

## Frações químicas da matéria orgânica do solo em função do cultivo de plantas de cobertura e soja em sucessão

### Chemical fractions of soil organic matter as a function of the cultivation of cover crops and soybeans in succession

Luane Laíse Oliveira Ribeiro<sup>1\*</sup>, Edleusa Pereira Seidel<sup>1</sup>, Renan Pan<sup>1</sup>, Letícia do Socorro Cunha<sup>1</sup>, Maria do Carmo Lana<sup>1</sup>, Paula Caroline Bejola<sup>1</sup>, Jandrei Matheus Stein<sup>1</sup>, Tiago Rafael Kunz<sup>1</sup>, Monica Carolina Sustakowski<sup>1</sup>, Marcos Cesar Mottin<sup>1</sup>

---

#### RESUMO

O objetivo do presente estudo foi avaliar o efeito do cultivo de plantas de cobertura e seu manejo nos teores de carbono orgânico total do solo e em suas frações húmicas: ácidos fúlvicos, húmicos e humina. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), em arranjo fatorial (5x2), subdividido no tempo, com quatro repetições, sendo constituído de cinco coberturas de solo: aveia preta, ervilhaca comum, nabo forrageiro, nabo+aveia e área em pousio; dois equipamentos para manejo das plantas de cobertura: rolo-faca e triturador de plantas; e dois períodos de coleta das amostras de solo: após o manejo das plantas de cobertura (Pós-PC) e após a colheita da soja (Pós-Soja). As coletas de solos foram efetuadas em 3 profundidades: 0-0,5 m, 0,5-0,10 m e 0,10-0,20 m. A ervilhaca foi a espécie que menos contribuiu para o carbono orgânico total do solo. Até 0,10 m maiores teores de humina foram observadas após o cultivo da soja, sendo que na camada de 5-10 o triturador reduziu o teor de humina. Houve redução no teor de COT após o manejo das plantas de cobertura. O uso de rolo-faca ou triturados pouco afetou o teor de COT e suas frações, com exceção no cultivo de aveia+nabo.

**Palavras-chave:** Cobertura do Solo; Manejo mecânico; Qualidade do solo.

---

#### ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate the effect of cover crop cultivation and its management on the total organic carbon content of the soil and its humic fractions: fulvic, humic and humin acids. The experimental design used was randomized blocks (DBC), in a factorial arrangement (5x2), subdivided in time, with four replications, consisting of five soil coverings: black oat, common vetch, forage radish, turnip+oat and area on fallow; two equipment for handling cover crops: knife roller and plant crusher; and two periods for collecting soil samples: after handling cover crops (Post-PC) and after harvesting soybeans (Post-Soybean). Soil collections were carried out at 3 depths: 0-0.5 m, 0.5-0.10 m and 0.10-0.20 m. Vetch was the species that contributed the least to total soil organic carbon. Up to 0.10 m higher levels of humin were observed after soybean cultivation, and in the 5-10 layer the shredder reduced the humin content. There was a reduction in the TOC content after handling cover crops. The use of knife-roller or shredded had little effect on TOC content and its fractions, with the exception of oat+turnip cultivation.

**Keywords:** Soil covering; Mechanical handling; Soil quality.

---

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon-PR/BR.

\*E-mail: luanelaiseifpa@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

Dentre os sistemas de cultivo utilizados na agricultura, o sistema de plantio direto (SPD) é o que garante a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e também o sucesso produtivo. O SPD reduz os impactos negativos sobre os recursos naturais, minimiza as perdas de solo e de carbono orgânico total (COT) (PEREIRA et al., 2013). Isso se dá devido à manutenção dos resíduos vegetais em superfície e à proteção física da matéria orgânica do solo (MOS) no interior dos agregados. Estes benefícios são influenciados pelo tipo de solo, clima e com o manejo realizado (SIX et al., 2004; SALTON et al., 2011).

A eficiência do SPD em manter o estoque de carbono orgânico do solo está relacionada ao manejo de culturas e um sistema de rotação de culturas que produza adequada quantidade de resíduos vegetais na superfície do solo durante todo o ano (CERETTA et al., 2002). Portanto, a utilização de plantas de cobertura antecedendo as culturas comerciais é um aspecto importante; pois, possibilita boa quantidade de palhada e o aumento dos teores de carbono no solo (SANTOS et al., 2012); favorecendo a consolidação do SPD ao longo dos anos de adoção deste sistema de cultivo (ANGHINONI, 2007).

Para avaliar a qualidade de um solo a MOS é um dos atributos mais utilizados; pois, ela permite detectar alterações nos teores de carbono orgânico e conseqüentemente, nos sistemas agrícolas (CAMPOS; ALVES, 2008). No solo, a matéria orgânica é todo material que contém carbono orgânico o que inclui resíduos vegetais e animais, microrganismos, biomassa microbiana, raízes e húmus (BERG; LASKOWSKI, 2006).

A MOS desempenha papel fundamental nas funções químicas, físicas e biológicas do solo. Portanto, sua avaliação permite detectar alterações no ambiente edáfico. As formas de carbono orgânico e as características químicas e físicas do solo estão estreitamente relacionadas e variam de acordo com o manejo aplicado (CARVALHO et al., 2010; BALDOTTO et al., 2010). Entretanto, alterações nos teores de matéria orgânica e conseqüentemente na qualidade do solo pela adição de material vegetal levam algum tempo para serem observados de maneira significativa; isso porque o processo de reestruturação e melhoria da qualidade do ambiente edáfico é bastante complexo, principalmente em solos mais intemperizados e com usos agrícolas mais intensos (BRONICK; LAL, 2005).

Após sua decomposição a MOS está dividida em substâncias não húmicas e húmicas (SH), sendo estas, diferenciadas por meio de sua solubilidade. As SH estão divididas em ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM). A fração humificada constitui aproximadamente 70 a 80% da MOS (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) e 85 a 90% do COT (GUERRA et al., 2008) e tem maior permanência no solo, onde sua principal função é atuar sobre as propriedades físicas e químicas do solo, além de ser importante no sequestro de C atmosférico (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Os AF são os compostos de maior solubilidade por apresentarem maior polaridade e menor tamanho e massa molecular, sendo os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo. São constituídos por polissacarídeos, aminoácidos e compostos fenólicos, sendo mais reativos do que as outras duas frações (AH e HUM) (SILVA; MENDONÇA, 2007; PFLEGER; CASSOL; MAFRA, 2017).

Os AH apresentam pouca solubilidade em solos tropicais devido à acidez encontrada e por isso, seu teor é menor que os teores de AF. São responsáveis pela maior capacidade de troca catiônica (CTC) de origem orgânica nas camadas superficiais do solo (BENITES; MADARI, MACHADO, 2003).

A HUM apesar de apresentar baixa reatividade é responsável pela agregação das partículas minerais do solo e, na maioria dos solos tropicais, representa boa parte do C humificado do solo (BENITES; MADARI, MACHADO, 2003). A HUM é a fração do C que está mais intimamente associada aos coloides minerais do solo (CANELLAS et al., 2000; LI et al., 2015). A predominância da fração HUM, em relação às demais SHs, deve-se às suas características de alta massa molecular e à forte interação com a fração mineral do solo, conferindo resistência à degradação microbiana (EBELING et al., 2011).

Em algumas situações, não é possível identificar o impacto do manejo do solo somente com análise da variação dos teores de COT (BARRETO et al., 2011). Neste caso, é importante que se conheça a forma de distribuição dos diferentes compartimentos que compõem a MOS, como o carbono (C) das frações húmicas para que esses atributos possam ser utilizados como indicadores de qualidade do solo ao longo do tempo de cultivo (BARRETO et al., 2011; BEZERRA et al., 2013).

A avaliação da dinâmica da MOS em sistemas de produção por meio do fracionamento químico, auxilia no estabelecimento de estratégias de recomendação de uso e de manejo que garantam incremento no conteúdo de MOS e que possam, reduzir o impacto da agricultura sobre o ambiente. Seu fracionamento ajuda verificar o potencial

de captura e armazenamento de C nos diferentes sistemas, contribuindo para a qualidade do solo ao longo do tempo de cultivo (LOSS et al., 2011; ROSSI et al., 2011; JHA et al., 2017).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do cultivo de plantas de cobertura e seu manejo nos teores de carbono orgânico total do solo e em suas frações húmicas: ácidos fúlvicos, húmicos e humina.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2018, na Estação Experimental Professor Alcibíades Luiz Orlando situada no município de Entre Rios do Oeste-PR, pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná - *Campus* Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE/MCR). As coordenadas geográficas são 24°40'32,66" de latitude Sul e 54°16'50,46" de longitude Oeste, e uma altitude de 244 m.

Conforme a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com verões quentes, temperaturas médias superiores a 22 °C e invernos com temperaturas médias e inferiores a 18 °C e uma precipitação pluviométrica média anual de 1600-1800 milímetros (CAVIGLIONE et al., 2000).

O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico (LVef), textura muito argilosa, com relevo suave ondulado (SANTOS et al., 2013). Previamente à implantação do experimento, foram realizadas coletas de solo nas profundidades 0,00-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m para caracterização química e granulométrica da área. Os resultados encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1-** Características químicas e granulométricas do solo nas camadas de 0,00 a 0,30 m, antes da implantação do experimento.

