

Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja¹

Humic substances in soil cultivated with cover crops rotated with maize and soybean

Danielle Medina Rosa^{2*}, Lúcia Helena Pereira Nóbrega², Márcia Maria Mauli², Gislaíne Piccolo de Lima² e Fábio Palczewski Pacheco³

RESUMO - A matéria orgânica (MO), principalmente suas frações, é indicadora da qualidade do solo e, na agricultura, está relacionada ao aporte de material vegetal por meio de cultivos. Neste contexto, a adoção de sistemas de manejo que aumentassem o fornecimento de MO, consequentemente, melhorariam a qualidade do solo. Assim, neste trabalho foram avaliadas alterações nos teores de MO e substâncias húmicas em um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. Em 2010, sob sistema de plantio direto, foram implantadas as plantas de cobertura mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*). Em 2011 foram implantadas as culturas do milho e as plantas de cobertura canola (*Brassica napus*), crambe (*Crambe abyssinica*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e, em sequência, a cultura da soja. O teor de MO e carbono das frações húmicas foram determinados anteriormente à implantação, após o manejo da cobertura vegetal e após a colheita dos cultivos. No ano agrícola 2010/2011, após manejo das plantas de cobertura leguminosas, observaram-se alterações na concentração total de substâncias húmicas do solo. Em 2011/2012 houve incremento no teor de carbono e alteração no teor de ácidos fúlvicos. Dessa forma, as plantas de cobertura proporcionaram mais carbono na fração ácidos fúlvicos que contribui com aspectos de fertilidade do solo (CTC). O manejo com as plantas de cobertura, leguminosas e brassicáceas, e o cultivo de milho e soja aumentaram teor de MOS em um curto período de tempo, sendo o manejo considerado adequado para as condições estudadas.

Palavras-chave: Adubação verde. Matéria orgânica do solo. Sistema de plantio direto.

ABSTRACT - Organic matter (OM), especially its fractions, is an indicator of soil quality and in agriculture is related to the input of plant material from cultivation. In this context, the adoption of management systems that increase the supply of OM would consequently improve soil quality. In this work therefore, changes in the levels of OM and humic substances were evaluated in a eutroferric Red Latosol, cultivated with cover plants rotated with maize and soybean. In 2010, *Mucuna deeringiana*, *Cajanus cajan* and *Crotalaria juncea* were planted as cover crops under a no-till system. In 2011, the maize was planted together with the cover crops *Brassica napus*, *Crambe abyssinica* and *Raphanus sativus*, followed by the soybean. The levels of OM and carbon in the humic fractions were determined prior to planting, after management of the cover crops, and after the crop harvest. In the 2010/2011 crop year, after management of the leguminous cover crops, changes were seen in the total concentrations of humic substances in the soil. From 2011 to 2012 there was an increase in carbon content and a change in the levels of fulvic acids. The cover plants therefore provided more carbon for the fulvic acid fraction that contributes to aspects of soil fertility (CEC). A management with cover crops of legumes and brassicaceae, and the cultivation of maize and soybean, increased the SOM content over a short period. The management was considered suitable for the conditions of this study.

Key words: Green fertiliser. Soil organic matter. No-till system.

DOI: 10.5935/1806-6690.20170026

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 23/10/2015; aprovado em 27/06/2016

¹Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola/PGEAGRI da Universidade Estadual do Oeste do Paraná/UNIOESTE

²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, R. Universitária, 1619, Universitário, Cascavel-PR, Brasil, 85.819-110, danimrosa@yahoo.com.br, lucia.nobrega@unioeste.br, marcia.m.mauli@gmail.com, gisalipi@yahoo.com.br

³Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais/DAAMB, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil, fabiopacheco@gmail.com

INTRODUÇÃO

A matéria orgânica (MO) é indicador da qualidade do solo e está diretamente relacionada ao aporte de material orgânico. Na agricultura, esse aporte está condicionado aos cultivos empregados e aos fatores uso e manejo do solo. Ao contrário da textura e mineralogia, o uso e o manejo do solo são controlados pelo homem e, dependendo de suas decisões, o estoque de carbono pode ser aumentado ou diminuído, promovendo condição de melhoria ou deterioração da qualidade do solo (DICK *et al.*, 2009). A monocultura e direcionamento dos produtos da fotossíntese para obtenção de produtos agrícolas com valor de mercado provocam simplificação do sistema diminuindo a qualidade do ambiente e, conseqüentemente, os teores de matéria orgânica do solo.

A rotação de culturas com plantas de cobertura pode ser considerada alternativa para restaurar a qualidade do solo em áreas degradadas pelo cultivo intenso (SANTOS *et al.*, 2014; ZOTARELLI *et al.*, 2012). Isso ocorre porque a rotação pode promover a ciclagem de nutrientes e melhorar a estrutura do solo (TEJADA; HERNANDEZ; GARCIA, 2008), além de aumentar o estoque de carbono (RIBEIRO *et al.*, 2011; ROSOLEM; CALONEGO, 2013). Diferentes sistemas de manejo influenciam diretamente na quantidade de carbono orgânico dos solos (EBELING *et al.*, 2013; FONTANA *et al.*, 2011; TOMASI; INDA; DICK, 2012).

