio direto, cultivo mínimo, sistema convencional, rotação de sistemas e pousio), em um Cambissolo Húmico, encontraram no plantio direto maiores valores médios de carbono orgânico total nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m de 51,7 e 47,1  $\text{g kg}^{-1}$  de COT, respectivamente.

O aumento do teor de carbono leva a redução da densidade do solo e ao aumento de sua agregação. Entretanto, muitas vezes as condições de baixa precipitação e temperaturas amenas, comumente observadas no período do outono inverno no sul do Brasil, limitam o desenvolvimento das plantas, reduzindo o aporte de matéria orgânica ao solo (JUNIOR; CORÁ; LAL, 2016).

A escarificação mecânica é uma prática utilizada por produtores para descompactação do solo e, conseqüentemente, redução da densidade do solo. Entretanto, de acordo com Nunes et al. (2015b), ela sozinha não resolve o problema da compactação do solo, pois ela não adiciona carbono orgânico ao solo. Entretanto, a prática da escarificação pode alterar a temperatura superficial do solo por meio de mudanças na aeração causada pelo escarificador, potencializando a mineralização do carbono orgânico (FABRIZZI et al., 2009).

Nunes et al., (2015) ao avaliarem as propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho Distrófico, em diferentes períodos após sua escarificação encontraram que, solos mantidos sob plantio direto seguido de escarificação não apresentaram redução nos teores de carbono orgânico até a profundidade de 0,30 m entre 0 e 24 meses após a escarificação.

Assim, a hipótese do presente trabalho é de que a descompactação mecânica altera os teores de carbono e as frações húmicas do solo e que a longo prazo, as plantas de cobertura aumentarão os estoques de carbono orgânico do solo.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos dos manejos: semeadura direta, descompactação mecânica e biológica no teor de carbono orgânico do solo (COS) e de suas frações.

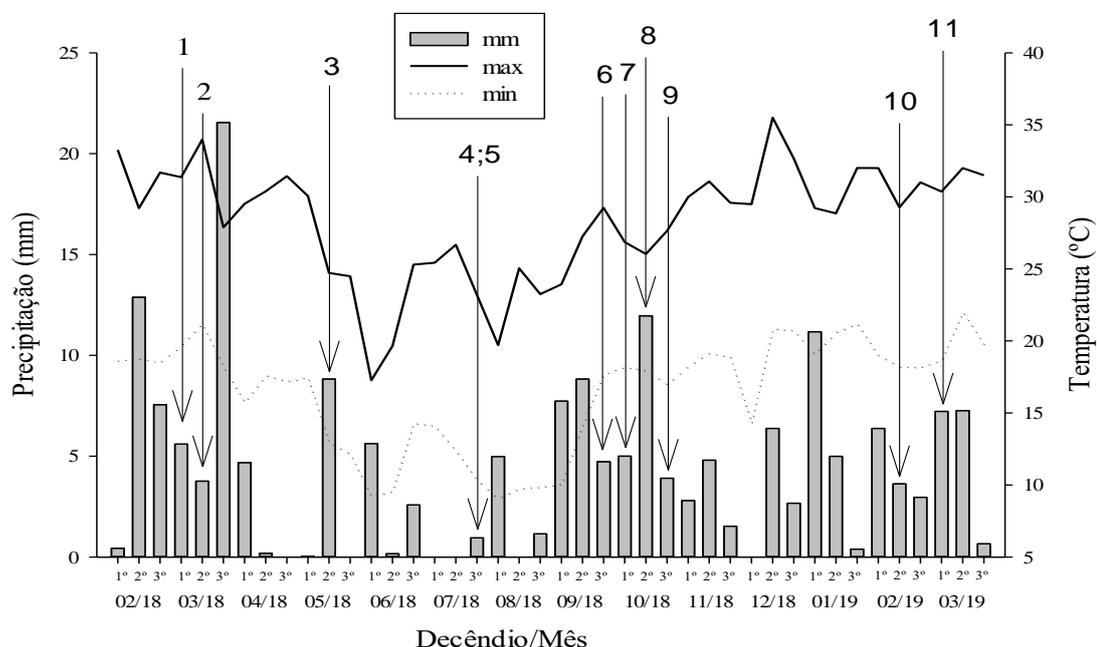
### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 Localização, delineamento, clima e solo do local de estudo

O experimento foi conduzido na estação experimental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, localizada em Entre Rios do Oeste – PR sob as coordenadas 24° 68' S e 54° 28' O e altitude de 244 m. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (SANTOS et al., 2018). De acordo com a classificação de Köppen, a região tem clima Cfa, subtropical mesotérmico húmido.

O experimento constituiu de um delineamento em blocos casualizados em parcelas subdivididas no tempo, com quatro repetições. As parcelas principais foram cinco manejos e as subparcelas duas épocas de amostragem. Os tratamentos consistiram em 5 manejos: T1 - nabo + aveia preta seguida de escarificação mecânica logo após a semeadura das plantas; T2 - nabo + aveia preta sem escarificação; T3 - milho segunda safra e escarificação logo após a colheita; T4 - milho segunda safra e trigo mourisco em sucessão sem escarificação; T5 - milho segunda safra sem escarificação (testemunha). As subparcelas consistiram em dois tempos de avaliação: outubro/2018 e março/2019. Em todos os tratamentos a soja foi a cultura em sucessão. Cada parcela possuía largura e comprimento de 12 x 12,5 m respectivamente.

Também foram coletados dados de precipitação média por decêndio e temperatura máxima e mínima por decêndio durante o experimento (Figura 1).



**Figura 1** – Precipitação, temperatura máxima e mínima por decêndio referente ao período de fevereiro de 2018 a março de 2019. 1 – primeira coleta de solo; 2 – semeadura do milho; 3 – semeadura de nabo forrageiro + aveia preta com e sem escarificação; 4 – colheita do milho, semeadura do trigo mourisco; 5 – escarificação após o milho; 6 – manejo das plantas de cobertura; 7 – cobertura do solo e produtividade de matéria seca; 8 – segunda coleta de solo; 9 – semeadura da soja; 10 – colheita da soja; 11 – terceira coleta de solo.