Profundidades	P	MO	pH	H+Al	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	SB	CTC
m	Mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	CaCl <sub>2</sub>	-----Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						
0,00-0,05	33,98	35,54	5,23	4,11	0,00	0,52	5,26	2,22	8,00	12,11
0,05-0,10	23,44	31,44	5,00	5,35	0,05	0,36	4,24	1,98	6,57	11,92
0,10-0,20	29,33	28,71	5,93	2,83	0,00	0,54	3,69	1,77	6,00	8,83
0,20-0,30	6,86	23,24	5,19	3,52	0,00	0,31	3,92	1,77	6,00	9,52
Profundidades	V	Argila			Silte			Areia		
m	%	-----g kg <sup>-1</sup> -----								
0,00-0,05	66,07	766,4			160,74			72,86		

0,05-0,10	55,14	649,6	299,06	51,34
0,10-0,20	67,95	782,8	149,58	67,62
0,20-0,30	63,02	816,4	123,94	59,66

P e K<sup>+</sup> – Extrator Mehlich; Al<sup>+3</sup>, Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> – Extrator KCL 1 mol L<sup>-1</sup>; H+A-pH SMP (7,5).

### **Delineamento, implantação e condução do experimento**

Para avaliação do fracionamento químico da matéria orgânica, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), em arranjo fatorial (5x2), subdividido no tempo, com quatro repetições, sendo constituído de cinco coberturas de solo: uma da família *Poaceae* (aveia preta- *Avena strigosa* S.), uma da família *Fabaceae* (ervilhaca comum- *Vicia sativa* L.), uma da família *Brassicaceae* (nabo forrageiro- *Raphanus sativus* L.), consórcio da família *Poaceae* + *Brassicaceae* (nabo+aveia) e área em pousio; dois sistemas de manejo das plantas de cobertura: rolo-faca e triturador; e dois períodos de coleta das amostras de solo: após o manejo das plantas de cobertura (Pós-PC) e após a colheita da soja (Pós-Soja).

A implantação das culturas de inverno foi realizada mecanicamente com uma semeadora múltipla de parcela da linha SEMEATO, modelo SHM 11/13, no dia 24 de maio de 2018. Utilizou-se 60 kg ha<sup>-1</sup> de aveia preta BRS 139; 60 kg ha<sup>-1</sup> ervilhaca comum; 9 kg ha<sup>-1</sup> de nabo forrageiro IPR 116; 4 e 30 kg ha<sup>-1</sup> de nabo+aveia respectivamente. Aplicou-se 186 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 10-15-15 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O). O espaçamento entre linhas foi de 0,50 m para ervilhaca comum e nabo forrageiro e 0,17 m para aveia preta solteira e aveia+nabo.

Em relação aos tratos fitossanitários, não houve necessidade de aplicação de herbicidas, inseticidas e/ou fungicidas. Após 120 dias da semeadura as plantas de cobertura foram manejadas com triturador modelo Triton 1.800, largura de corte 1,8 m, com 24 facas, peso de 795 kg e rolo-faca modelo Kohler nº 08/4753, número de facas 10, distância entre facas de 0,25 m, largura de trabalho de 2,02 m.

A semeadura da soja foi realizada de forma mecânica em sistema de semeadura direta no dia 16 de outubro de 2018, cerca de um mês após o manejo das plantas de cobertura. Foi utilizado a cultivar NIDERA (NA) 5909 RG, com espaçamento de 0,50 m entre linhas, sendo distribuídas aproximadamente 14 sementes/metro linear. A cultivar apresenta hábito de crescimento indeterminado com ciclo médio de 92 a 116 dias (precoce), floração em 32 a 44 dias e grupo de maturação 5.9.

Para a adubação de base, utilizou-se 310 kg ha<sup>-1</sup> do formulado comercial 02-20-18 (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O) + 8% Ca e 4% de S, 0,3% de óleo Berg.

Durante o desenvolvimento da cultura, houve o aparecimento de inseto pragas como lagarta da soja (*Anticarsia gemmatalis*), falsa medideira (*Pseudoplusia includens*), percevejo marrom (*Euschistus heros*) e vaquinha verde amarela (*Diabrotica speciosa*) e seu controle foi realizado conforme recomendações técnicas para a cultura.

### Coletas de solo e análises laboratoriais

As coletas de solo foram realizadas em dois períodos: 20 dias após o manejo mecânico das plantas de cobertura e 12 dias após a colheita da soja. Com o auxílio de uma pá de corte foram efetuadas 3 amostras simples por parcela para formar uma composta nas profundidades de 0,00-0,05 m, 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e transportadas ao laboratório.

As análises foram realizadas nos Laboratórios de Física do Solo e de Fertilidade e Nutrição Mineral de Plantas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, *Campus* de Marechal Cândido Rondon. A determinação do COT do solo foi realizada através da metodologia adaptada de Yeomans e Bremner (1988). O fracionamento químico da MOS foi realizado seguindo a técnica de solubilidade diferencial estabelecida pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas (SWIFT, 1996), conforme adaptações de (BENITES; MADARI, MACHADO, 2003). Assim, foram quantificados os teores de C orgânico das frações de AF, AH e HUM, mediante a oxidação do carbono por dicromato de potássio em meio sulfúrico sob aquecimento e, titulação com sulfato ferroso amoniacal. Em seguida, foram calculadas as relações entre os teores de carbono das frações ácido húmico e ácido fúlvico -AH/AF (indica a mobilidade do carbono no solo e o grau de humificação), a relação entre as frações solúveis do extrato alcalino e o teor de C na fração humina- EA/HUM (indica a iluviação de matéria orgânica no perfil do solo), e o EA (carbono do extrato alcalino): EA=AF+AH.

Para a determinação dos teores de carbono orgânico das substâncias húmicas do solo, primeiramente pesou-se a massa de 1,0 g de solo, o qual foi colocado em tubos de centrifuga de 50 ml. As amostras foram tratadas com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> (20 ml), agitadas manualmente por 1 minuto e deixadas em repouso por 24 h. Após o período de repouso, efetuou-se a separação do EA da HUM por meio da centrifugação a 3.000 rpm por 30 minutos e então recolheu-se o sobrenadante em tubos numerados. Em seguida reservou-

se o EA, e adicionou-se mais 20 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> na fração HUM e agitou-se até a ressuspensão total do material precipitado, deixando em repouso por uma hora, sendo posteriormente a amostra centrifugada novamente a 3.000 rpm por 30 minutos; o sobrenadante foi recolhido juntamente com o EA já reservado, que resultou em um volume final de aproximadamente 40 mL. A fração HUM foi retirada dos tubos de centrifugação e transferida para placas de petri e colocadas em estufa até a secagem completa a 50°C.

O pH do extrato alcalino foi ajustado para 1,0 0 (±0,1) pela adição da solução H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (20%) e deixado para decantar durante 18 h sob refrigeração. O material precipitado (AH) foi separado da fração solúvel (AF) por meio de centrifugação por 30 minutos. O AF foi reservado e seu volume completado 45 mL com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> e posteriormente aferido a 50 mL com água destilada. No AH adicionou-se NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> até o volume de 45 mL e agitou-se até completa solubilização, em seguida aferiu-se o volume a 50 mL com água destilada.

A determinação do C orgânico das frações AF e AH foi realizada através do uso de alíquotas de 5,0 mL do extrato, submetidas a 1,0 mL de dicromato de potássio 0,042 mol L<sup>-1</sup> e 5,0 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, posteriormente colocadas em bloco digestor a 150°C durante 30 minutos. Após o resfriamento, efetuou-se a adição de indicador ferroin e titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L<sup>-1</sup>. A fração HUM o C foi determinado usando a massa de 0,5 g, submetida a 5,0 mL de dicromato de potássio 0,1667 mol L<sup>-1</sup> e 10,0 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, posteriormente colocado em bloco digestor a 150°C por 30 minutos e após seu resfriamento, foi efetuado a adição de indicador ferroin e titulado com sulfato ferroso amoniacal 0,25 mol L<sup>-1</sup>.

Para a determinação do carbono orgânico total do solo, utilizou-se uma massa de solo de 0,2 g passada em peneira de 0,2 mm (60 mesh) submetida a 5 mL de dicromato de potássio 0,167 mol L<sup>-1</sup> e 7,5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado e posteriormente colocadas em bloco digestor a 170°C por 30 minutos. Após o resfriamento adicionou-se aproximadamente 50 mL de água destilada e indicador ferroin e efetuou-se a titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,2 mol L<sup>-1</sup>.

### **Análise estatística**

Os dados foram tabulados e submetidos à análise de variância considerando um nível de significância de 5 % para o teste F. Quando significativos, as médias foram



comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, utilizando o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi constatado interação tripla significativa ( $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ) entre os períodos de coleta de solo, plantas de cobertura e manejo para as variáveis COT, AF e AH (0,00-0,05 m), COT e AH (0,05-0,10 m) e AF e HUM (0,10-0,20 m). Os valores médios dos teores de carbono orgânico total e das frações húmicas da matéria orgânica do solo são apresentados na Tabela 2.

COT avaliado após o cultivo das plantas de cobertura (Pós-PC) até a profundidade de 0,10 m tiveram maiores teores quando manejadas com rolo-faca, exceto no tratamento com ervilhaca na profundidade de 0,05-0,10 m. Provavelmente, devido ao mecanismo de funcionamento deste equipamento que pode ter permitido maior contato com o solo da biomassa produzida aumentando sua decomposição.

Após-PC houve efeito das plantas de cobertura dentro do manejo com rolo-faca, e não houve diferença significativa no manejo com triturador. O consórcio de nabo+aveia até 0,10 m obteve os maiores teores de COT. Todavia, na profundidade de 0,05-0,10 m esta não diferiu do teor observado na área onde havia nabo. No consórcio houve maior produção de biomassa e o rolo-faca contribuiu para adição deste carbono até 0,10 m.

Os teores de COT após o cultivo da soja (Pós-Soja) para o manejo das plantas de cobertura diferiu significativamente entre si. Na área onde havia nabo+aveia (0,00-0,05 m) e pousio (0,05-0,10 m) quando manejadas com o triturador obtiveram os maiores teores de COT. O que pode ter contribuído para este resultado é que no manejo com triturador a matéria seca é reduzida de tamanho, e pode ter acelerado mais sua decomposição.