Em contraste com o processo de degradação da matéria orgânica ocorre a preservação ou ressíntese com alterações nos resíduos orgânicos. Nessas alterações são originadas as substâncias húmicas, as quais são compostos coloidais relativamente estáveis e com alto tempo médio de persistência (HAN *et al.*, 2016; SILVA; CAMARGO; CERETTA, 2010; SILVA; MENDONÇA, 2007). As substâncias húmicas são compostos orgânicos condensados, produzidos pela ação microbiana e que diferem dos biopolímeros por sua estrutura molecular e elevada persistência no solo (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014). Estima-se que entre 80 a 90% da matéria orgânica de solos minerais sejam constituídos pelas substâncias húmicas, as quais são representadas pelas frações ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e huminas (HU) (MENDONÇA; MATOS, 2005).

A dinâmica de transformação do carbono orgânico afeta diretamente a qualidade do solo. Dessa forma, não somente os teores totais da matéria orgânica do solo são importantes, mas também o estudo de suas frações, relacionando as alterações das mesmas em função da manutenção da qualidade do solo (BALDOTTO; BALDOTTO, 2014; CANELLAS *et al.*, 2004; CUNHA *et al.*, 2005; FONTANA *et al.*, 2011).

As substâncias húmicas constituem o compartimento da matéria orgânica de maior reatividade, por isso encontram-se envolvidas na maioria das reações químicas do solo. No entanto, ainda há pouca informação sobre os efeitos das plantas utilizadas como cobertura sobre as frações húmicas da matéria orgânica do solo.

Considerando a ubiquidade das substâncias húmicas como indicador de qualidade em relação ao solo e seu manejo, e que a adoção de sistemas de manejo que aumentem o fornecimento de matéria orgânica melhoraria a qualidade do solo, há necessidade de melhor entendimento da natureza e dos fatores que governam a estabilização das substâncias húmicas, na busca de práticas de manejo que contribuam para sua preservação. Assim, neste trabalho foram avaliadas alterações nos teores de carbono total e das substâncias húmicas em um LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico, após dois anos de cultivo de plantas de cobertura em rotação com milho e soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área do experimento

O experimento foi realizado em uma propriedade rural, localizada na região Oeste do Paraná, nos anos agrícolas de 2010/2011 e 2011/2012. A área está localizada nas coordenadas geográficas 24°54'08" S de latitude e 53°07'15" W de longitude, com altitude de 643 m. O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Eutroférico típico (SANTOS *et al.*, 2013).

Histórico de utilização

A área foi cultivada no sistema de plantio direto com sucessão de soja no verão e trigo no inverno por, aproximadamente, dez anos. No experimento realizado no ano agrícola 2007/2008 na mesma área (ROSA *et al.*, 2011, 2013), o solo foi preparado com cultivo mínimo (escarificação + gradagem leve), em virtude da compactação existente, e foi realizada a calagem. No intervalo 2009/2010, a área foi cultivada novamente com sucessão trigo/soja. O experimento referente a este estudo foi implantado sobre resíduos culturais de trigo em sistema de plantio direto.

Rotação de culturas avaliada

O esquema de rotação de culturas avaliado neste trabalho apresentou a ordem: plantas de cobertura com leguminosas - milho (primeiro experimento) e plantas de cobertura com brassicáceas - soja (segundo experimento). O início da semeadura ocorreu na primavera de 2010, com cultivo de plantas leguminosas, havendo também um tratamento controle (pousio). Sobre os resíduos das

leguminosas e no sistema de plantio direto, foi semeado o milho no verão. Após a colheita, foram implantadas espécies de cobertura brassicáceas e, por último, foi semeada a soja. Em todos os cultivos, a parcela controle foi mantida.

As plantas de cobertura cultivadas anteriormente à implantação do milho foram as leguminosas mucuna anã (*Mucuna deeringiana*), feijão guandu anão (*Cajanus cajan*) e crotalaria juncea (*Crotalaria juncea*), implantadas na área experimental em setembro de 2010 em parcelas de 4 x 5 m, com espaçamento de 1 m entre as parcelas. Semeadas sem adubação e em sistema de plantio direto, compuseram quatro tratamentos: três leguminosas e um tratamento controle (pousio).

As plantas de cobertura cultivadas anteriormente à soja foram a canola (*Brassica napus*), o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e o crambe (*Crambe abyssinica*), implantados em maio/junho de 2011, em parcelas de 4 x 5 m, semeadas sem adubação em sistema de plantio direto. Quatro tratamentos foram definidos, sendo três plantas de cobertura e um tratamento controle (pousio). O tratamento controle foi o mesmo utilizado no experimento anterior e recebeu o mesmo manejo que os demais tratamentos. Porém, a área permaneceu sob pousio (formação de vegetação natural) e a espécie invasora predominante foi o picão preto (*Bidens pilosa*).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com cinco repetições por tratamento, totalizando 20 parcelas. Os resultados foram submetidos à análise de variância e a comparação de médias foi realizada pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade; o software utilizado foi o Sisvar (FERREIRA, 2014).