### 3.4.2 Condução e tratos culturais

Em março de 2018 foi semeado o milho híbrido DKB 330 PRO, a 0,5 m entre linhas e a 0,05 m de profundidade com 5 plantas por metro linear, e 185 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 10-15-15 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O). Em maio de 2018, foi semeado o nabo (IPR 116) e da aveia preta (variedade 139 BRS) utilizando 9 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de sementes, respectivamente. O espaçamento foi de a 0,17 m entre linhas e a profundidade de semeadura de 0,03 m, com adubação de 185 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 10-15-15.

O trigo mourisco (cultivar IPR 91) foi semeado no mês de julho, após a colheita do milho segunda safra, realizado com semeadora manual com roda Knapik®, a 0,02 m de profundidade, a um espaçamento de 0,35 m entre linhas na dosagem de 9 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. Não foi adicionado nenhum fertilizante.

Nos tratamentos que receberam escarificação esta foi realizada a uma profundidade de 0,30 m. Utilizou-se um escarificador SPDA com ponteiros de 0,075 m espaçadas a 0,37 m. Este modelo conta ainda com rolo destorroador/nivelador na parte de trás do equipamento e discos de corte em frente as hastes.

Após a colheita não foi realizado nenhum manejo dos restos culturais do milho. As parcelas contendo nabo + aveia preta foram manejadas com rolo-faca em 23 de setembro de 2018, seguido de dessecação com produto a base de glifosato na dose de 4 L ha<sup>-1</sup> em área total.

Aos 23 dias após a dessecação da área total a soja NA 5909 RG foi semeada com semeadora KUHN SDM 2227/29 a 0,5 m entre linhas e uma profundidade de 0,03 m, com adubação de 310 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 02-20-18.

### 3.4.3 Coleta e determinação de carbono orgânico total e seu fracionamento

Para a determinação dos teores de carbono orgânico total (COT) e do fracionamento do carbono, foram realizadas coletas deformadas de solo em duas épocas outubro de 2018 e março de 2019, em três profundidades (0,05-0,10 m, 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m). As amostras foram coletadas com auxílio de uma pá reta e uma régua. Coletou-se um monólito de solo e descartou-se as laterais mantendo a porção central da amostra.

Na sequência as amostras deformadas foram levadas para laboratório, secas ao ar, peneiradas em peneira de 2 mm, identificadas e armazenadas até a realização do fracionamento do carbono, conforme a metodologia adaptada de Benites et al., (2003). Esta metodologia

consiste na extração e separação das frações alcalinas solúveis (AH e AF) das frações insolúveis (humina), pela solução aquosa de  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  de NaOH, e separação das frações AH da AF por meio da adição de 1 mL da solução aquosa de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  a  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ .

A determinação do carbono na fração húmica foi baseada na digestão da amostra com 5 mL de dicromato de potássio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) a  $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ , com adição de 10 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $1 \text{ mol L}^{-1}$ ), usando erlenmeyers de 125 mL colocados sob placa aquecedora a  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  por 30 min, seguida de titulação por  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2,6\text{H}_2\text{O}$  a  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ . A determinação do carbono presente nas frações ácido fúlvico e ácido húmico foi determinada de forma similar, porém utilizando 5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 1 mL de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  a  $0,042 \text{ mol L}^{-1}$  e titulado com  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2,6\text{H}_2\text{O}$  a  $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ . As frações AH/AF e EA/HUM foram calculadas para caracterização das frações humificadas na matéria orgânica do solo.

A determinação da carbono orgânico total foi adaptada de Yeomans e Bremner, (1988), sendo semelhante à extração do carbono da humina, com uso de 7,5 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $1 \text{ mol L}^{-1}$ ) e 5 mL de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  ( $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ ) para digestão a  $170 \text{ }^\circ\text{C}$  por 30 min, e de  $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2,6\text{H}_2\text{O}$  para titulação. Todas as titulações foram realizadas com auxílio do indicador ferroin  $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ .

#### 3.4.4 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância considerando um nível de significância de 5% para o teste F. Quando significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico SISVAR 5,6 (FERREIRA, 2014).

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os manejos adotados e os tempos de coleta influenciaram nos teores de carbono orgânico total (COT) e carbono não humificado (CNH). Os teores médios de COT na área nas profundidades avaliadas (0,05-0,10; 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m) foi de  $18,75 \text{ g kg}^{-1}$ ;  $18,21 \text{ g kg}^{-1}$  e  $16,60 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente (Figura 2).

De maneira geral os maiores valores de COT foram observados antes da semeadura da soja, podendo estar relacionado à deposição e decomposição dos resíduos da cultura de outono/inverno na superfície pois, a coleta foi realizada 23 dias após o manejo destas culturas.

Entretanto, no decorrer do tempo este carbono sofreu decomposição e foi perdido, reduzindo em média 9% da primeira para a segunda coleta.

**Tabela 1** - Carbono orgânico total (COT) e carbono não humificado (CNH) ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de um Latossolo Vermelho Eutroférico, em diferentes tempos de coleta e profundidades, submetido a descompactação mecânica e biológica e rotação de culturas

Tratamento	0,05-0,10 m		0,05-0,10 m	
	COT $\text{g/kg}$		CNH $\text{g/kg}$	
	out/2018	mar/2019	out/2018	mar/2019
nab/av/esc	21,41 Aa	16,33 Ba	4,20 Aa	2,61 Bc
nab/av	18,72 Ab	17,13 Ba	1,68 Ba	4,54 Ab
milho/esc	19,94 Aab	17,74 Ba	3,59 Aa	1,99 Bc
mil/mou	19,57 Aab	18,06 Ba	2,13 Ba	6,13 Aa
milho	21,19 Aa	17,45 Ba	2,13 Bb	4,86 Ab
Média	20,16 A	17,34 B	2,75 B	4,03 A
CV (%)	10,67		28,14	