Ao avaliar COT nos dois períodos de coleta e manejos, observou-se que na profundidade de 0,00 até 0,10 m no período pós-soja, o nabo+aveia apresentou menor teor de COT quando manejada com rolo-faca; o que também foi observado na camada de 0,05-0,10 m, juntamente com o nabo e pousio.

Entretanto, no manejo com triturados observou diferenças significativas entre os períodos de coleta apenas na camada de 0,05-0,10 m. Os menores teores de COT foram no período pós-soja para os tratamentos nabo+aveia, nabo e ervilha.

Em um estudo realizado por Rosset et al. (2014), verificou-se na camada superficial que o consórcio de aveia+nabo forrageiro apresentou maiores teores de COT em relação



às plantas monocultivadas, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho. Resultados semelhantes foram obtidos por Salton et al. (2011) que também observaram maiores valores de COT na superfície do solo nos sistemas onde utilizou-se o SSD, fato esse relacionado com o maior aporte do material vegetal à superfície e ao não revolvimento do solo (BODDEY et al., 2010).

Anschau (2018) em seu trabalho verificou para COT maiores teores na camada mais superficial de avaliação (0,00-0,20 m), o que leva a maior retenção da umidade, melhor agregação do solo e maior retenção de cátions com o passar dos anos, características estas de grande importância quando se trata do cultivo de sistemas sustentáveis de produção (SOUZA; MELO, 2003).

**Tabela 2-** Teores médios ( $\text{g kg}^{-1}$ ) para carbono orgânico total (COT), e carbono das frações ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM) em solo sob cultivo de plantas de cobertura de inverno manejadas com implementos agrícolas, em diferentes camadas de avaliação.

0,00-0,05 m									
Período	Cobertura	COT		AF		AH		HUM	
		Manejo		Manejo		Manejo		Manejo	
		Rolo-faca	Triturador	Rolo-faca	Triturador	Rolo-faca	Triturador	Rolo-faca	Triturador
Pós-PC	Nabo+Aveia	23,57 Aaa	12,66 Baa	3,69 Aaa	3,21 Aaba	3,80 Aaa	3,06 Aaa	4,65 <sup>ns</sup>	5,25 <sup>ns</sup>
	Nabo	12,78 Aba	13,08 Aaa	3,94 Aaa	3,93 Aaa	3,44 Aaba	3,67 Aaa	5,98	6,29
	Aveia	14,48 Aba	12,93 Aaa	3,48 Aaa	2,90 Aba	2,56 Bca	3,30 Aaa	5,78	5,80
	Ervilhaca	16,57 Aba	16,01 Aaa	2,56 Aba	3,32 Aaba	2,80 Bbca	3,09 Aaa	6,80	5,26
	Pousio	14,96 Aba	12,93 Aaa	3,61 Aaa	2,67 Bba	2,94 Abca	2,93 Aaa	8,12	4,29
Pós-Soja	Nabo+Aveia	14,03 Baβ	17,14 Aaa	2,18 Aaa	2,19 Aaa	2,04 Aaβ	2,36 Aaββ	9,22 <sup>ns</sup>	9,47 <sup>ns</sup>
	Nabo	15,68 Aaa	14,27 Aaa	1,93 Aaa	1,81 Aaa	1,98 Aaβ	1,76 Abβ	6,69	12,61
	Aveia	15,92 Aaa	16,11 Aaa	2,06 Aaβ	1,71 Aaa	2,09 Aaa	2,38 Aaββ	10,47	9,25
	Ervilhaca	15,62 Aaa	15,62 Aaa	1,97 Aaa	2,03 Aaβ	2,29 Aaa	2,48 Aaββ	8,26	9,92
	Pousio	16,59 Aaa	15,86 Aaa	1,98 Aaβ	2,18 Aaa	1,77 Aaβ	2,73 Aaa	8,46	9,45
0,05-0,10 m									
Pós-PC	Nabo+Aveia	20,18 Aaa	14,78 Baa	3,4 <sup>ns</sup>	2,93 <sup>ns</sup>	4,04 Aaa	2,69 Baa	4,76 <sup>ns</sup>	4,25 <sup>ns</sup>
	Nabo	17,37 Aaba	14,60 Baa	3,44	3,44	3,11 Aba	3,14 Aaa	4,39	4,23
	Aveia	14,84 Aba	12,75 Baa	3,33	2,21	2,96 Aba	2,75 Aaa	9,39	4,19
	Ervilhaca	13,89 Bba	16,22 Aaa	2,34	2,94	2,71 Bba	3,08 Aaa	6,12	4,00
	Pousio	15,21 Aba	12,57 Baβ	3,63	2,64	2,96 Aba	2,68 Aaa	7,64	3,60
Pós-Soja	Nabo+Aveia	13,24 Aaβ	13,54 Aaβ	1,52 <sup>ns</sup>	1,91 <sup>ns</sup>	1,81 Baβ	2,61 Aaβ	10,58 <sup>ns</sup>	8,40 <sup>ns</sup>
	Nabo	13,54 Aaβ	11,95 Aaβ	1,84	2,00	2,18 Aaβ	2,03 Aaβ	9,15	9,85
	Aveia	14,64 Aaa	13,49 Aaa	1,70	1,34	1,71 Baβ	2,54 Aaa	6,74	8,52
	Ervilhaca	14,46 Aaa	12,59 Aaβ	1,62	1,82	2,10 Aaa	2,28 Aaβ	6,04	5,51
	Pousio	12,26 Baβ	15,26 Aaa	1,99	1,81	1,87 Baβ	2,63 Aaa	6,81	7,93
0,10-0,20 m									
Pós-PC	Nabo+Aveia	17,29 <sup>ns</sup>	13,63 <sup>ns</sup>	3,02 Aaba	2,67 Aaba	2,27 <sup>ns</sup>	2,38 <sup>ns</sup>	3,48 Aba	4,26 Aaβ
	Nabo	17,95	16,03	3,52 Aaa	3,20 Aaa	2,65	2,48	3,58 Abβ	3,56 Aaβ
	Aveia	14,72	12,75	2,78 Aaba	2,18 Aba	2,07	2,27	11,60 Aaa	3,54 Baa
	Ervilhaca	12,12	13,48	2,16 Aba	2,48 Aaba	2,05	2,25	4,28 Aba	3,06 Aaa
	Pousio	17,21	17,19	3,36 Aaa	2,10 Bba	1,82	1,52	6,19 Aba	2,62 Baβ

	Nabo+Aveia	11,53 <sup>ns</sup>	13,72 <sup>ns</sup>	1,47 Aab $\beta$	1,89 Aa $\alpha$	1,36 <sup>ns</sup>	1,86 <sup>ns</sup>	4,83 Bbca	7,02 Aa $\alpha$
Pós-Soja	Nabo	14,33	13,79	2,10 Aa $\beta$	1,86 Aa $\beta$	2,04	1,61	9,31 Aa $\alpha$	7,74 Ba $\alpha$
	Aveia	14,64	13,24	1,83 Aaba	1,12 Aa $\beta$	1,27	2,27	7,37 Aab $\beta$	4,87 Ba $\alpha$
	Ervilhaca	12,95	11,99	1,21 Ab $\alpha$	1,58 Aa $\alpha$	1,45	1,46	3,15 Aca	5,01 Aa $\alpha$
	Pousio	13,18	12,58	1,50 Aab $\beta$	1,81 Aa $\alpha$	1,87	1,90	4,38 Bbca	8,17 Aa $\alpha$

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para os manejo, minúscula para as coberturas na linha e gregas para os períodos na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro. Pós-PC: Pós Plantas de cobertura.

Para a fração AF no período Pós-PC foi verificado que o manejo com o rolo-faca realizado no pousio resultou em maiores valores de AF (3,61 e 3,36 g kg<sup>-1</sup>), tanto na camada de 0,00-0,05 m quanto na de 0,10-0,20 m quando comparado com o triturador. Em relação as coberturas, a que proporcionou menor AF foi a ervilhaca manejada com rolo-faca no Pós-PC (0,00-0,05 e 0,10-0,20 m) (2,56 e 2,16 g kg<sup>-1</sup>) e no Pós-Soja (0,10-0,20 m) (1,21 g kg<sup>-1</sup>).

Resultados semelhantes também foram obtidos por Anschau (2018), onde o tratamento com cultivo de ervilhaca foi o que obteve o menor teor (2,27 g kg<sup>-1</sup>). Já o nabo apresentou comportamento inverso obtendo as maiores média (2,32 e 3,2 g kg<sup>-1</sup>) no período Pós-PC, nas duas profundidades.

Entre os períodos, a aveia e o pousio manejados com rolo-faca apresentaram os maiores teores de AF (3,48 e 3,61 g kg<sup>-1</sup>), assim como a ervilhaca (3,32 g kg<sup>-1</sup>) com o triturador mostraram-se superiores no Pós-PC na camada de 0,00-0,05 m. Já na profundidade de 0,10-0,20 m, o consórcio nabo+aveia (3,02 g kg<sup>-1</sup>), nabo (3,52 g kg<sup>-1</sup>) e o pousio (3,36 g kg<sup>-1</sup>) manejados com rolo-faca e nabo (3,20 g kg<sup>-1</sup>) e aveia (2,18 g kg<sup>-1</sup>) manejado com o triturador apresentaram destaque em termos de valores no período Pós-PC na camada de 0,10-0,20 m.