Manejo das plantas de cobertura e cultivos

No final do estágio vegetativo e início do florescimento, as plantas de cobertura foram roçadas com roçadora mecânica, de forma que os resíduos vegetais permaneceram sobre o solo das parcelas correspondentes a cada tratamento. O milho foi implantado seguindo o esquema de distribuição dos tratamentos já utilizado anteriormente com as leguminosas, sendo os tratamentos controle/milho, mucuna anã/milho, feijão guandu anão/milho e crotalaria juncea/milho. A semeadura do milho foi manual, em janeiro de 2011, tendo sido realizada sobre os restos vegetais das leguminosas (15 dias após o corte) e no tratamento controle nas parcelas demarcadas em sistema de plantio direto.

A soja foi implantada seguindo o esquema de distribuição do experimento com as plantas de cobertura canola, crambe e nabo forrageiro. O tratamento controle recebeu o mesmo manejo cultural que os demais tratamentos; porém, a área permaneceu sob pousio. A

soja foi semeada em novembro de 2011, com auxílio de semeadora e trator, sobre os restos vegetais das plantas de cobertura nas parcelas demarcadas em sistema de plantio direto.

Determinação das substâncias húmicas e matéria orgânica do solo

A coleta de solo para determinação das substâncias húmicas foi realizada na camada de 0-0,10 m, antes e após o manejo da cobertura vegetal, e após a colheita das culturas de milho e soja. As mesmas análises foram realizadas para os dois cultivos. A determinação das substâncias húmicas - frações ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e huminas (HU) - seguiram metodologia descrita em Benites, Madari e Machado (2003).

O carbono total do solo (C) foi determinado nas mesmas ocasiões, por ignição, através da incineração em mufla a 440 + 5 °C do material previamente seco em estufa a 105 - 110 °C, de acordo com a NBR 13600 (ABNT, 1996). Os dados foram expressos em carbono total e percentagem de matéria orgânica do solo (MO).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados após o cultivo do milho

Na análise dos teores de matéria orgânica (MO) e de carbono total do solo na profundidade de 0,10 m (Tabela 1), não se observou diferença entre tratamentos em nenhum dos períodos avaliados. Deve-se considerar que o aumento no teor de MO ocorre de maneira gradual e seus benefícios são visualizados ao longo dos anos.

O fato de algumas características analisadas, como a MO do solo, não apresentarem diferença entre plantas de cobertura e controle, é relacionado ao fato do controle ser uma parcela em pousio, ou seja, com a presença de vegetação espontânea, com plantas invasoras, não deixando o solo descoberto. Dessa forma, o tratamento controle também contribuiu para manter o carbono orgânico do solo.

Na análise das frações da MO (Tabela 2), observa-se o predomínio do carbono da fração humina em todos os tratamentos, o que está relacionado a maior estabilidade desta fração (FONTANA *et al.*, 2006; HAN *et al.*, 2016). As frações ácidos fúlvicos e húmicos podem ser translocadas para camadas mais profundas do solo, polimerizadas ou mineralizadas, e diminuir seu teor residual no solo (FONTANA *et al.*, 2006; HAN *et al.*, 2016). Ainda, a fração orgânica dos solos localizados em regiões de clima tropical é dominada pelas huminas e tanto a intensa mineralização dos resíduos como as restrições

edáficas à atividade biológica reduzem o processo de humificação (CANELLAS *et al.*, 2004). Além disso, a inclusão de leguminosas como adubo verde, como feito neste trabalho, fornece o nitrogênio orgânico utilizado, preferencialmente, pelos micro-organismos sintetizadores das frações mais estáveis da MO do solo (huminas) (RIBEIRO *et al.*, 2011).

A distribuição da MO humificada do solo caracterizou-se como típica de solo localizado em região de clima tropical, com maior conteúdo de substâncias húmicas alcalino solúveis mais condensadas na camada superficial do solo. Loss, Pereira e Brito (2006) também encontraram maior teor de carbono na fração humina, com destaque para os Latossolos, o que indica maior resistência dessa fração à decomposição, devido à ligação mais estável com a fração mineral do solo.

Antes da implantação do experimento não foram observadas diferenças entre tratamentos em cada fração. Após o manejo das plantas de cobertura observou-se nas parcelas cultivadas com essas plantas, maiores teores de carbono, com destaque na fração ácidos fúlvicos e também na soma das três frações. Após a colheita do milho observou-se maior teor de carbono apenas na soma das três frações. O teor de carbono está diretamente relacionado ao conteúdo de matéria orgânica do solo. O aumento no teor de carbono reflete no aumento da matéria orgânica, o que traz melhorias na qualidade física, química e biológica do solo. Como o processo de formação da MO é lento, flutuações no conteúdo relativo de suas frações expressam mudanças efetivas de curso duradouro (CUNHA *et al.*, 2005).