Tratamento	0,10-0,15 m		0,10-0,15 m	
	COT $\text{g/kg}$		CNH $\text{g/kg}$	
	out/2018	mar/2019	out/2018	mar/2019
nab/av/esc	19,23 Aa	17,86 Ba	2,39 Bb	5,21 Abc
nab/av	17,52 Ab	17,16 Aa	2,39 Bb	4,86 Ac
milho/esc	18,49 Aab	17,92 Aa	1,89 Bb	5,72 Abc
mil/mou	18,89 Aab	18,39 Aa	3,73 Ba	7,26 Aa
milho	18,69 Aab	17,92 Aa	2,57 Bab	6,43 Aab
Média	18,57 A	17,86 B	2,59 B	5,90 A
CV (%)	7,82		35,19	

Tratamento	0,15-0,20 m		0,15-0,20 m	
	COT $\text{g/kg}$		CNH $\text{g/kg}$	
	out/2018	mar/2019	out/2018	mar/2019
nab/av/esc	18,11 Aa	14,99 Bab	3,13 Bab	4,81 Ab
nab/av	17,75 Aa	16,60 Aa	3,88 Ba	6,91 Aa
milho/esc	17,85 Aa	16,25 Bab	2,40 Bbc	5,27 Ab
mil/mou	15,82 Ab	14,82 Ab	1,60 Bc	6,97 Aa
milho	17,61 Aa	16,25 Bab	3,77 Ba	6,55 Ab
Média	17,43 A	15,78 B	2,95 B	5,92 A
CV (%)	8,62		31,22	

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na profundidade não diferem entre si no tempo e minúscula nos manejos, ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. nab/av/esc – nabo + aveia preta seguida de escarificação após sua semeadura; nab/av – nabo + aveia preta sem escarificação; mil/esc – milho segunda safra e escarificação após a colheita; mil/mou - milho segunda safra e trigo mourisco após a colheita do milho; milho - milho segunda safra sem escarificação (controle).

O valor médio de COT, observado antes da implantação da soja foi de  $18,72 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo adequados ao desenvolvimento da maioria das culturas. Este resultado é semelhante aos valores comumente encontrados para Latossolos sob condição de mata nativa (BALDOTTO et al., 2015; BARROS et al., 2012; ROSSET et al., 2016; ROSSET; SCHIAVO; ATANÁZIO, 2014; ROSSI et al., 2011).

De acordo com Santos et al. (2013), ao compararem as partições das substâncias húmicas em diversos solos brasileiros encontraram para Latossolos o valor médio de 18,2 g kg<sup>-1</sup> para COT, resultado semelhante ao observado no presente trabalho.

Nas profundidades de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m a coleta realizada em outubro/2018 apresentou os maiores teores de COT para o manejo de nabo + aveia preta seguida de escarificação após sua semeadura, que diferiu significativamente ( $p < 0,05$ ) do nabo + aveia preta sem escarificação. Seus teores foram respectivamente de 21,41 e 18,72 g kg<sup>-1</sup>. Em média houve uma redução entre estes dois manejos de 12,56% e 7% no COT na respectiva profundidade (Tabela 1).

Este resultado pode estar relacionado com a incorporação realizada pelo escarificador dos restos culturais da soja/2017 que havia na área antes da implantação do experimento. No consórcio de aveia preta e nabo com escarificação mecânica houve aumento na atividade microbiana, resultando em maior decomposição dos resíduos orgânicos armazenando-os na forma de COT. Após a colheita da soja (março/2019), não houve diferença significativa para o COT nos manejos avaliados.

O COT na profundidade 0,15-0,20 m em outubro/2018 foi menor no manejo de milho segunda safra com sucessão de trigo mourisco que diferiu dos demais manejos (Tabela 1). Após o cultivo da soja este só diferiu estatisticamente do manejo de nabo + aveia preta sem escarificação, que apresentou 12% a mais de COT. O consórcio pode ter favorecido o desenvolvimento de raízes mais profundas e após sua decomposição ter contribuído para o aumento da COT.

Os valores observados para carbono orgânico total neste trabalho estão menores que os observados por Sá et al. (2015). Os autores, ao avaliarem o SPD com rotação de culturas em um Latossolo Vermelho em clima subtropical, encontraram valores de 44,3 e 32,1 g kg<sup>-1</sup> de COT, para as profundidades de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente. Ainda, ao avaliar o SPD com rotação de culturas em um Latossolo Vermelho-Amarelo em clima tropical, estes autores encontraram valores de 20,8 e 18,1 g kg<sup>-1</sup> de COT para as mesmas profundidades.

Os teores médios de CNH% foram menores na primeira avaliação realizada no mês de outubro (14,79%), enquanto no mês de março foi de 31,16%. Este resultado pode ser em função da temperatura uma vez que esta atua diretamente na atividade microbiana do solo e consequentemente atua na decomposição da MOS (BROQUEN et al., 2005). Maiores valores de carbono orgânico não humificado representam menor teor da fração substâncias húmicas, indicando uma menor evolução do carbono orgânico no solo (SILVA et al., 2013).

De acordo com Marques (2009) valores de CNH% em torno de 16% são considerados normais em Latossolos devido a seu alto grau de desenvolvimento, uma vez que a fração não humificada corresponde a uma fase transitória entre os resíduos das plantas, o carbono microbiano e os compostos orgânicos com alto grau de humificação

De acordo com Rodrigues et al. (2013) a fração de CNH ( $\text{g kg}^{-1}$  ou %) serve como indicadora da eficiência de cada sistema de manejo adotado, indicando a tendência de mudança da MOS muito antes de se observar mudanças nos teores de COT do solo. Ainda de acordo com estes autores, maiores valores de CNH representam uma menor eficiência do sistema de manejo.

Para o teor de carbono não humificado na profundidade de 0,05-0,10 m avaliado em outubro/2018, observou-se os maiores teores para área com nabo + aveia preta seguida de escarificação após sua semeadura, bem como para o milho com escarificação após sua colheita (Tabela 1). Em contrapartida estes tratamentos foram os que obtiveram o menor CNH na segunda amostragem (Tabela 1). A escarificação pode ter aumentado a atividade microbiana, resultando em um maior sequestro de carbono, que leva ao aumento no teor de carbono não humificado (REICOSKY; DUGAS; TORBERT, 1997).