Com isso, nota-se que os maiores teores de AF foram encontrados no período Pós-PC, evidenciando que logo após o manejo a decomposição de algumas espécies favoreceu a liberação de AF na camada superficial. A maior sensibilidade da fração AF está relacionada ao processo de estabilização da MO do solo, que começa com a formação de AF e segue em direção a AH e depois HUM. Assim, mudanças devido a adoção de diferentes sistemas de produção são esperadas na fração AF, já que reflete na primeira fase em direção à estabilização da matéria orgânica (ROSA et al., 2017).

Para fração AH, o manejo com o triturador realizado nas coberturas de solo aveia preta (3,30 g kg<sup>-1</sup>) e ervilhaca comum (3,09 g kg<sup>-1</sup>) no período Pós-PC (profundidade 0,00-0,05 m) e na grande maioria das plantas de cobertura no período pós-soja

(profundidade 0,05-0,10 m), apresentaram os maiores teores de AH. Já quando analisa-se a profundidade de 0,05-0,10 m, é possível verificar que o manejo realizado com o triturador na ervilhaca ( $3,08 \text{ g kg}^{-1}$ ) e o rolo-faca no consórcio ( $4,04 \text{ g kg}^{-1}$ ) no Pós-PC, obtiveram os maiores teores da fração AH.

A cobertura que se destacou em ambas as profundidades foi o consórcio de nabo+aveia ( $3,80$  e  $4,04 \text{ g kg}^{-1}$ ) manejado com rolo-faca no Pós-PC e o pousio ( $2,73 \text{ g kg}^{-1}$ ) manejado com o triturador no Pós-Soja (0,00-0,05 m).

Em relação aos períodos de coleta, as coberturas nabo+aveia ( $3,8$  e  $4,04 \text{ g kg}^{-1}$ ), nabo ( $3,44$  e  $3,11 \text{ g kg}^{-1}$ ) e o pousio ( $2,94$  e  $2,96 \text{ g kg}^{-1}$ ) manejados com rolo-faca apresentaram maiores teores de AH no Pós-PC quando comparado ao Pós-Soja nas duas profundidades. Comportamento semelhante ao observado nas coberturas manejadas com o triturador com exceção ao pousio que não apresentou diferença estatística entre os períodos nas camadas avaliadas.

De acordo com Canellas et al. (2003), os AH são considerados marcadores do processo de humificação e refletem, como tal, tanto a condição de gênese, como a de manejo do solo, estando relacionados a solos férteis com alto conteúdo de bases, responsável pela maior CTC de origem orgânica nas camadas superficiais (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003).

Na fração HUM na profundidade de 0,10-0,20 m, pode-se observar que houve diferença entre os manejos nos dois períodos avaliados. O rolo-faca quando realizado o manejo na aveia ( $11,60 \text{ g kg}^{-1}$ ) e pousio ( $6,19 \text{ g kg}^{-1}$ ) no Pós-PC apresentaram os maiores teores de HUM quando comparado ao triturador. Já este, quando submetido no consórcio de nabo+aveia ( $7,02 \text{ g kg}^{-1}$ ) e pousio ( $8,17 \text{ g kg}^{-1}$ ) e o rolo-faca manejado o nabo solteiro ( $9,31 \text{ g kg}^{-1}$ ) e aveia ( $7,37 \text{ g kg}^{-1}$ ) apresentaram os maiores teores de HUM. Dentre as coberturas, as que obtiveram melhores desempenhos em termos de média foram aveia ( $11,60 \text{ g kg}^{-1}$ -Pós-PC) e Nabo ( $9,31 \text{ g kg}^{-1}$ -Pós-Soja) manejados com o rolo-faca. Entre os períodos, a aveia ( $11,60 \text{ g kg}^{-1}$ -Pós-PC) foi superior ao Pós-Soja quando manejado com rolo-faca e neste período, o nabo ( $9,31 \text{ g kg}^{-1}$ ) apresentou maiores valores. No Pós-Soja o nabo+aveia ( $7,02 \text{ g kg}^{-1}$ ), nabo ( $7,74 \text{ g kg}^{-1}$ ) e pousio ( $8,17 \text{ g kg}^{-1}$ ) manejados com triturador que obtiveram os maiores valores de HUM.

De acordo com Rosset (2016), a fração HUM representa maior parte do COT do solo, portanto, é evidente que seu padrão seja semelhante ao observado para o COT. Assim, esse efeito pode estar relacionado com o acúmulo de compostos orgânicos com

elevada estabilidade química e peso molecular originados a partir da decomposição e humificação da MOS, uma vez que a fração HUM é uma fração de grande estabilidade (FONTANA et al., 2006), resistente a biodegradação devido a complexação com íons metálicos e argilo-húmicos estáveis (BARRETO et al., 2008; BENITES; MADRI; MACHADO, 2003); ou pelo fato das frações AH e AF serem menos estáveis, sendo submetidas à processos de polimerização e mineralização, com movimentação no perfil do solo (FONTANA et al., 2006), tendo sua decomposição diminuída (LEITE et al., 2003).

Apesar disso, Campos et al. (2013) avaliando sistema de semeadura direta por cinco e nove anos além do sistema convencional de cultivo, afirmam que no SSD os teores de carbono tornam-se maiores, e proporcionam um aumento da fração HU, decorrente principalmente da maior entrada de resíduos vegetais e menor perda por erosão do solo, proporcionada após o sistema estar estabelecido por maior período de tempo.

Foi verificado interação tripla significativa ( $p < 0,01$  e  $p < 0,05$ ) entre os períodos de coleta de solo, plantas de cobertura e manejo para as relações EA e EA/HUM (0,00-0,05; 0,0-5-0,10 m) e AH/AF (0,10-0,20 m) e EA/HUM (0,00-0,05; 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) (Tabela 3).

Quando analisado o comportamento do EA na profundidade de 0,05-0,10 m, foi constatado que o manejo realizado com o rolo-faca nas coberturas nabo+aveia ( $7,44 \text{ g kg}^{-1}$ ) e aveia solteira ( $6,29 \text{ g kg}^{-1}$ ) proporcionaram maiores teores de EA. Quando comparou-se as plantas de coberturas, foi constatado que aveia ( $6,04 \text{ g kg}^{-1}$ -0,00-0,05 m) e ervilhaca ( $5,36 \text{ g kg}^{-1}$ -0,00-0,05 e  $5,05 \text{ g kg}^{-1}$ -0,10-0,20 m) manejadas com rolo-faca no Pós-PC apresentaram menores teores de EA. Ao contrário do nabo ( $7,60 \text{ g kg}^{-1}$ -0,00-0,05 e  $6,57 \text{ g kg}^{-1}$ -0,10-0,20 m) que submetido ao triturador no Pós-PC e o pousio ( $4,91 \text{ g kg}^{-1}$ -0,00-0,05 m) no Pós-Soja, apresentou maiores valores da relação. Foi possível observar que a maioria das coberturas apresentaram melhores valores de EA quando submetidas ao rolo-faca e triturador no período Pós-PC, em ambas as profundidades.

O EA é bastante solúvel e a maior relação encontrada no consórcio de aveia+nabo em relação a ervilha forrageira pode relacionar-se ao fato do consorcio levar a decomposição rápida do nabo pela liberação de C proporcionada pela aveia, aumentando desta forma o EA (CAMPOS et al., 2013).

Para a relação AH/AF (0,10-0,20 m), houve diferença estatística apenas para o triturador manejado na aveia (1,24) no período Pós-Soja, influenciando a relação; ou seja,

na área onde havia aveia, o triturador promoveu maior decomposição e conseqüentemente maior AH/AF. Neste período, as coberturas ervilhaca (1,20) e o pousio (1,25) manejadas com o rolo-faca e a aveia (1,24) com o triturador apresentaram destaques com maiores valores de AH/AF. Sobre os períodos, a maioria das coberturas apresentaram melhor desempenho em manejados com ambos os implementos após 150 dias do manejo (Pós-Soja.)

Em solos tropicais, esta razão normalmente é inferior a 1,0, devido à menor intensidade do processo de humificação, condensação e síntese, causadas pela intensa mineralização dos resíduos, bem como ao baixo conteúdo de bases trocáveis e alta atividade biológica. Índice menor que 1 pode ser um indicativo da má evolução do processo de humificação da MOS; seja por razões edáficas, ou de manejo, ou adição recente de material no solo (CANELLAS et al., 2003).

A relação AH/AF pode ser considerada um indicador da qualidade do húmus (SOUSA et al., 2015), expressando o grau da evolução do processo de humificação da MOS, auxiliando no monitoramento dos sistemas de produção. Para que haja boa qualidade do solo é fundamental a adoção de sistemas de cultivo que promovam o aumento da relação AH/AF, resultando em melhorias na conservação do C do solo na forma mais condensada (LEITE et al., 2003).

**Tabela 3-** Extrato alcalino (EA), relação ácido húmico e ácido fúlvico (AH/AF), e relação extrato alcalino/humina (EA/HU) sob plantas de cobertura de inverno manejadas com implementos agrícolas, em diferentes camadas de avaliação.