A relação AH/AF é um indicador de condensação da MO solúvel (LABRADOR MORENO, 1996). Segundo a autora, valores inferiores a 1, como os apresentados

neste trabalho, representam predomínio do carbono das frações ácidos fúlvicos sobre o carbono da fração ácidos húmicos, indicando evolução limitada da MO devido a razões edáficas ou de manejo e aportes recentes de MO. O carbono da fração ácidos fúlvicos representa a fração menos evoluída, relacionada à reação ácida. Ainda, na metodologia de separação das frações utilizada neste trabalho, a fração AF reúne tanto os ácidos fúlvicos verdadeiros como os compostos de baixo peso molecular, como ácidos orgânicos, açúcares, entre outros (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003). Canellas *et al.* (2004) destacaram que o uso de leguminosas herbáceas em sistemas agrícolas permite o aporte de quantidades expressivas de fitomassa, possibilitando alterações no teor e na qualidade da matéria orgânica do solo ao longo dos anos. Segundo os autores, as leguminosas avaliadas não alteraram o conteúdo de carbono orgânico total, mas promoveram acúmulo de ácidos húmicos (AH) na camada superficial. Neste trabalho foram encontradas diferenças no teor de AF. Canellas e Façanha (2004) encontraram menores relações AH/AF em solo cultivado com leguminosas, o que permite ressaltar um caráter mais fúlvico das substâncias húmicas quando essas plantas são cultivadas.

De forma geral, outra explicação para menor relação AH/AF, são os baixos teores de bases trocáveis nos solos mais intemperizados, assim como no solo do presente estudo (ROSA *et al.*, 2013), que diminui a intensidade dos processos de humificação (condensação e síntese); em consequência, a relação AH/AF é menor (CANELLAS *et al.*, 2004; CUNHA *et al.*, 2005).

Em Latossolos, geralmente, há diminuição no conteúdo de ácidos húmicos e predomínio de ácidos fúlvicos, como se observou neste trabalho. O fato de notar-

Tabela 1 - Teores de matéria orgânica (MO) e carbono total (C) do solo antes e após o manejo com *Mucuna deeringiana*, *Cajanus cajan* e *Crotalaria juncea* e plantas espontâneas (controle) e após a colheita da cultura do milho

Tratamento	Antes da implantação		Após o manejo		Após colheita milho	
	MO	C	MO	C	MO	C
	%	g kg ⁻¹	%	g kg ⁻¹	%	g kg ⁻¹
Controle	10,61	61,74	8,85	51,51	9,41	54,72
<i>M. deeringiana</i>	10,15	59,03	9,17	53,38	10,44	60,73
<i>Cajanus cajan</i>	10,86	63,21	10,44	60,76	10,06	58,55
<i>Crotalaria juncea</i>	10,61	61,73	10,17	59,19	11,63	67,68
Média geral	10,90	63,43	9,66	56,21	10,38	60,42
Coef. Variação	16,08	16,08	11,50	11,49	20,02	20,00
Valor de F	0,59 ^{ns}	0,59 ^{ns}	1,42 ^{ns}	1,43 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,60 ^{ns}

Médias não seguidas de letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo

Tabela 2 - Carbono das frações da matéria orgânica antes e após o manejo com *Mucuna deeringiana*, *Cajanus cajan*, *Crotalaria juncea*, plantas espontâneas (controle) e após a colheita da cultura do milho

Tratamento	Antes da implantação				AH/AF	EA/HU
	AF	AH	HU	Soma		
	----- mg g ⁻¹ -----					
Controle	3,77	2,61	14,21	20,43	0,69	0,45
<i>M. deeringiana</i>	3,59	2,43	13,57	19,74	0,67	0,44
<i>Cajanus cajan</i>	4,30	2,92	14,60	21,83	0,68	0,49
<i>Crotalaria juncea</i>	3,56	2,39	15,45	21,40	0,67	0,38
Média geral	3,81	2,59	14,45	20,81	-	-
Coef. variação	18,49	26,04	9,36	7,97	-	-
Valor de F	1,43 ^{ns}	0,79 ^{ns}	2,01 ^{ns}	2,05 ^{ns}	-	-
	Após o manejo				AH/AF	EA/HU
	AF	AH	HU	Soma		
	----- mg g ⁻¹ -----					
Controle	4,30 b	2,51	13,36	20,02 b	0,58	0,51
<i>M. deeringiana</i>	4,68 a	2,74	13,96	21,39 a	0,59	0,53
<i>Cajanus cajan</i>	5,11 a	3,16	14,41	22,68 a	0,62	0,57
<i>Crotalaria juncea</i>	4,71 a	2,77	14,40	21,85 a	0,59	0,51
Média geral	4,70	2,79	14,45	21,49	-	-
Coef. variação	10,00	20,86	9,36	5,53	-	-
Valor de F	2,91*	1,25 ^{ns}	2,01 ^{ns}	5,30*	-	-
	Após colheita milho				AH/AF	EA/HU
	AF	AH	HU	Soma		
	----- mg g ⁻¹ -----					
Controle	4,16	2,70	13,36	19,89 b	0,61	0,50
<i>M. deeringiana</i>	4,69	2,84	13,87	21,41 a	0,60	0,54
<i>Cajanus cajan</i>	4,67	2,77	13,45	22,18 a	0,59	0,54
<i>Crotalaria juncea</i>	4,55	3,01	14,30	21,94 a	0,66	0,52
Média geral	4,52	2,83	13,74	21,11	-	-
Coef. variação	8,74	16,14	8,32	4,96	-	-
Valor de F	2,36 ^{ns}	0,48 ^{ns}	20,82 ^{ns}	4,17*	-	-