Os manejos adotados e o tempo de coleta influenciaram os teores das frações ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HU). Os teores médios observados foram de  $2,54 \text{ g kg}^{-1}$ ;  $2,38 \text{ g kg}^{-1}$ ;  $8,88 \text{ g kg}^{-1}$  respectivamente (Tabela 1).

Em todas as profundidades, os maiores teores médios de AF foram encontrados na coleta realizada em outubro/2018 ( $2,79 \text{ g kg}^{-1}$ ). O AF reduziu em média 17,9% da primeira para a segunda coleta. No decorrer do tempo essa fração pode ser lixiviada, absorvida; ou então, ser transformada em AH, uma vez que esta fração é considerada a menos estável (CANELLAS et al., 2000) (Tabela 1). Estes resultados são inferiores aos observados por Bezerra et al., (2013), onde, ao testarem os efeitos de diferentes sistemas (integração lavoura pecuária, SPD e mata nativa) em Latossolo Vermelho encontraram teores médios de AF de  $6,49 \text{ g kg}^{-1}$ . Isso mostra que a fração AF apresenta diferentes comportamentos em função da temperatura, pluviosidade e relevo (CANELLAS et al., 2000).

Na avaliação de outubro/2018 o teor de AF nos diferentes manejos foi significativamente diferente apenas na profundidade de 0,05-0,10 m. O teor de AF na área com nabo + aveia preta com escarificação foi 17% maior do que na área com milho seguido de trigo mourisco. Enquanto na segunda época de coleta não houve diferença estatística entre os tratamentos.

**Tabela 2** - Ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de um Latossolo Vermelho Eutroférico, em diferentes tempos de coleta e profundidades, submetido a descompactação mecânica e biológica e rotação de culturas

Trat	0,05-0,10 m					
	AF $\text{g kg}^{-1}$		AH $\text{g kg}^{-1}$		Humina $\text{g kg}^{-1}$	
	out/2018	mar/2019	out/2018	mar/2019	out/2018	mar/2019
nab/av/esc	3,22 Aa	2,69 Ba	2,95 Aa	2,57 Ba	11,02 Ab	8,45 Bb
nab/av	3,04 Aab	2,42 Ba	2,75 Aa	2,63 Aa	11,22 Ab	7,53 Bb
milho/esc	2,85 Aab	2,59 Aa	2,94 Aa	2,41 Ba	10,54 Ab	10,72 Aa
mil/mou	2,74 Ab	2,48 Aa	2,85 Aa	2,45 Ba	11,83 Aab	6,98 Bb
milho	3,08 Aab	2,37 Ba	2,95 Aa	2,57 Ba	13,02 Aa	7,63 Bb
Média	2,99 A	2,51 B	2,89 A	2,53 B	11,53 A	8,26 B
CV (%)	18,82		17,82		18,45	
Trat	0,10-0,15 m					
	out/2018	mar/2019	out/2018	mar/2019	out/2018	mar/2019
	nab/av/esc	2,69 Aa	2,69 Aa	2,57 Aab	2,58 Aa	11,57 Aa
nab/av	2,84 Aa	2,27 Bb	2,28 Ab	2,22 Aa	10,00 Abc	7,80 Ba
milho/esc	2,95 Aa	2,21 Bb	2,65 Aab	2,43 Aa	10,98 Aab	7,58 Ba
mil/mou	2,85 Aa	2,31 Bab	2,86 Aa	2,22 Ba	9,44 Ac	6,58 Ba
milho	2,83 Aa	2,3 Bab	2,6 Aab	2,37 Aa	10,69 Aab	6,81 Ba
Média	2,83 A	2,36 B	2,59 A	2,36 B	10,53 A	7,23 B
CV (%)	20,99		28,32		17,35	
Trat	0,15-0,20 m					
	out/2018	mar/2019	out/2018	mar/2019	out/2018	mar/2019
	nab/av/esc	2,37 Aa	2,11 Aa	2,75 Aa	1,90 Ba	9,85 Aa
nab/av	2,63 Aa	2,07 Ba	1,47 Ac	1,56 Aa	9,77 Aa	6,04 Bab
milho/esc	2,77 Aa	2,29 Ba	2,57 Aab	1,92 Ba	10,15 Aa	6,76 Ba
mil/mou	2,43 Aa	1,62 Bb	2,32 Aab	1,43 Ba	9,46 Aa	4,70 Bb
milho	2,66 Aa	1,98 Bab	2,04 Ab	1,91 Aa	9,14 Aa	6,70 Ba
Média	2,57 A	2,01 B	2,23 A	1,74 B	9,66 A	6,08 B
CV (%)	21,18		23,02		21,70	

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha (e profundidade) e minúscula na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. T1 nab/av/esc – nabo + aveia preta seguida de escarificação após sua semeadura; T2 nab/av – nabo + aveia preta sem escarificação; T3 mil/esc – milho segunda safra e escarificação após a colheita; T4 mil/mou - milho segunda safra e trigo mourisco após a colheita do milho; T5 milho - milho segunda safra sem escarificação (controle).

Na profundidade de 0,10-0,15 m na avaliação de março/2019 o teor de AF no manejo de nabo + aveia preta com escarificação foi  $2,69 \text{ g kg}^{-1}$ , sendo maior do que no manejo de nabo + aveia preta e milho escarificado, com média de  $2,24 \text{ g kg}^{-1}$ . Estes maiores teores podem ter ocorrido em função da maior adição de matéria orgânica ao sistema causada pelo consórcio de nabo + aveia preta ( $8,55 \text{ t ha}^{-1}$ ) em comparação à produção de matéria seca da sucessão milho/trigo mourisco ( $4,35 \text{ t ha}^{-1}$ ), além do efeito da escarificação que aumenta a atividade

microbiana, mineralizando o carbono da matéria orgânica (REICOSKY; DUGAS; TORBERT, 1997).