		0,00-0,05 m					
		EA		AH/AF		EA/HUM	
Período	Cobertura	Manejo		Manejo		Manejo	
		Rolo-faca	Triturador	Rolo-faca	Triturador	Rolo-faca	Triturador
Pós-PC	Nabo+Aveia	7,49 Aaa	6,27 Aba	1,03 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	1,61 Aaa	1,19 Aaa
	Nabo	7,38 Aaa	7,60 Aaa	0,87	0,93	1,24 Aaba	1,21 Aaa
	Aveia	6,04 Aba	6,20 Aba	0,73	1,14	1,05 Aba	1,07 Aaa
	Ervilhaca	5,36 Aba	6,41 Aaba	1,09	0,93	0,79 Bba	1,22 Aaa
	Pousio	6,55 Aaba	5,60 Aba	0,81	1,10	0,81 Bba	1,31 Aaa
Pós-Soja	Nabo+Aveia	4,22 Aaβ	4,55 Aabβ	0,94 <sup>ns</sup>	1,08 <sup>ns</sup>	0,46 Aaβ	0,48 Aaβ
	Nabo	3,91 Aaβ	3,57 Abβ	1,03	0,97	0,58 Aaβ	0,28 Aaβ
	Aveia	4,15 Aaβ	4,09 Aabβ	1,01	1,39	0,40 Aaβ	0,44 Aaβ
	Ervilhaca	4,26 Aaa	4,51 Aabβ	1,16	1,20	0,52 Aaa	0,46 Aaβ
	Pousio	3,75 Aaβ	4,91 Aaa	0,89	1,25	0,44 Aaa	0,52 Aaβ
		0,05-0,10 m					
Pós-PC	Nabo+Aveia	7,44 Aaa	5,62 Baba	1,19 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	1,57 Aaa	1,32 Aaa
	Nabo	6,55 Aaa	6,57 Aaa	0,90	0,91	1,49 Aaa	1,55 Aaa

	Aveia	6,29 Aaa	4,96 Bba	0,89	1,24	0,67 Bba	1,18 Aaa
	Ervilhaca	5,05 Aba	6,02 Aaba	1,16	1,05	0,83 Bba	1,51 Aaa
	Pousio	6,59 Aaa	5,32 Aba	0,82	1,02	0,86 Bba	1,48 Aaa
Pós-Soja	Nabo+Aveia	3,33 Aaβ	4,52 Aaa	1,19 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>	0,31 Aaβ	0,54 Aaβ
	Nabo	4,02 Aaβ	4,03 Aaβ	1,18	1,02	0,44 Aaβ	0,41 Aaβ
	Aveia	3,41 Aaβ	3,87 Aaa	1,01	1,90	0,51 Aaa	0,45 Aaβ
	Ervilhaca	3,72 Aaβ	4,10 Aaβ	1,30	1,25	0,62 Aaa	0,74 Aaβ
	Pousio	3,86 Aaβ	4,45 Aaa	0,94	1,45	0,57 Aaa	0,56 Aaβ
0,10-0,20 m							
Pós-PC	Nabo+Aveia	5,29 <sup>ns</sup>	5,05 <sup>ns</sup>	0,75 Aaa	0,79 Aaβ	1,52 Aabα	1,19 Aaa
	Nabo	6,17	5,69	0,75 Aaa	0,70 Aaa	1,73 Aaa	1,60 Aaa
	Aveia	4,85	4,45	0,74 Aaa	0,82 Aaβ	0,42 Bca	1,26 Aaa
	Ervilhaca	4,21	4,74	0,95 Aaa	1,04 Aaa	0,99 Babca	1,55 Aaa
	Pousio	5,18	3,63	0,54 Aaβ	0,45 Aaβ	0,84 Bbcα	1,39 Aaa
Pós-Soja	Nabo+Aveia	2,83 <sup>ns</sup>	3,75 <sup>ns</sup>	0,93 Aabα	1,27 Abα	0,59 Aabβ	0,53 Aaβ
	Nabo	4,14	3,47	0,97 Aabα	0,77 Abα	0,45 Abβ	0,44 Aaβ
	Aveia	3,10	3,07	0,69 Bba	1,24 Aaa	0,42 Abα	0,63 Aaβ
	Ervilhaca	2,66	3,05	1,20 Aaa	1,21 Abα	0,84 Aaa	0,61 Aaβ
	Pousio	3,37	3,71	1,25 Aaa	1,27 Abα	0,77 Aabα	0,45 Aaβ

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula para os manejo, minúscula para as coberturas na linha e gregas para os períodos na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade de erro. Pós-PC: Pós Plantas de cobertura.

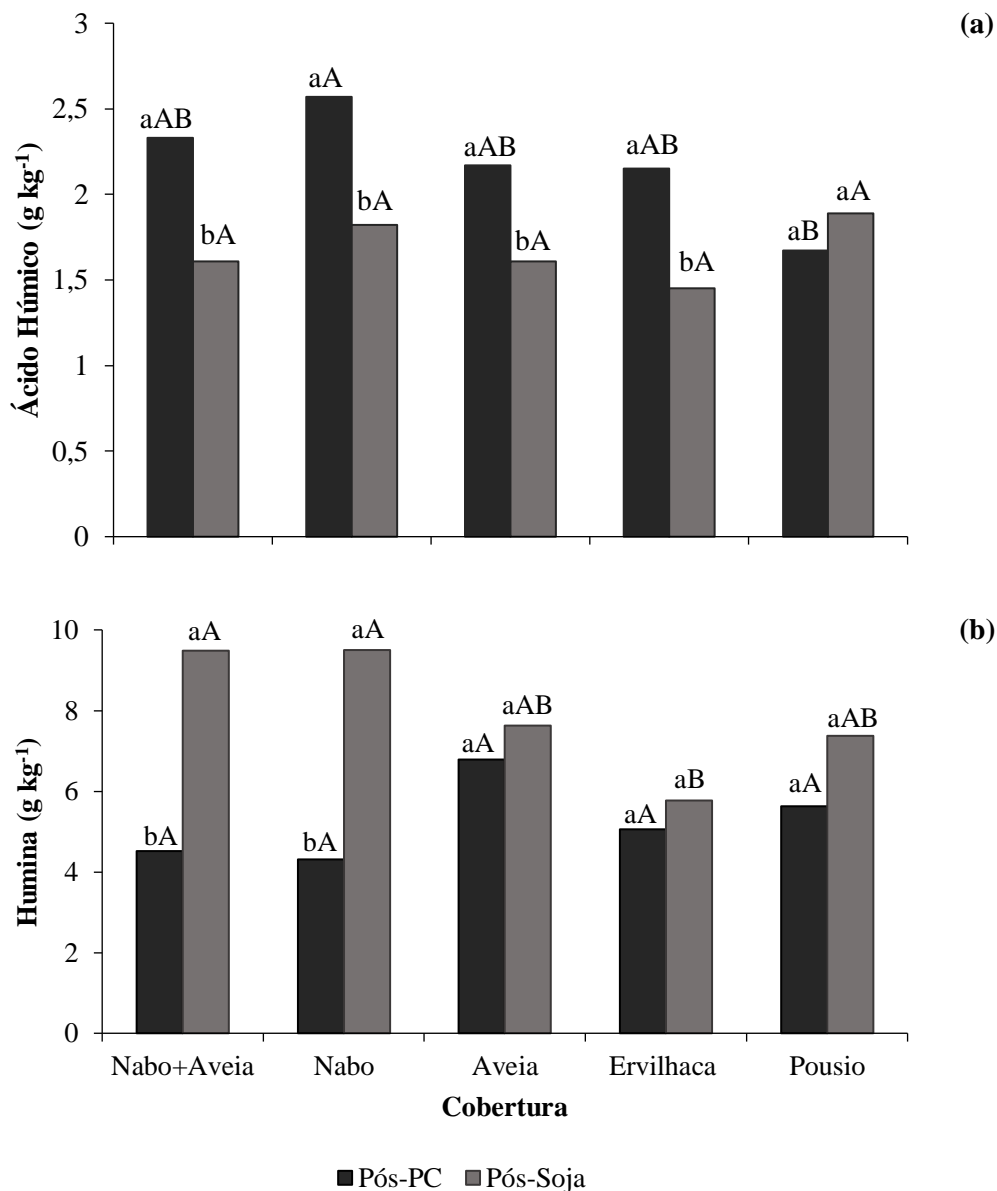
Para a relação EA/HUM, no período Pós-PC foi possível verificar que o manejo feito com triturador na aveia, ervilhaca e pousio apresentaram os maiores valores quando comparado com o rolo-faca para as três profundidades avaliadas. Quando foram analisadas as coberturas neste período, o consórcio nabo+aveia (1,61 e 1,57) (0,00-0,05 e 0,05-0,10 m), o nabo (1,49 e 1,73) (0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) manejados com o rolo-faca apresentaram os melhores teores da relação. Já no Pós-Soja, a cobertura que mais se destacou foi a ervilhaca (0,84) na camada de 0,10-0,20 m). Entre os períodos, é possível constatar que o maioria das coberturas manejados com os dois equipamentos apresentaram melhores valores de EA/HUM no período Pós-PC em relação ao Pós-Soja.

De forma geral, a predominância dos baixos valores de EA/HUM no Pós-Soja (<1,0), indicam predomínio da fração HUM sobre as frações AF e AH, devido à alta estabilidade entre a MOS e a matriz mineral, reflexo de menor grau de perturbação edáfica, modificações benéficas dessas ambientes pela adição de resíduos e ao favorecimento do processo de mineralização e estabilização da MOS (VALLADARES et al., 2011; MARTINS et al., 2015).

Foi verificado efeito significativo entre período e cobertura ( $p < 0,01$ ) para as frações AH (0,10-0,20 m) e HUM (0,05-0,10 m). De acordo com a Figura 1a, na camada de 0,10-0,20 m, observou-se que o período Pós-PC se destacou do Pós-Soja, para a maioria das

coberturas, com exceção ao pousio, onde a mesma não diferiu estatisticamente. Levando-se em consideração as plantas de coberturas, o nabo apresentou o maior valor da fração (2,57 g kg<sup>-1</sup>) e o pousio o menor (1,67 g kg<sup>-1</sup>) no Pós-PC.

**Figura 1-** Ácido húmico (0,10-0,20 m) (a) e Humina (0,05-0,10 m) (b) em função do período e cobertura, Marechal Cândido Rondon-PR.



Pós-PC: Pós Plantas de Cobertura. \*Letras minúsculas iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro para os períodos dentro de cada cobertura, assim como letras maiúsculas para coberturas dentro de cada período.