Médias seguidas de letras, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns}não significativo; * significativo. AF: fração ácido fúlvico; AH: fração ácido húmico; HU: húmica; EA: extrato alcalino

se, entre os períodos de avaliação, diminuição da relação AH/AF, está relacionado à adição recente de material vegetal, que aumenta, inicialmente, o conteúdo de ácidos fúlvicos. Porém, em longo prazo, a maior prevalência dos ácidos fúlvicos pode resultar em perdas de MO por meio da água percolada. Isso acontece porque, de acordo com Silva e Mendonça (2007), os AF são o grupo de menor peso molecular e maior densidade de grupamentos carboxílicos, revelando maior solubilidade e polaridade que os AH e, consequentemente, maior mobilidade no solo.

Resultados após o cultivo da soja

Aumentos significativos do carbono orgânico total com a adição dos resíduos vegetais foram observados (Tabela 3). Inicialmente, antes da implantação do experimento, não houve diferença entre as médias dos tratamentos. Após o manejo com as plantas de cobertura houve aumento na porcentagem de MO e teor de carbono no solo nas parcelas cultivadas com nabo forrageiro e crambe. Após a colheita da soja, o tratamento controle

Tabela 3 - Matéria orgânica e teor de carbono total do solo, em coleta aos 0,10 m, antes e após o manejo com *Brassica napus*, *Raphanus sativus*, *Crambe abyssinica*, plantas espontâneas (controle) e após a colheita da cultura da soja

Tratamento	Antes da implantação		Após o manejo		Após colheita soja	
	MO	C	MO	C	MO	C
	%	g kg ⁻¹	%	g kg ⁻¹	%	g kg ⁻¹
Controle	9,41	54,72	9,43 b	54,85 b	9,36 b	54,50 b
<i>Brassica napus</i>	10,53	61,26	9,63 b	55,99 b	11,80 a	68,65 a
<i>Raphanus sativus</i>	11,46	66,68	11,31 a	65,77 a	11,66 a	67,87 a
<i>Crambe abyssinica</i>	10,15	59,03	10,57 a	61,49 a	11,88 a	69,09 a
Média Geral	10,38	60,42	10,23	59,53	11,17	64,53
Coef. Variação	20,39	20,37	6,27	6,26	8,09	9,05
Valor de F	0,48 ^{ns}	0,49 ^{ns}	5,47*	5,55*	5,38*	3,96*

Médias seguidas de letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo

apresentou menores valores em comparação às plantas de cobertura.

Sistemas que incluem culturas com baixa relação C/N, como neste experimento com o cultivo da soja, resultam, em geral, em maiores acúmulos de matéria orgânica no solo. Estes sistemas que envolvem culturas de inverno, em condições de médias temperaturas, protegem química e fisicamente o carbono do solo, resultando em acréscimo de carbono (ANDRADE; STONE; SILVEIRA, 2009; CALEGARI *et al.*, 2008; ROSCOE; BODDEY; SALTON, 2006).

O acréscimo de MO no solo pode ser resultado do efeito residual das plantas de cobertura leguminosas no primeiro ano do experimento, somado ao efeito observado das brassicáceas. Ressaltando que o efeito da rotação de culturas é cumulativo e que as plantas de cobertura são indicadas para o aumento e manutenção do carbono do solo. Isso pode ser devido à área já ser cultivada sob sistema de plantio direto há alguns anos, que mesmo sem seguir um esquema racional de rotação de culturas, o não revolvimento do solo pode ter proporcionado o acúmulo de resíduos na superfície, os quais na operação de gradagem, por terem sido incorporados, aceleraram a decomposição, levando ao aumento do carbono. Esse aumento foi favorecido pelos tratamentos como mostrado nos resultados obtidos (Tabela 3), indicando uma opção adequada de manejo.