De acordo com Rosa et al. (2017), maiores teores de AF no curto prazo estão relacionados a adição de matéria orgânica ao sistema uma vez que a humificação da MOS se inicia pela fração AF, seguido da AH e HUM.

Os teores médios de AH de 2,57 g kg<sup>-1</sup> observados neste experimento são inferiores aos teores observados por Wolschick et al. (2018) em um Cambissolo Húmico (6,0 g kg<sup>-1</sup>), cultivado no SPD a 27 anos. Enquanto, nos trabalhos realizados por Bezerra et al. (2013) encontraram valores médios de AH de 3,10 g kg<sup>-1</sup> na profundidade de 0,00-0,20 m, em Latossolo Vermelho sob ILP, SPD e mata nativa.

Para a fração AH na profundidade de 0,05-0,10 m não foram observadas diferenças entre os manejos, em ambos tempos de coleta. Enquanto, na profundidade de 0,10-0,15 m houve diferença para a primeira avaliação (outubro/2018). O manejo de milho sem escarificação seguido de trigo mourisco apresentou o maior teor de AH, em comparação ao nabo + aveia preta sem escarificação.

Na profundidade de 0,15-0,20 m o teor de AH na área com nabo + aveia preta com escarificação foi superior à área milho (testemunha) e nabo + aveia preta sem escarificação, causado pelo maior aporte de material orgânico (8,55 t ha<sup>-1</sup>), somado ao desenvolvimento radicular facilitado pela descompactação mecânica.

O teor médio de HUM foi superior em outubro/2018 (10,57 g kg<sup>-1</sup>), em comparação ao teor observado em março/2019 (7,19 g kg<sup>-1</sup>). Estes valores representam uma diminuição de 31,97% no teor de HUM no decorrer do tempo. Ou seja, a cultura da soja com altas produtividades e pouca adição de palhada, mantendo uma cobertura do solo em torno de 60% (ALVES; COGO; LEVIEN, 1998), não foi capaz de manter os teores de HUM no solo.

A diminuição no teor de humina com o passar do tempo pode estar relacionada ao aumento da fração CNH, ou seja, houve uma maior mineralização do carbono pela microbiota do solo, deixando-o indisponível para humificação. Esses teores foram inferiores aos encontrados por Bezerra et al. (2013); Rosset et al. (2016) e Santos et al. (2013) que observaram teores de HUM de 21,88, 12,37 e 54 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente para condição de Latossolo.

Tomasi et al. (2012) ao estudarem diferentes áreas, observaram valores médios de 0,95 g kg<sup>-1</sup> para a fração HUM na profundidade de 0,05-0,20 m para lavoura manejada a 40 anos sob sistema convencional de cultivo, 3,25 g kg<sup>-1</sup> para campo nativo, 1,45 g kg<sup>-1</sup> para floresta de pinus e 20,9 g kg<sup>-1</sup> para condição de mata nativa.

Ao avaliar os diferentes manejos observa-se na profundidade de 0,05-0,10 m que em outubro/2018, o teor de HUM no manejo milho sem escarificação (testemunha) foi de 13,02 g kg<sup>-1</sup>, sendo maior quando comparado aos manejos nabo + aveia preta com escarificação após a semeadura, nabo + aveia preta sem escarificação e milho seguido de escarificação após sua colheita. O maior tempo de permanência da cultura do milho influenciou no teor de HUM, uma vez que a semeadura do milho foi a primeira a ser realizada; o que permitiu maior estado de evolução dos compostos húmicos.

Em contrapartida para esta mesma profundidade na avaliação em março/2019, o maior teor de HUM foi observado no manejo milho seguido de escarificação após sua colheita, diferindo dos demais manejos ( $p < 0,05$ ). A incorporação dos restos culturais do milho por meio da escarificação, somada a mineralização mais lenta dos restos culturais do milho em função da sua alta relação C/N (66) contribuiu para este resultado (FERREIRA et al., 2016).

A maior média de HUM na profundidade de 0,10-0,15 m foi observada para o manejo nabo + aveia preta com escarificação após sua semeadura em outubro/2018 (11,57 g kg<sup>-1</sup>), a qual diferiu do manejo milho seguido de semeadura de trigo mourisco após sua colheita. A maior concentração de raízes nessa profundidade, somada a maior atividade microbiana em função da baixa relação C/N (17) do nabo + aveia preta aumentou o teor de HUM.

Para a fração HUM na profundidade de 0,15-0,20 m não foram observadas diferenças entre os manejos em outubro/2018. Em contrapartida, após a soja os manejos nabo + aveia preta seguido de escarificação após sua semeadura, milho com escarificação após sua colheita e milho sem escarificação apresentaram maiores médias, diferindo do manejo milho seguido de semeadura de trigo mourisco após sua colheita (Tabela 2). A incorporação dos restos culturais por meio da escarificação ou sua associação a descompactação biológica; além da maior evolução das frações húmicas no manejo com milho ter contribuído para o aumento da HUM. Não foram observadas diferenças entre os manejos para os teores de HUM em outubro/2019.

Rosset et al. (2016) avaliaram em Latossolo Vermelho Eutroférico um SPD implantado a 6, 14 e 22 anos, além de consórcio entre milho com braquiária e pastagem. Os autores encontraram para SPD implantado a 6 anos valores médios de 2,48 g kg<sup>-1</sup>, 1,71 g kg<sup>-1</sup> e 6,73 g kg<sup>-1</sup> para frações AF, AH e HUM respectivamente, na profundidade de 0,10-0,20 m..

Os manejos adotados e os tempos de coleta influenciaram nas relações AH/AF e EA/HUM. A relação média de AH/AF nas profundidades avaliadas foi de 0,92 e 0,97 em outubro/2018 e março/2019, respectivamente. Representando um aumento de 5,14% na relação no decorrer do tempo (Tabela 3). Tais resultados indicam que houve evolução do carbono orgânico com o tempo, onde houve predomínio da fração ácido húmico. Esta relação é

semelhante à encontrada por Tomasi et al. (2012) em Latossolo sob mata nativa (0,90), mostrando a evolução do sistema (Tabela 3).

