

Frações químicas do carbono orgânico do solo em função do cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo

Fractions of soil organic carbon consumption as a function of maize crop with ground cover plants

RESUMO

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

Palavras-chave: Matéria orgânica do solo; Qualidade do solo; Sistemas de cultivo; *Zea Mays*.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the influence of second crop corn intercropped with ground cover plants on soil quality. The experimental design was randomized blocks (DBC), with four replications. The plots consisted of corn with and without intercropping with different ground cover plants. The plant species used in the intercropping were: two from the *Poaceae* family (brachiaria and black oat) and two from the *Fabaceae* family (dwarf pigeon pea and sunn hemp). The corn cropping system intercropped with ground cover plants increased the TOC content and its fractions. The cultivation of corn intercropped with plants of the family *Poaceae* and *Fabaceae* increased TOC levels at different depths; in the *Poaceae* there was an increase in TOC levels at a depth of 0 - 0.20 m, while in the *Fabaceae* there was an increase in the depth of 0.20 - 0.40 m. Cover crops showed great potential in promoting soil quality in the no-tillage system. After two maize crops intercropped with cover crops, there was an improvement in the quality of soil organic matter, observed in the percentage of humin that represents most of the humified carbon.

Keywords: Soil organic matter; Soil quality; Cropping systems; *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

Um dos princípios do SPD é a manutenção da cobertura na superfície do solo, o que contribui para o controle de plantas daninhas, redução da ação nociva da chuva e também promove o acúmulo de matéria orgânica do solo (MOS) melhorando os níveis de carbono orgânico do solo (COS). A MOS influencia os principais processos químicos, físicos e biológicos dos solos, e seu conteúdo de COS determina em grande parte a produtividade das culturas, a fertilidade e sustentabilidade dos solos agrícolas (WANDER, 2004).

Assim, é cada vez mais necessário o desenvolvimento de um sistema de cultivo que seja produtivo e ao mesmo tempo traga a sustentabilidade ao solo. Uma alternativa é o consórcio da cultura do milho segunda safra com plantas de cobertura do solo. A cultura do milho é uma das plantas mais favoráveis a esse sistema de cultivo devido a sua grande adaptação ao sistema de consórcio. Vale ressaltar que independentemente da planta de cobertura do solo utilizada no sistema de consórcio, há uma maior produção de massa seca tanto aérea quanto radicular com seu uso (SEIDEL et al., 2015).

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

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

A fração humificada constituiu aproximadamente 70 a 80% da MOS e 85 a 90% do COT sendo composta por ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina

(HUM), que são metodologicamente fracionados em função de sua solubilidade a diferentes valores de pH (ROSSI et al., 2011).

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

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

MATERIAL E MÉTODOS

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

A caracterização química (0 - 0,20 m) foi realizada de acordo com a metodologia de Raij et al. (2001). Os resultados apresentados foram: pH (CaCl₂) = 5,85; M.O. = 35,16 g dm⁻³; P = 61,71 mg dm⁻³; Ca²⁺ = 5,78 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 1,52 cmol_c dm⁻³; K⁺ = 0,35 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,0 cmol_c dm⁻³; H⁺ + Al³⁺ = 3,54 cmol_c dm⁻³ e V (%) = 68,36. Para a determinação granulométrica foi utilizado o método do densímetro de Bouyoucos, conforme Embrapa (1997). Os resultados foram: 843 g kg⁻¹ de argila, 86 g kg⁻¹ de silte e 71 g kg⁻¹ de areia.

O trabalho experimental foi realizado nos anos de 2016 e 2017 no cultivo da cultura do milho segunda safra. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao

acaso (DBC), com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pela cultura do milho em monocultivo e com consórcio com diferentes plantas de cobertura do solo. As espécies de plantas utilizadas no consórcio foram: duas da família *Poaceae* (*Urochloa ruziziensis* e *Avena strigosa* S.) e duas da família *Fabaceae* (*Cajanus cajan* e *Crotalaria spectabilis*). Cada parcela foi composta por 30,0 m de comprimento e 10,0 m de largura, totalizando 300 m². À área útil de cada parcela foi calculada descartando 2,0 m de cada extremidade e 1,0 m de cada uma das laterais, totalizando 208,0 m².