O carbono das frações que compõem a matéria orgânica humificada apresentou resultados semelhantes no decorrer do experimento, não apresentando diferença entre o controle e as plantas de cobertura. Exceção foi observada para o conteúdo de ácidos fúlvicos após o cultivo da soja, apresentando diferença entre os tratamentos

(Tabela 4). Este resultado era esperado, já que no estudo do carbono das frações das substâncias húmicas do solo, mudanças iniciais em seu conteúdo são esperadas na fração ácido fúlvico, pois essa reflete o primeiro estágio em direção à estabilização da matéria orgânica.

O fato de o tratamento controle apresentar resultado estatístico semelhante às plantas de cobertura na maioria das análises está relacionado ao aporte de resíduos de milho do ano anterior, o que ocorreu, inclusive, no tratamento controle. Martens (2002) fez a extração dos AH no solo tratado com resíduos culturais e observou incremento de AH em relação ao solo sem resíduo algum. Além disso, deve-se considerar a presença de vegetação espontânea no tratamento controle.

Em geral, assim como discutido no experimento de cultivo do milho, foi observada predominância do carbono da fração humina. Este fato é confirmado pela análise dos valores da relação EA/HU, em que todos estão abaixo de 1, demonstrando que, neste solo, o carbono da fração mais estável (humina) predomina sobre o carbono das demais frações.

A relação AH/AF foi afetada pelo manejo, porquanto, após a colheita da soja, observam-se maiores valores nas parcelas cultivadas com as plantas de cobertura. Manejos agrícolas que forneçam acréscimos relativos nos valores de AH/AF refletirão em melhorias da matéria orgânica (CANELLAS; BUSATO; CAUME, 2005), o que foi constatado neste trabalho (Tabela 3), culminando em melhorias na qualidade do solo principalmente por contribuem com a maior parte da CTC dos solos, e também possuem a habilidade de formar complexos com vários íons metálicos e por agirem como tamponantes da reação do solo em uma ampla faixa de pH.

Tabela 4 - Carbono das frações da matéria orgânica do solo antes e após o manejo com *Brassica napus*, *Raphanus sativus* e *Crambe abyssinica* e plantas espontâneas (controle) e após a colheita da cultura da soja

Tratamento	Antes da implantação				AH/AF	EA/HU
	AF	AH	HU	Soma frações		
	----- mg g ⁻¹ -----					
Controle	4,37	2,51	11,39	18,28	0,58	0,60
<i>Brassica napus</i>	4,51	2,57	12,50	19,59	0,57	0,56
<i>Raphanus sativus</i>	4,42	2,52	12,27	19,22	0,57	0,56
<i>Crambe abyssinica</i>	4,73	2,68	12,16	19,57	0,57	0,60
Média Geral	4,50	2,57	12,06	19,13	-	-
Coef. Variação	9,55	15,05	11,72	8,56	-	-
Valor de F	0,87 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,79 ^{ns}	-	-
	Após o manejo				AH/AF	EA/HU
	AF	AH	HU	Soma frações		
	----- mg g ⁻¹ -----					
Controle	4,29	2,52	11,98	18,80	0,59	0,56
<i>Brassica napus</i>	4,45	2,64	12,38	19,49	0,56	0,57
<i>Raphanus sativus</i>	4,44	2,84	12,80	20,09	0,64	0,56
<i>Crambe abyssinica</i>	4,40	2,75	12,75	19,91	0,62	0,56
Média Geral	4,39	2,67	12,46	19,46	-	-
Coef. Variação	9,24	12,54	10,34	7,85	-	-
Valor de F	0,18 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,75 ^{ns}	-	-
	Após colheita soja				AH/AF	EA/HU
	AF	AH	HU	Soma frações		
	----- mg g ⁻¹ -----					
Controle	3,96 b	2,52	13,68	20,17	0,64	0,47
<i>Brassica napus</i>	4,54 a	2,96	14,71	22,22	0,65	0,51
<i>Raphanus sativus</i>	4,66 a	3,15	15,18	23,00	0,68	0,51
<i>Crambe abyssinica</i>	4,31 a	2,83	14,22	21,38	0,66	0,50
Média Geral	4,37	2,87	14,46	21,71	-	-
Coef. Variação	10,04	14,73	13,72	10,25	-	-
Valor de F	2,94*	2,35 ^{ns}	0,63 ^{ns}	1,77 ^{ns}	-	-

Médias não seguidas de letras, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade, sendo ^{ns} não significativo; * significativo. AF: fração ácido fúlvico; AH: fração ácido húmico; HU: humina; EA: extrato alcalino (AH+AF)