**Tabela 3** - Relação AH/AF e EA/HUM de um Latossolo Vermelho Eutroférico, em diferentes períodos e profundidades, submetido a escarificação mecânica e biológica e rotação de culturas

Tratamento	0,05-0,10 m			
	AH/AF		EA/HUM	
	out/2018	mar/2019	out/2018	mar/2019
nab/av/esc	0,92 Aa	0,95 Aa	0,57 Aa	0,63 Aa
nab/av	0,91 Ba	1,10 Aa	0,52 Ba	0,67 Aa
milho/esc	1,06 Aa	0,95 Aa	0,57 Aa	0,48 Ab
mil/mou	1,06 Aa	1,01 Aa	0,47 Ba	0,71 Aa
milho	0,95 Aa	1,09 Aa	0,47 Ba	0,67 Aa
Média	0,98 A	1,02 A	0,52 B	0,63 A
CV (%)	26,60		25,08	
Tratamento	0,10-0,15 m			
	out/2018	mar/2019	out/2018	mar/2019
	nab/av/esc	0,95 Aa	0,98 Aa	0,45 Bb
nab/av	0,80 Ba	0,99 Aa	0,53 Aab	0,59 Aa
milho/esc	0,91 Ba	1,14 Aa	0,51 Bab	0,64 Aa
mil/mou	1,00 Aa	0,96 Aa	0,61 Ba	0,71 Aa
milho	0,92 Aa	1,04 Aa	0,51 Bab	0,69 Aa
Média	0,92 B	1,02 A	0,52 B	0,67 A
CV (%)	27,78		28,69	
Tratamento	0,15-0,20 m			
	out/2018	mar/2019	out/2018	mar/2019
	nab/av/esc	1,17 Aa	0,91 Ba	0,52 Ba
nab/av	0,56 Ac	0,75 Aa	0,42 Ba	0,61 Aa
milho/esc	0,96 Aab	0,88 Aa	0,53 Ba	0,66 Aa
mil/mou	0,96 Aab	0,92 Aa	0,51 Ba	0,67 Aa
milho	0,76 Bbc	0,98 Aa	0,51 Ba	0,65 Aa
Média	0,88 A	0,89 A	0,50 B	0,65 A
CV (%)	36,76		31,13	

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha (e profundidade) e minúscula na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. T1 nab/av/esc – nabo + aveia preta seguida de escarificação após sua semeadura; T2 nab/av – nabo + aveia preta sem escarificação; T3 mil/esc – milho segunda safra e escarificação após a colheita; T4 mil/mou - milho segunda safra e trigo mourisco após a colheita do milho; T5 milho - milho segunda safra sem escarificação (controle).

De acordo com Canellas et al. (2002) valores da relação AH/AF próximos a 1,00 demonstram a prevalência da fração ácido húmico sobre a fração ácido fúlvico, indicando maior qualidade da matéria orgânica do solo. De maneira semelhante, Rosa et al., (2017) encontraram

valores da relação AH/AF próximos a 1,00 indicam maiores valores de bases trocáveis, contribuindo para a fertilidade do solo.

Nas profundidades de 0,05-0,10 m e 0,10-0,15 m não houve diferença na relação AH/AF entre os manejos e tempo de coleta.

Na profundidade 0,15-0,20 m, na avaliação de outubro/2018 a relação AH/AF no manejo nabo + aveia preta seguido de escarificação após a semeadura foi superior ao manejo nabo + aveia preta sem escarificação. Entretanto, em março de 2019 obteve a menor relação.

A relação média de EA/HUM foi de 0,65 e após 150 dias houve um aumento médio de 21%, demonstrando que o sistema recebeu resíduo orgânico. Todavia, ainda não completou seu processo de decomposição e estabilização (Tabela 3). Enquanto Tomasi et al. (2012), ao avaliarem sistema plantio convencional, plantio direto e mata nativa encontraram uma relação média EA/HUM de 0,44 na profundidade 0,05-0,10 m e de 0,65 na profundidade 0,10-0,20 m para relação EA/HUM, sob mata nativa.

Na profundidade de 0,05-0,10 m foram observadas diferenças entre EA/HUM somente em março/2019. O manejo milho seguido de escarificação mecânica após sua colheita foi inferior aos demais ( $p < 0,05$ ), sendo um reflexo do maior teor de humina observado para esta mesma profundidade (Tabela 2). A maior humificação pode ser em função do teor de lignina do milho ( $70 \text{ g kg}^{-1}$ ) (PINTO et al., 2010) em comparação ao do nabo e aveia preta que é de  $92,1$  e  $66,5 \text{ g kg}^{-1}$  (AITA; GIACOMINI, 2003). De acordo com Campos et al. (2013) e Martins et al., (2009) a lignina é precursora dos compostos húmicos e baixas concentrações nos resíduos orgânicos estão diretamente relacionadas a menor relação EA/HUM.

Na profundidade de 0,10-0,15 m na avaliação de outubro/2018 a relação EA/HUM no manejo milho seguido de trigo mourisco após a sua colheita foi de 0,61, sendo maior quando comparado ao manejo nabo + aveia preta seguido de escarificação mecânica após a semeadura, com média de 0,45. Este resultado é reflexo do teor de humina observado para estes tratamentos nessas profundidades, onde o manejo milho seguido de trigo mourisco apresentou menor teor de humina ( $9,44 \text{ g kg}^{-1}$ ) em comparação ao nabo + aveia preta seguida de escarificação ( $11,57 \text{ g kg}^{-1}$ ).

Os resultados encontrados no presente trabalho para EA/HUM foram superiores aos observados por Rosa et al. (2017) somente em março/2019. Os autores ao testarem a rotação de culturas em um Latossolo Vermelho Eutroférico, encontraram valores médios de 0,57 para a relação EA/HUM após a colheita da soja. Em contrapartida, Campos et al. (2013) ao avaliarem um Latossolo Amarelo encontraram valores médios de EA/HUM de 1,25 e 1,16 para áreas de cerrado nativo, 1,70 e 1,27 para plantio convencional e 1,60 e 1,16 para plantio direto por três

anos para todas as áreas avaliadas, nas profundidades de 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m, respectivamente.