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

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

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

Os tratos culturais foram realizados conforme necessidades das culturas. Após 30 a 40 dias da colheita do milho, as plantas foram manejadas utilizando 3 kg ha⁻¹ do equivalente Ácido Glifosato.

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

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

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

Diante dos sistemas de cultivo utilizados na cultura do milho: Milho+Braquiária (MB); Milho+Aveia (MA); Milho+Feijão guandu anão (MF); Milho+Crotalária (MC) e Milho (M), os seguintes contrastes foram estabelecidos para as comparações: C₁: (MB+MA+MF+MC) X (M); C₂: (MB+MA) X (MF+MC); C₃: MB X MA e; C₄: MF X

MC. Além disso, foram comparados os dois anos de cultivo (2016 e 2017) pelo seguinte contraste: C₅: 2016 X 2017.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve diferenças significativas ($p > 0,01$ e $p > 0,05$) no teor do COT na comparação entre o cultivo do milho em monocultivo e em consórcio com plantas de cobertura do solo (braquiária, aveia, feijão guandu anão e crotalária), observada no contraste C₁ na profundidade de 0 - 0,20 m (Tabela 1).

Tabela 1 - Teores de carbono orgânico total (COT) e de carbono orgânico das frações humificadas da MOS ácido fúlvico (AF), ácido húmico (AH) e humina (HUM), extrato alcalino (EA), carbono não humificado (CNH) e relações ácido húmico/ácido fúlvico (AH/AF) e extrato alcalino/humina (EA/HUM) nos cultivos de milho na segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo nos anos de 2016 e 2017 nas profundidades de avaliação de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m

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

C ₁	1,33**	0,42**	0,52**	1,30**	0,94**	-0,91 ^{ns}	0,13*	0,03 ^{ns}
C ₂	0,99*	0,71**	-0,06 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,64**	0,25 ^{ns}	-0,12*	0,05*
C ₃	-1,31*	-1,23**	-0,57*	0,01 ^{ns}	-1,79**	0,48 ^{ns}	-0,04 ^{ns}	-0,19**
C ₄	-0,67 ^{ns}	-0,11 ^{ns}	0,06 ^{ns}	-1,58**	-0,05 ^{ns}	0,95 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,08*
2016	21,42	3,57	2,27	11,39	5,84	4,20	0,64	0,52
2017	14,58	3,35	1,17	8,37	4,52	1,69	0,35	0,53
Contraste								
C ₅	6,84**	0,22*	1,10**	3,01**	1,32**	2,50**	0,29**	-0,02 ^{ns}

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

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

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

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

Provavelmente devido ao pouco tempo entre o processo de manejo das plantas de cobertura do solo e a coleta das amostras de solo, portanto, não houve tempo suficiente para o processo de decomposição (ANSCHAU, 2018).

Pode-se observar que houve diferença significativa ($p < 0,01$) entre as famílias de plantas de cobertura do solo utilizadas no consórcio com a cultura do milho na segunda safra para o teor de COT na profundidade de 0 - 0,20 m. O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo da família *Fabaceae* apresentaram 1,58 g kg⁻¹ a mais do que as plantas da família *Poaceae* (C₂), uma diferença de aproximadamente 7%. As plantas da família *Poaceae* apresentam alta relação C/N, demorando mais tempo para ser decomposta, e consequentemente sendo mais lenta a adição COT no solo.

Desta forma, é interessante o consórcio entre diferentes famílias de plantas, pois geram a produção de uma fitomassa de relação C/N intermediária, diferente daquelas que são utilizadas apenas uma famílias (LOSS et al., 2015).