De acordo com Rosset (2016), os maiores teores e estoques de C-AH, especialmente na área de SPD são um indicativo da presença de C em frações com menor estabilidade, que se destacam em diversos processos do solo, como agregação e ciclagem de nutrientes.



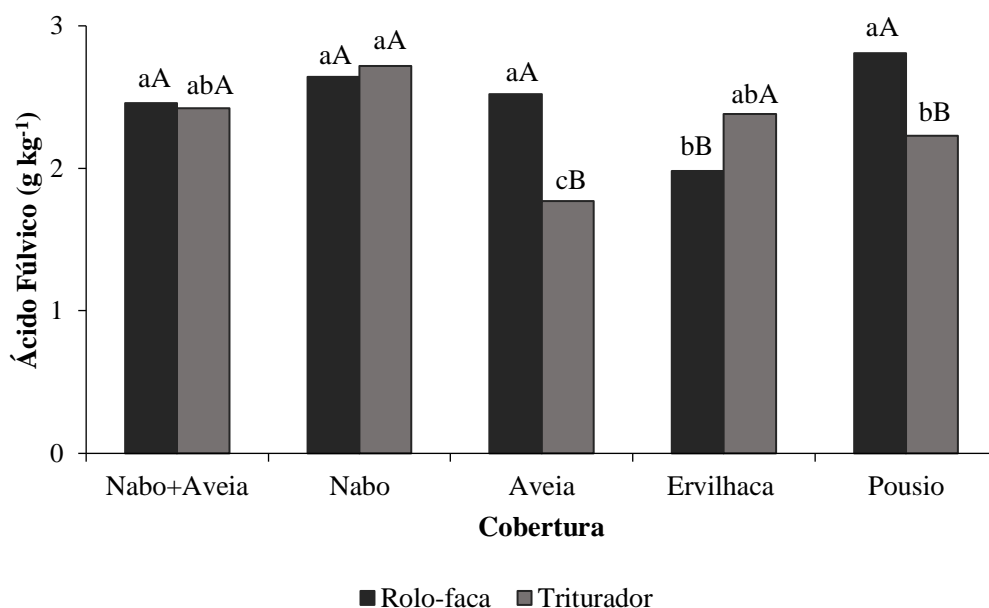
Na fração HUM (0,05-0,10 m), verificou-se que no Pós-Soja, o consórcio nabo+aveia (9,48 g kg<sup>-1</sup>) e nabo (9,50 g kg<sup>-1</sup>) apresentaram os maiores teores de HUM. Já os menores valores foram encontrados na ervilhaca (5,77 g kg<sup>-1</sup>) (Figura 1b).

Segundo Grinhut et al. (2007) e Barreto et al. (2008), a predominância da fração HUM tem relação a sua insolubilidade e resistência à biodegradação, favorecida pela formação de complexos argilo-húmicos estáveis e da composição mineralógica predominante do solo, LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico, que favorece as interações organominerais, aumentam a proteção dos grupos funcionais de fácil decomposição, tornando-os menos acessíveis aos microrganismos (SANTOS et al., 2013). Maiores teores e estoques de C-HUM indicam maior retenção de água, melhoria na agregação do solo (BENITES et al., 2003) e maior retenção de cátions (SOUZA; MELO, 2003).

Para a fração AF na camada de 0,05-0,10 m, observou-se que houve interação significativa entre cobertura e manejo ( $p < 0,01$ ) (Figura 2). Entre as coberturas, a ervilhaca diferiu-se estatisticamente das demais quando manejadas com o rolo-faca, apresentando o menor teor de AF (1,98 g kg<sup>-1</sup>). Porém, o nabo manejado com o triturador apresentou maior teor (2,72 g kg<sup>-1</sup>). A aveia e o pousio quando manejada com o rolo-faca apresentaram maiores teores de AF (2,52 g kg<sup>-1</sup> e 2,81 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente). A ervilhaca apresentou maior teor de AF (2,38 g kg<sup>-1</sup>) quando manejada com o triturador.

Segundo Rosset et al. (2016) a movimentação do solo é evidenciada principalmente para os AF, pois sua representatividade em comparação às frações húmicas é maior em profundidade. Pode-se dizer que o ácido fúlvico favorece as ligações com os metais, por exemplo, Al e Fe, facilitando a união de microagregados, formando os macroagregados e fazendo com que estes se tornem mais estáveis.

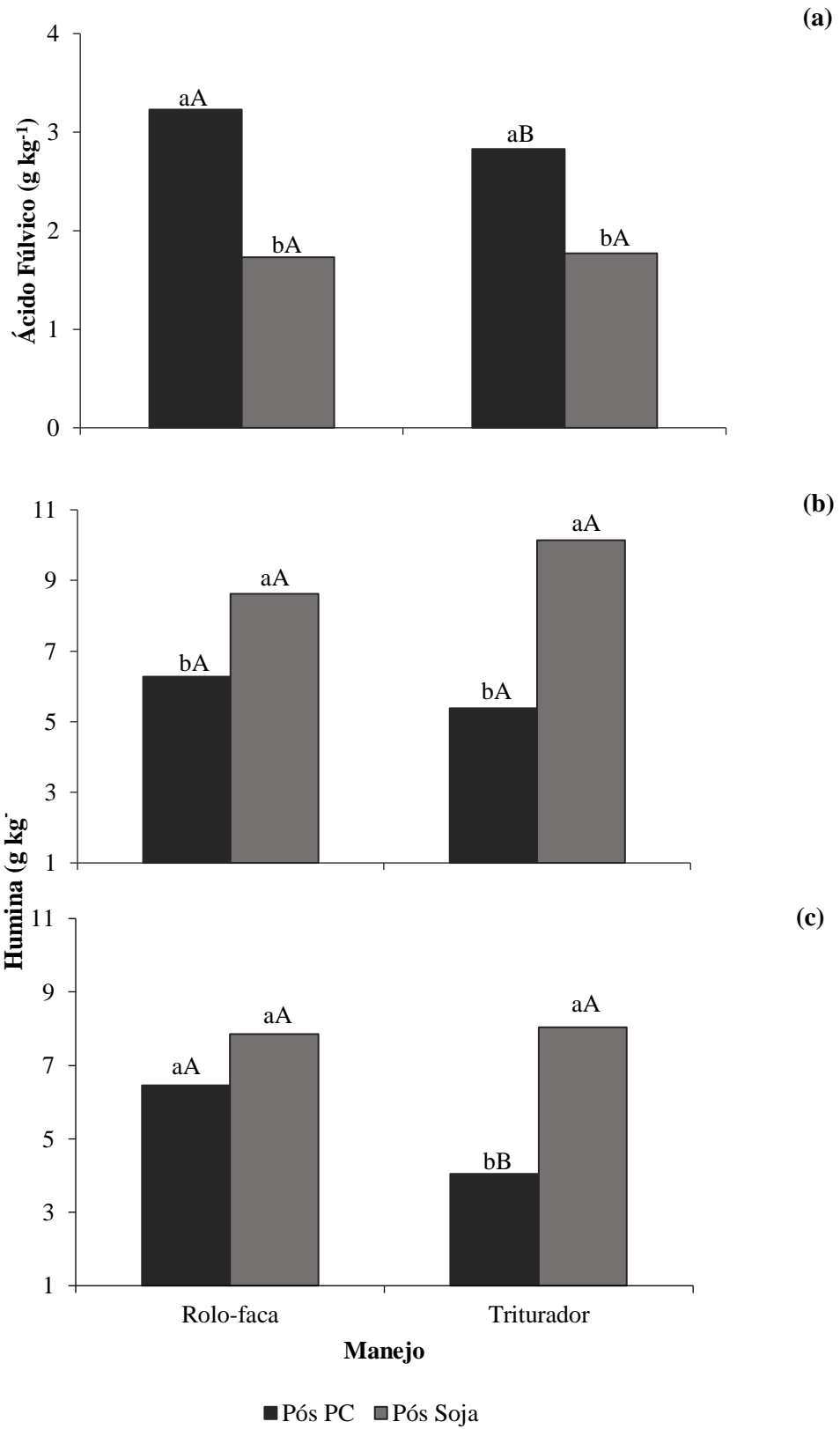
**Figura 2-** Ácido Fúlvico (0,05-0,10 m) em função de cobertura e manejo, Marechal Cândido Rondon-PR.



Letras minúsculas iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro para coberturas dentro de cada manejo, assim como letras maiúsculas para os manejos dentro de cada cobertura.

Para a fração AF (0,05-0,10 m) e HUM (0,00-0,05 e 0,05-0,10 m), verificou-se que houve interação entre período e manejo ( $p < 0,01$ ). Ao analisar o AF, observou-se que o período Pós-PC destacou-se do Pós-Soja nos dois manejos: rolo-faca e triturador (Figura 3a). Os teores de AF no manejo com rolo-faca no Pós-PC foi estatisticamente superior ao com o triturador. As frações de AF, por apresentar menor estabilidade, pode ser translocadas para camadas mais profundas, polimerizadas ou mineralizadas, diminuindo seu teor residual no solo (FONTANA et al., 2006).

**Figura 3-** Ácido Fúlvico (0,05-0,10 m) (a) e Humina (0,00-0,05 e 0,05-0,10 m) (b) e (c) em função do período e manejo, Marechal Cândido Rondon-PR.



Pós PC-Pós Plantas de Cobertura. Letras minúsculas iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro para os períodos dentro de cada manejo, assim como letras maiúsculas para os manejos dentro de cada período.