Na profundidade de 0,15-0,20 m somente foram observadas diferenças entre os tempos de avaliação, onde a coleta realizada em março/2019 apresentou média de 0,65 em comparação a avaliação realizada em outubro/2018 com média de 0,50. Em função da maior redução do teor de humina em comparação ao EA com o tempo.

### 3.6 CONCLUSÕES

No presente estudo houve reduções nos teores de COT, AF, AH e HUM após a primeira coleta em todas as profundidades avaliadas. Demonstrando que em regiões com altas temperaturas e precipitação há perda de carbono e de suas frações com o decorrer do tempo.

O carbono orgânico total na área com nabo consorciado com aveia na profundidade de 0,15-0,20 m com soja em sucessão foi maior do que na área com milho/trigo mourisco.

O manejo milho escarificado apresentou os maiores teores de humina na profundidade de 0,05-0,10 m e de 0,15-0,20 m com o decorrer do tempo.

### 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**, v. 27, n. 4, p. 601–612, 2003.

ALVES, A. G. .; COGO, N. .; LEVIEN, R. COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DA TRANSEÇÃO LINEAR E FOTOGRÁFICO NA AVALIAÇÃO DE COBERTURA VEGETAL MORTA, SOB DOIS MÉTODOS DE PREPARO, APÓS A COLHEITA DA SOJA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 491–496, 1998.

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, v. 61, p. 856–881, 2014.

BALDOTTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; DE OLIVEIRA SOUZA, D.; BALDOTTO, L. E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, v. 62, n. 3, p. 301–309, 2015.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. D. S.; NACIF, P. G. S.; et al. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1471–1478, 2008.

BARRETO, P. A. B.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; et al. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 81, n. 3, p. 213–220, 2011.

BARROS, K. R. M.; LIMA, H. V.; CANELLAS, L. P.; KERN, D. C. Fracionamento químico da matéria orgânica e caracterização física de Terra Preta de Índio. **Revista de Ciências**

**Agrárias**, v. 55, n. 1, p. 44–51, 2012.

BENITES, V. M.; MADAR, B.; MACHADO, P. L. O. D. A. Extração e Fracionamento Quantitativo de Substâncias Húmicas do Solo: um Procedimento Simplificado de Baixo Custo. **Embrapa**, v. 16, p. 1–7, 2003.

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: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 2637–2654, 2013.

BROQUEN, P.; LOBARTINI, J. C.; CANDAN, F.; FALBO, G. Allophane, aluminum, and organic matter accumulation across a bioclimatic sequence of volcanic ash soils of Argentina. **Geoderma**, v. 129, n. 3–4, p. 167–177, 2005.

CAMPOS, J. R. DA R.; SILVA, A. C.; VASCONCELLOS, L. L.; et al. Pedochronology and development of peat bog in the environmental protection area pau-de-fruta - Diamantina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1965–1975, 2010.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. DE F. Estoques e frações de carbono orgânico em latossolo amarelo submetido a diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 48, n. 3, p. 304–312, 2013.

CANELLAS, L. P.; BERNER, P. G.; DA SILVA, S. G.; E SILVA, M. B.; DE ARAÚJO SANTOS, G. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma toposeqüência no estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 133–143, 2000.

CANELLAS, L. P.; SPACCINI, R.; AGUIAR, N. D. O.; OLIVARES, F. L. Soil Organic Matter Quality From Soils Cropped by Traditional Peasants. **Sustainable Agriculture Research**, v. 3, n. 4, p. 63, 2014.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; RUMJANEK, V. M.; et al. Distribution of the humified fractions and characteristics of the humic acids of an ultisol under cultivation of eucalyptus and sugar cane. **Terra Latinoamericana**, v. 20, n. 4, p. 371–381, 2002.

CONCEIÇÃO, P. C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil and Tillage Research**, v. 129, p. 40–47, 2013.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; et al. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 85–93, 2009.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A.; FAGANELLO, A.; DENARDIN, N. D.; SANTI, A. Diretrizes do sistema plantio direto no contexto da agricultura conservacionista. **Embrapa Documentos online**, p. 39, 2012. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/trigo/busca-de-publicacoes/-/publicacao/969148/diretrizes-do-sistema-plantio-direto-no-contexto-da-agricultura-conservacionista>>. .

DU, Z.; REN, T.; HU, C.; ZHANG, Q. Transition from intensive tillage to no-till enhances carbon sequestration in microaggregates of surface soil in the North China Plain. **Soil and Tillage Research**, v. 146, n. PA, p. 26–31, 2015. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2014.08.012>>. .

EBELING, A. G.; HELENA, L.; PEREIRA, M. G.; SOUZA, G. Substâncias húmicas e suas relações com o grau de subsidência em Organossolos de diferentes ambientes de formação no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, p. 225–233, 2013.