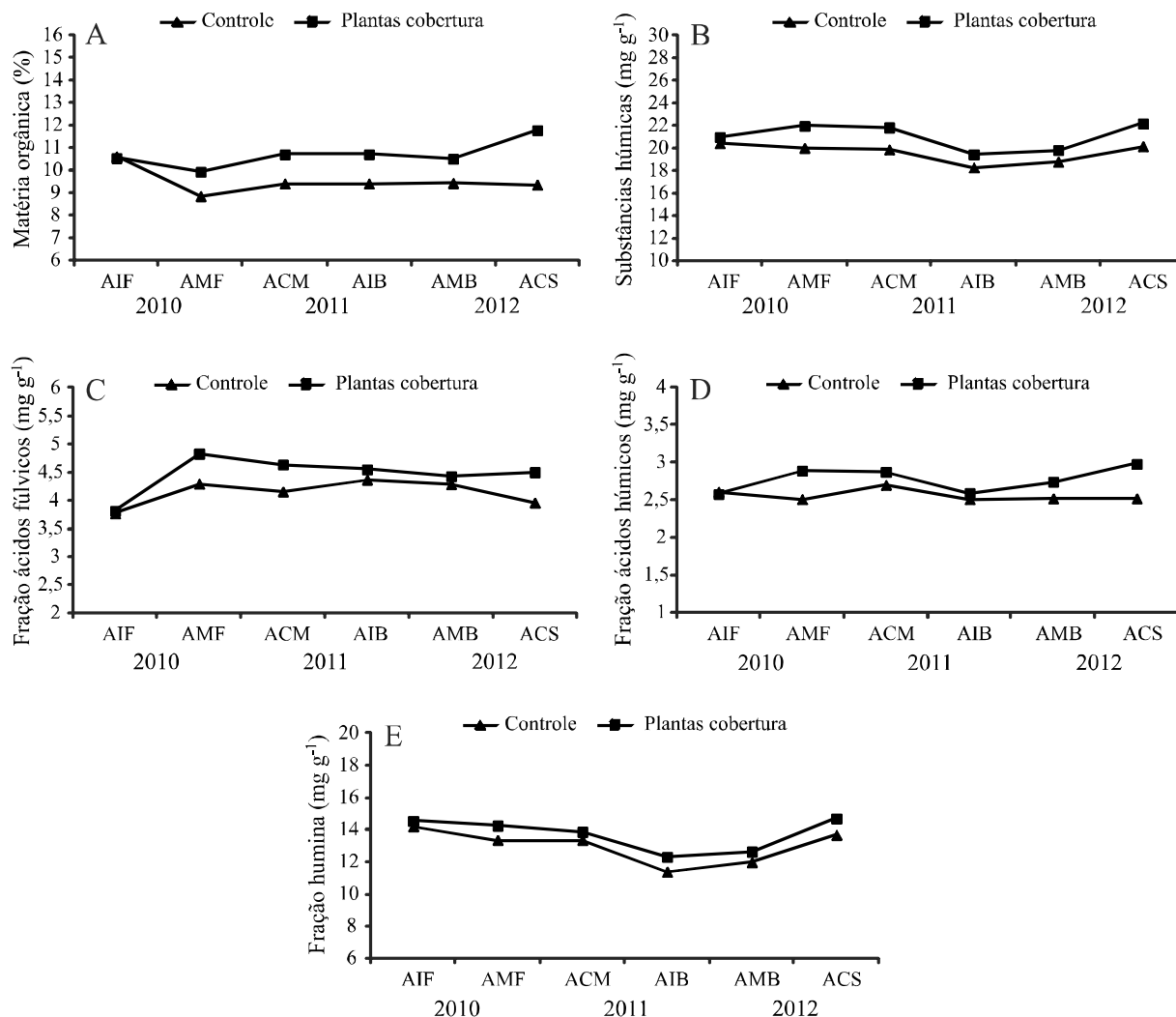
Interações entre os anos

Com o objetivo de avaliar as variáveis no decorrer dos dois anos de experimento, foram comparados os resultados obtidos ao longo dos anos nas áreas com as plantas de cobertura e no controle (Figura 1). Na análise da MO do solo observa-se que, partindo-se de um valor inicial semelhante, as parcelas com plantas de cobertura apresentaram incremento de MO do solo no decorrer do experimento (Figura 1A). Esse acréscimo está diretamente

relacionado ao aporte de material vegetal e consequente melhoria nas condições do solo.

Na última análise, após a colheita da cultura da soja, foi observado aumento de 25% nas parcelas cultivadas com plantas de cobertura em relação ao controle. Na análise das substâncias húmicas, incluindo suas frações, observa-se que houve incremento em seu teor no decorrer dos experimentos (Figuras 1B, C, D, E), confirmando o aumento do teor de MO nas parcelas cultivadas com

Figura 1 - Valores de matéria orgânica do solo (A), total de carbono das substâncias húmicas (B), frações ácidos fúlvicos (C), ácidos húmicos (D) e humina (E), antes da implantação das leguminosas (AIF), após o manejo das plantas de cobertura leguminosas (AMF), após a colheita da cultura do milho (ACM), antes da implantação das brassicáceas (AIB), após o manejo das plantas de cobertura brassicáceas (AMB) e após a colheita da cultura da soja (ACS) nas análises nos anos agrícolas 2010/2011 e 2011/2012



plantas de cobertura. Na soma do carbono das frações, observa-se que, em geral, incluindo a parcela sob pousio (controle), houve redução destes valores nos períodos antes da implantação e após o manejo das brassicáceas (Figura 1B).