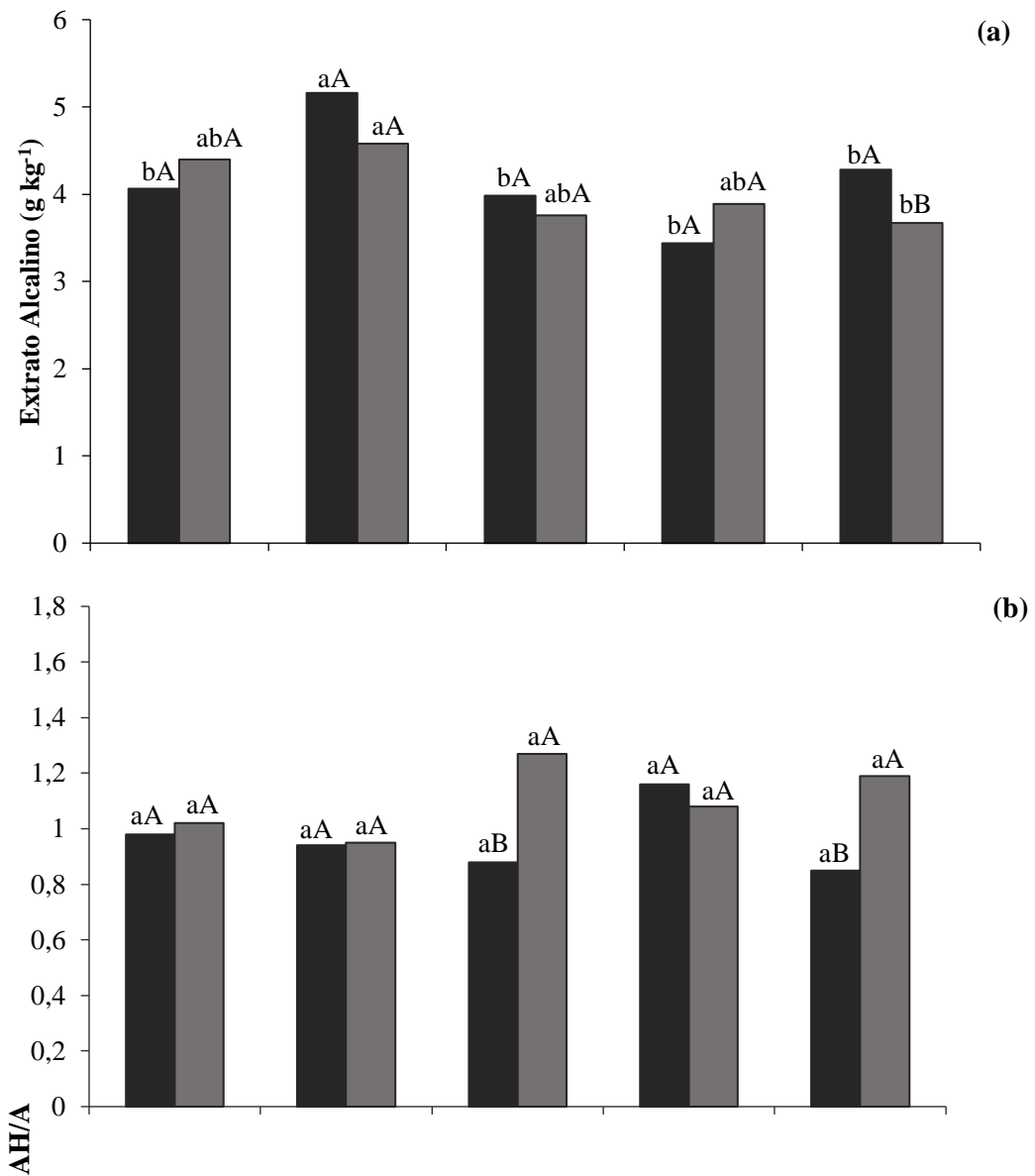
Para HUM (Figura 3b), o período Pós-Soja foi estatisticamente superior ao Pós-PC nos dois manejos (8,62 e 10,14 g kg<sup>-1</sup>) (0,00-0,05 m) e no triturador na profundidade 0,05-0,10 m (8,04 g kg<sup>-1</sup>) (Figura 3c). Dentre os manejos, destacou-se o rolo-faca no Pós-PC, apresentando assim o maior valor de HUM (4,46 g kg<sup>-1</sup>) (0,05-0,10 m).

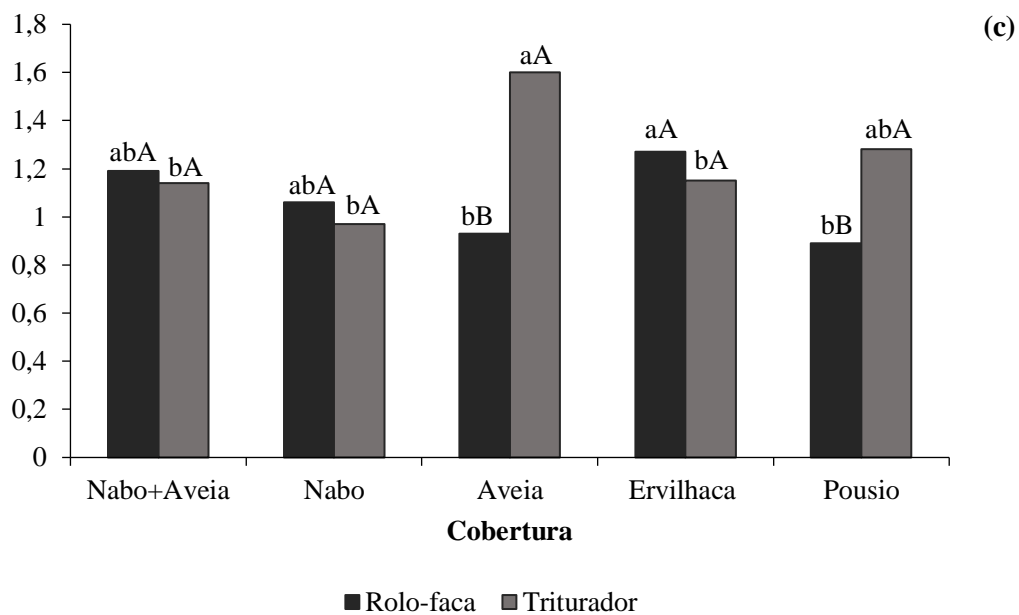
O EA (0,10-0,20 m) e a relação AH/AF (0,00-0,05 e 0,05-0,10 m) e apresentaram interação significativa entre cobertura e manejo ( $p < 0,01$ ). Na fração EA, verificou-se que o nabo quando manejado com o rolo-faca e triturador obteve maiores teores 5,6 e 4,58 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 4a).

Para relação AH/AF (Figura 4b e c) foi constatado que tanto para a profundidade de 0,00-0,05 m quanto para de 0,05-0,10 m, o triturador mostrou-se superior estatisticamente na aveia e pousio quando comparado com o rolo-faca, apresentado assim os maiores valores da relação 1,27 e 1,19 (0,05-0,10 m); 1,60 e 1,28 (0,05-0,10 m). Para a camada de 0,05-0,10 m, os maiores valores de média foram obtidos na cobertura ervilhaca (1,27) manejada com o rolo-faca e aveia (1,6) com triturador (Figura 4c).

Segundo Rosset (2016), para a relação AH/AF, na qual, valores superiores à unidade indicam predomínio de AH em comparação com aos AF, com material orgânico mais estável característico de solos férteis, assim, o aumento da relação EA/HUM em profundidade, é um indicativo do C-AF. Assim, o aumento desta relação indica menor estabilidade química das frações da MOS em profundidade (FONTANA et al., 2006).

**Figura 4-** EA (0,10-0,20 m) (a) e relação AH/AF na camada 0,00-0,05 m (b) e 0,05-0,10 m (c) e em função do cobertura e manejo, Marechal Cândido Rondon-PR.

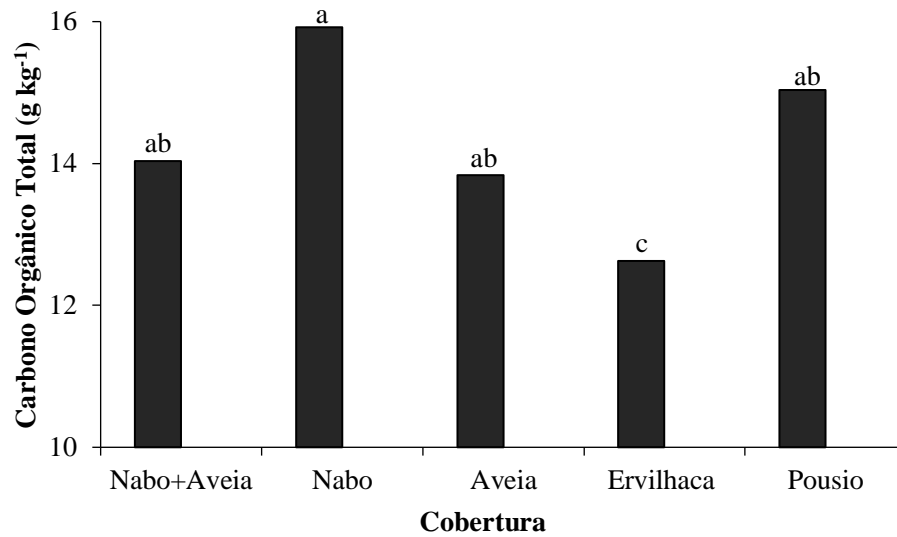




EA-Extrato Alcalino. Letras minúsculas iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro para as coberturas dentro de cada manejo, assim como letras maiúsculas para os manejos dentro de cada cobertura.