- FABRIZZI, K. P.; RICE, C. W.; AMADO, T. J. C.; et al. Protection of soil organic C and N in temperate and tropical soils: Effect of native and agroecosystems. **Biogeochemistry**, v. 92, n. 1–2, p. 129–143, 2009.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109–112, 2014.
- FERREIRA, W. S.; BRAGA PEREIRA BRAZ, A. J.; ASSIS, R. L. DE; et al. Cultivo Do Milho E Da Soja Em Sucessão As Culturas De Safrinha Em Rio Verde-Go. **Energia Na Agricultura**, v. 31, n. 3, p. 291, 2016.
- FONTANA, A.; DA SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; et al. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 545–550, 2011.
- GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A. DOS; SILVA, L. S. DA; CAMARGO, F. A. DE O. Macromoléculas e substâncias húmicas. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2<sup>o</sup> ed, p.19–25, 2008. Porto Alegre.
- JUNIOR, G. DE F. S.; CORÁ, J. E.; LAL, R. Physical quality of an Oxisol under no-tillage subjected to different cropping systems. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1568–1574, 2016.
- MARQUES, F. A. **Matéria orgânica de Latossolos com horizonte A húmico**, 2010. Universidade de São Paulo.
- MARTINS, E. DE L.; CORINGA, J. DO E. S.; WEBER, O. L. DOS S. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico - LVAd sob diferentes agrossistemas. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 3, p. 655–660, 2009.
- MORAES, G. M. DE; XAVIER, F. A. DA S.; MENDONÇA, E. DE S.; ARAÚJO FILHO, J. A. DE; OLIVEIRA, T. S. DE. Chemical and structural characterization of soil humic substances under agroforestry and conventional systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 1597–1608, 2011.
- DO NASCIMENTO, P. C.; LANI, J. L.; MENDONÇA, E. DE S.; ZOFFOLI, H. J. DE O.; PEIXOTO, H. T. M. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do espírito santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 339–348, 2010.
- NUNES, M. R.; DENARDIN, J. E.; PAULETTO, E. A.; FAGANELLO, A.; PINTO, L. F. S. Effect of soil chiseling on soil structure and root growth for a clayey soil under no-tillage. **Geoderma**, v. 259–260, p. 149–155, 2015. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.003>>. .
- PICCOLO, A. Carbon Sequestration in Agricultural Soils. **Springer-Verlag**, p. 261–290, 2012.
- PINTO, A. P.; COGO LANÇANOVA, J. A.; LUGÃO, S. M. B.; et al. Avaliação de doze cultivares de milho (*Zea mays* L.) para silagem. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 1071–1078, 2010.
- RAHMATI, M.; ESKANDARI, I.; KOUSELOU, M.; et al. Changes in soil organic carbon fractions and residence time five years after implementing conventional and conservation tillage practices. **Soil and Tillage Research**, v. 200, n. January, p. 104632, 2020. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104632>>. .
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G. Frações

oxidáveis do carbono orgânico de latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 429–437, 2008.

REICOSKY, D. C.; DUGAS, W. A.; TORBERT, H. A. Tillage-induced soil carbon dioxide loss from different cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v. 41, n. 1–2, p. 105–118, 1997.

RIBEIRO, P. H.; SANTOS, J. V. V. M.; COSER, S. M.; NOGUEIRA, N. O.; MARTINS, C. A. DA S. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável**, v. 6, n. 1, p. 43–50, 2011.

RODRIGUES, A. R.; COUTINHO, J.; MADEIRA, M. As práticas de gestão e a qualidade do solo em pomares de pereira Rocha. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 238–249, 2013.

ROSA, D. M.; NÓBREGA, L. H. P.; MAULI, M. M.; DE LIMA, G. P.; PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 48, n. 2, p. 221–230, 2017.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C. Phosphorus and potassium budget in the soil–plant system in crop rotations under no-till. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 127–133, 2013. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.08.003>>. .

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

ROSSET, J. S.; SCHIAVO, J. A.; ATANÁZIO, R. A. R. Atributos químicos, estoque de carbono orgânico total e das frações humificadas da matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de manejo de cana-de-açúcar. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 5, p. 2351–2366, 2014.

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, n. 3, p. 622–630, 2011.

SÁ, J. C. DE M.; SÉGUY, L.; TIVET, F.; et al. Carbon Depletion by Plowing and its Restoration by No-Till Cropping Systems in Oxisols of Subtropical and Tropical Agro-Ecoregions in Brazil. **Land Degradation and Development**, v. 26, n. 6, p. 531–543, 2015.

SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5<sup>o</sup> ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018.

SANTOS, I. L. DOS; CAIXETA, C. F.; SOUSA, A. A. T. C. DE; et al. Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an oxisol under no-tillage in the cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1874–1881, 2014.

SANTOS, L. L. DOS; LACERDA, J. J. J.; ZINN, Y. L. Partição de substâncias húmicas em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 4, p. 955–968, 2013.

SILVA, J. R.; SILVA, D. J.; GAVA, C. A. T.; FREITAS, M. DO S. C. DE; PAIVA, J. R. G. DE. Percentual de frações húmicas e não húmicas da matéria orgânica em um Argissolo Amarelo Eutrófico no Semiárido nordestino. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, p. 2009–2013, 2013.

TOMASI, C. A.; INDA, A. V.; DICK, D. P. Substâncias húmicas em Latossolo subtropical de altitude sob usos e manejos distintos. **Ciencia Rural**, v. 42, n. 12, p. 2180–2184, 2012.

VELOSO, M. G.; CECAGNO, D.; BAYER, C. Legume cover crops under no-tillage favor organomineral association in microaggregates and soil C accumulation. **Soil and Tillage Research**, v. 190, n. February, p. 139–146, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.still.2019.03.003>>. .

WOLSCHICK, N. H.; BARBOSA, F. T.; BERTOL, I.; BAGIO, B.; KAUFMANN, D. S. Long-Term Effect of Soil Use and Management on Organic Carbon and Aggregate Stability. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, n. 0, p. 1–13, 2018.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil1. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, n. 13, p. 1467–1476, 1988.

ZOTARELLI, L.; ZATORRE, N. P.; BODDEY, R. M.; et al. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crops Research**, v. 132, p. 185–195, 2012. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.12.013>>. .

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A escarificação mecânica é uma ferramenta que o produtor pode utilizar quando se depara com situações de compactação do solo e quando este não vem realizando a implantação correta do sistema plantio direto. Alguns consideram que a escarificação mecânica auxilia no desenvolvimento radicular das culturas e que, em uma condição de estresse hídrico, isso beneficiará a produtividade final, entretanto isso não foi observado no presente trabalho.

A implantação do experimento por um ano em uma área com SPD consolidado, pode não ter sido suficiente para causar melhorias nas propriedades físicas e nos teores de humina, ácido fúlvico e carbono orgânico total, sendo que, conforme observado por alguns autores, seria necessário pelo menos dois anos para que se observem melhorias nessas propriedades e na produtividade da cultura comercial.

A relação EA/HUM [Extrato alcalino (AF+AH)/Humina] auxilia no processo de interpretação dos dados, entretanto, seus resultados devem ser contrastados com os reais teores que levaram aos valores obtidos.