O processo de estabilização da MO do solo começa com a formação de ácidos fúlvicos e segue em direção a ácidos húmicos e depois humina. Mudanças iniciais são esperadas na fração ácidos fúlvicos (Figura 1C), já que reflete o primeiro estágio em direção à estabilização da matéria orgânica.

Embora o conteúdo de carbono da fração humina tenha reduzido nos períodos após a implantação e manejo

das brassicáceas, em relação ao período inicial, observa-se que as parcelas com plantas de cobertura mantiveram sempre maiores valores, confirmando a manutenção da matéria orgânica pelo manejo. Além da qualidade e quantidade, a continuidade da adição desses resíduos é fator importante no seu manejo, para que se obtenham os benefícios dele oriundos (SILVA; MENDONÇA, 2007).

CONCLUSÕES

1. As plantas de cobertura proporcionaram mais carbono na fração ácidos fúlvicos o que poderá contribuir com aspectos relacionados à fertilidade do solo;

2. O manejo com as plantas de cobertura, leguminosas e brassicáceas, e o cultivo de milho e soja aumentou o teor de MOS em um curto período de tempo, sendo o manejo considerado adequado para as condições estudadas.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13600**: solo: determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440 °C. Rio de Janeiro, 1996. 2 p.
- BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. Ácidos húmicos. **Revista Ceres**, v. 61, p. 856-881, 2014.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo**: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa, 2003, 7 p. (Comunicado Técnico 16).
- CALEGARI, A. *et al.* Impact of long-term no-tillage and cropping system management on soil organic carbon in an Oxisol: a model for sustainability. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 4, p. 1013-1019, 2008.
- CANELLAS, L. P. *et al.* Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. **Scientia Agrícola**, v. 61, n. 1, p. 53-61, 2004.
- CANELLAS, L. P.; BUSATO, J. G.; CAUME, D. J. O uso e o manejo da matéria orgânica humificada sob a perspectiva da agroecologia. In: CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. (Ed.). **Humosfera**: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Rio de Janeiro: UENF, 2005. p. 244-267.
- CANELLAS, L. P.; FAÇANHA, A. R. Chemical nature of soil humified fractions and their bioactivity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 3, p. 233-240, 2004.
- CUNHA, T. F. *et al.* Fracionamento da matéria orgânica humificada de solos brasileiros. In: CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. (Ed.). **Humosfera**: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Rio de Janeiro: UENF, 2005. p. 54-80.
- DICK, D. P. *et al.* Química da matéria orgânica do solo. In: MELLO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.). **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2009. p. 1- 68.
- EBELING, A. G. *et al.* Substâncias húmicas e suas relações com o grau de subsidência em Organossolos de diferentes ambientes de formação no Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 225-233, 2013.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência Agrotecnica**, v. 38, n. 2, 2014.
- FONTANA, A. *et al.* Atributos de fertilidade e frações húmicas de um latossolo vermelho no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 5, p. 847-853, 2006.
- FONTANA, A. *et al.* Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 3, p. 545-550, 2011.
- HAN, L. *et al.* Some concepts of soil organic carbon characteristics and mineral interaction from a review of literature. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 94, p. 107-121, 2016.
- LABRADOR MORENO, J. **La matéria orgânica en los agroecosistemas**. Madri: Ministério Agricultura, 1996, 176 p.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BRITO, R. J. Distribuição das substâncias húmicas em solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Universidade Rural**, v. 26, n. 2, p. 57-69, 2006.
- MARTENS, D. A. Identification of phenolic acid composition of alkali-extracted plants and soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, n. 4, p. 1240-1248, 2002.
- MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo**: métodos de análises. Viçosa, MG: UFV, 2005. 107 p.
- RIBEIRO, P. H. *et al.* Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde**, v. 6, n. 1, p. 43 - 50, 2011.
- ROSA, D. M. *et al.* Action of dwarf mucuna, pigeon pea and stylosanthes on weeds under field and laboratory conditions. **Interciencia**, v. 36, n. 11, p. 841-847, 2011.
- ROSA, D. M. *et al.* weeds suppression and agronomic characteristics of maize crop under leguminous crop residues in no-tillage system. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 16, p. 455-463, 2013.
- ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J. C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. (Ed.). **Dinâmica da matéria orgânica dos solos em sistemas conservacionistas**: modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. p. 17-42.
- 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, n. 6, p.127-133, 2013.
- SANTOS, H. G. dos *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. ampl. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353 p.
- SANTOS, I. L. *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.
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. *et al.* (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O.; CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. (Ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Evangraf, 2010. 266 p.

TEJADA, M.; HERNANDEZ, M. T.; GARCIA, C. Soil restoration using composted plant residues: effects on soil properties. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v. 18, n. 3, p. 389-396, 2008.

TOMASI, C.; 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.

ZOTARELLI, L. *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.