Na Figura 5 é apresentado o comportamento das coberturas de solo em relação aos teores de carbono orgânico total na profundidade de 0,10-0,20 m. É possível verificar que dentre as coberturas, o nabo proporcionou o maior aporte de COT (15,92 g kg<sup>-1</sup>) e o menor teor foi encontrado nas parcelas que havia sido cultivadas com a ervilhaca (12,63 g kg<sup>-1</sup>).

**Figura 5-** Teores de Carbono Orgânico Total na camada de 0,10-0,20 m em função das coberturas utilizadas, Marechal Cândido Rondon-PR.

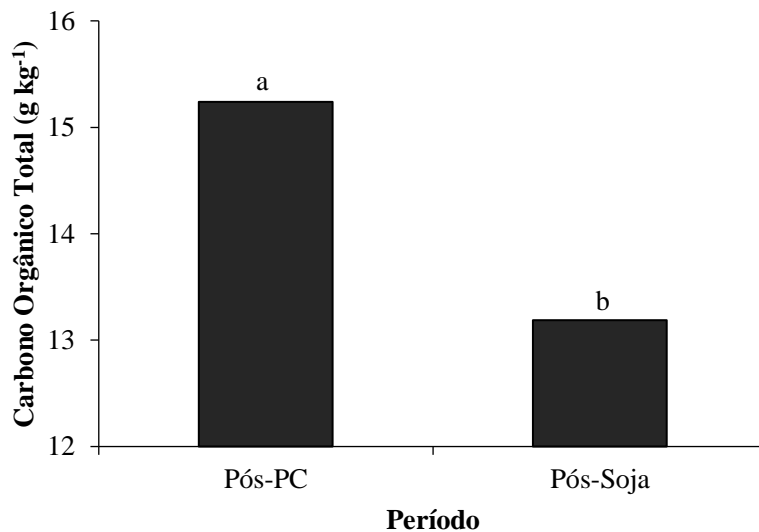


Pós-PC-Pós Plantas de Cobertura. Letras minúsculas iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Na figura 6, o período Pós-PC obteve o melhor resultado para o teor de COT (15,24 g kg<sup>-1</sup>) na profundidade de 0,10-0,20 m. Esses resultados são esperados em áreas de plantio direto, onde a palhada permanece na superfície do solo e, conseqüentemente, aumenta os teores de COT nessa camada em relação às camadas subsuperficiais (WEST; POST, 2002; BODDEY et al., 2010; ROSSET et al., 2014, 2016).



**Figura 6-** Teores de Carbono Orgânico Total na camada de 0,10-0,20 m em função dos períodos avaliados, Marechal Cândido Rondon-PR.



Pós PC-Pós Plantas de Cobertura. Letras minúsculas iguais não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

De acordo com os resultados apresentados, foi possível verificar que o uso de plantas de cobertura associado a práticas mecânicas proporcionaram alteração nas frações da MOS, mesmo em um curto espaço de avaliações. Neste sentido, é interessante reforçar a importância da realização de pesquisas de médio a longo prazo, para assim, validar ainda mais os feitos das práticas de manejo e evidenciar ainda mais seus benefícios dentro dos sistemas de produção.

## CONCLUSÕES

A ervilhaca foi a espécie que menos contribuiu para o carbono orgânico total do solo. Até 0,10 m maiores teores de humina foram observadas após o cultivo da soja, sendo que na camada de 5-10 o triturador reduziu o teor de humina. Houve redução no teor de COT após o manejo das plantas de cobertura. O uso de rolo-faca ou triturados pouco afetou o teor de COT e suas frações, com exceção no cultivo de aveia+nabo.

O período Pós-PC apresentou destaque em termos valores de COT, frações humificadas e suas relações, evidenciando que logo após o manejo das coberturas com os equipamentos, já pode-se observar alterações dessas variáveis nas diferentes camadas, mostrando assim, a grande capacidade que as espécies de coberturas tem de influenciar os caracteres do solo.

## REFERÊNCIAS

- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo no sistema plantio direto. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. cap. 6, p. 873-928.
- ANSCHAU, K. A. **Propriedades físicas, fracionamento da matéria orgânica do solo e produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura no inverno marechal**. 86f. Dissertação (Mestrado Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2018.
- BALDOTTO, M. A.; CANELA, M. C.; CANELLAS, L. P.; DOBBS L. B.; VELLOSO, A. C. X. Redox index of soil carbon stability. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1543-1551, 2010.
- BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G.S.; NACIF, P. G.S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J.; INÁCIO, E. S. B. 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.; GAMARODRIGUES, A.C.; FONTES, A.G.; POLIDORO, J.C.; MOCO, M.K.S.; MACHADO, R.C.R.; BALIGAR, V.C. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 81, p. 213-220, 2011.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, **Comunicado Técnico**, 2003, 7p.
- BERG, B.; LASKOWSKI, R. **Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover**. v. 38. San Diego: Elsevier Academic Press, Advances in ecological research, 2006.
- 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, p. 2637-2654, 2013.
- BODDEY, R. M. ; JANTALIA, C. P. ; CONCEIÇÃO, P.C. ; ZANATTA, J. A. ; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P. ; DENARDIN, J. E. ; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. ; ALVES, B.J.R. ; URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero-till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v. 16, n. 2, p. 784-795, 2010.
- BRONICK, C. J; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3-22, 2005.
- CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1389-1397, 2008.

- CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; BRASIL, E. L.; IWATA, B. 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.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 935-944, 2003.
- CANELLAS, L.P. et al. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 3, n. 1, p. 133-143, 2000.
- CARVALHO, J. L. N.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; MELO, C. R. de; CERRI, C. E. P. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-290, 2010.
- CAVIGLIONE, J. H; KIIHL, L.R.B; CARAMORI, P. H; OLIVEIRA, D. **Cartas Climáticas do Paraná**. Londrina: Instituto agrônomico do Paraná, 2000.
- CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; HERBES, M. G.; POLETTI, N.; SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v. 32, n. 1, p. 49-54, 2002.
- DEIMLING, K.A.A; SEIDEL, E. P; ROSSET, J.R; MOTTIN, M. C; HERRMANN, D. R; FAVORITO, A. C. Soil physical properties and soybean productivity in succession to cover crops. **Revista Ceres**, v. 66, n. 4, p. 316-322, 2019.
- EBELING, A.G. et al. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 157-165, 2011.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J.C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 847-853, 2006.
- GRINHUT, T.; HADAR, Y.; CHEN, Y. Degradation and transformation of humic substances by saprotrophic fungi: processes and mechanisms. **Fungal Biology Reviews**, v. 21, n. 4, p.179-189, 2007.
- GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CAMARGO, F.A.O. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; JHA, P.; VERMA, S.; LAL, R.; EIDSON, C.; DHERI, GS. Natural <sup>13</sup>C abundance and soil carbon dynamics under long-term residue retention in a no-till maize system. **Soil Use and Management**, v. 33, p. 90-97, 2017.
- LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no

tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 41, p. 717 - 730, 2003.

LI, C. et al. Characterization of bulk soil humin and its alkaline-soluble and alkaline-insoluble fractions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 120-126, 2015.

LOSS, A. LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. dos; FERREIRA, E.P.; BEUTLER, S.J.; SILVA, E.M.R. da. Oxidizable organic carbon fractions and soil aggregation in areas under different organic production systems in Rio de Janeiro, Brazil. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 14, n. 2, p. 699-708, 2011.

MARTINS, C. M. et al. Fraction of organic matter in soil under deciduous formations in the north of Minas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 10-20, 2015.

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

PEREIRA, M. F. S.; NOVO JÚNIOR, J.; SÁ, J. R. de; LINHARES, P. C. F.; BEZERRA NETO, F.; PINTO, J. R. de S. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 2, p. 21-32, 2013.

PFLEGER, P.; CASSOL, P.C.; MAFRA, A.L. Substâncias húmicas em cambissolo sob vegetação natural e plantios de pinus em diferentes idades. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 807-817, 2017.

ROSA, D.M. et al. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 2, p. 221-230, 2017.

ROSSET, J. S.; LANA, M. C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M. Chemical and oxidizable fractions of soil organic matter under different management systems in an Oxisol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p.1529-1538, 2016.

ROSSET, J. S.; LANA, M. do C.; PEREIRA, M. G.; SCHIAVO, J. A.; RAMPIM, L.; SARTO, M. V. M.; SEIDEL, E. P. Carbon stock, chemical and physical properties of soils under management systems with different deployment times in western region of Paraná, Brazil. **Semina**, v. 35, n. 6, p. 3053-3072, 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, p. 622-630, 2011.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Teor e dinâmica do carbono no solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1349-1356, 2011.

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

SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Leguminosas forrageiras anuais de inverno. *In*: FONTANELI, R. S; SANTOS, H. P. dos; FONTANELI, R. S. **Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira**. 2. ed. Brasília: Embrapa, 2012. p. 305- 320.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. *In*: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYSE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil and Tillage Research**. v. 79, n. 1, p 7-31, 2004.

SOUSA, R. F. D; BRASIL, E. P. F; FIGUEIREDO, C. C. D; LEANDRO, W. M. Soil organic matter fractions in preserved and disturbed wetlands of the cerrado biome. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 222-231, 2015.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Matéria orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 6, p. 1113-1122, 2003.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. *In*: SPARKS, D.L.; PAGE, A.L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: Soil Science Society of America: American Society of Agronomy, 1996. p. 1011-1020.

VALLADARES, G. S. et al. Changes promoted by management in Oxisol, Rondônia, Brazilian Amazon. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p.631-637, 2011.

WEST. T. O; POST, W. M. Soil Organic Carbon Sequestration Rates by Tillage and Crop Rotation: A Global Data Analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 6, p. 1930-1946, 2002.

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

*Recebido em: 05/07/2022*

*Aprovado em: 12/08/2022*

*Publicado em: 16/08/2022*