Quanto aos teores de COT na profundidade de 0,20 - 0,40 m, observa-se na Tabela 1 que no milho em consórcio com as plantas de cobertura apresentou um teor de COT de 1,33 g kg⁻¹ a mais do que o cultivo de milho em monocultivo (C₁), uma diferença de mais de 7%. Nessa profundidade de avaliação, ainda foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as famílias das plantas de cobertura (C₂), em que as plantas da família *Poaceae* apresentaram um teor de COT 0,99 g kg⁻¹ a mais do que as plantas da família *Fabaceae*. Além disso, também foram constatadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as plantas de cobertura do solo da família *Poaceae* (C₃), o milho cultivado em

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

Assim como em diversos estudos em solos tropicais, neste trabalho verificou-se que dentre as frações da MOS, a HUM foi a que apresentou os maiores teores independentemente da espécie cultivada. Os altos teores de HUM, normalmente estão ligados ao tamanho das moléculas, ao seu maior grau de estabilidade e resistência à biodegradação devido à complexação com íons metálicos ou pela formação de compostos argilo-húmicos estáveis (ROSSI et al., 2011).

Os teores de AF e AH, foram superiores no milho consorciado com plantas de cobertura nas duas profundidades avaliadas, em comparação milho em monocultivo (C₁). Além disso, verificou-se diferenças significativas ($p < 0,01$) em ambas as profundidades avaliadas (0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m) para o cultivo de milho consorciado com as plantas de cobertura da família *Poaceae*, apresentaram maiores teores de AF quando comparadas às *Fabaceae* (C₂), aproximadamente 12 e 18 %, respectivamente as profundidades de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m (Tabela 1).

Verificou-se também que o cultivo de milho consorciado com aveia preta promoveu os maiores teores de AF e AH em ambas as profundidades avaliadas, quando comparado ao milho consorciado com braquiária (C₃). Na profundidade de 0 - 0,20 m o cultivo de milho com aveia preta aumentou o teor de AF em 1,42 g kg⁻¹ e de AH em 1,28 g kg⁻¹ em comparação ao milho consorciado com braquiária; e na profundidade de 0,20 - 0,40 m, este aumento foi 1,23 g kg⁻¹ de AF e 0,57 g kg⁻¹ de AH. Além disso, o cultivo de milho consorciado com feijão guandu anão, apresentou um teor de AH de aproximadamente 18 % (Tabela 1) a mais que o cultivo de milho consorciado com crotalária (C₄).

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

Anschau (2018) verificaram que após o manejo das plantas de cobertura em Latossolo houve alterações no teor do AF; no entanto, não houve alterações no teor de AH.

O processo de estabilização da MOS começa com a formação de AF e segue em direção aos AH e depois HUM, assim, mudanças iniciais são esperadas na fração AF, já que este é o primeiro estágio em direção à estabilização da MOS, além disso, em Latossolos, os teores de AF são superiores aos teores de AH (ROSA, 2013). Diante disso, percebe-se que a utilização do milho consorciado com plantas de cobertura do solo, promove a manutenção dos resíduos culturais no solo, tanto em superfície quanto em subsuperfície, o que proporciona uma decomposição mais lenta e contínua do material vegetal depositado.

Com relação a fração HUM na profundidade de 0,20 - 0,40 m, foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,01$). Verificou-se que a utilização das plantas em cobertura do solo em consórcio com a cultura do milho, aumentou em aproximadamente 13 % o teor de HUM no solo quando comparado ao cultivo do milho em monocultivo. Também o cultivo de milho consorciado com crotalária apresentou um acréscimo 1,58 g kg de HUM em relação a milho consorciado com feijão guandu anão (Tabela 1).

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

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

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

neste experimento onde há um aumento inicialmente do conteúdo de AF no solo (ROSA et al., 2013). A relação AH/AF pode ser considerada um indicador da qualidade do húmus, expressando o grau da evolução do processo de humificação da MOS, auxiliando no monitoramento dos sistemas de produção.

Nas duas profundidades avaliadas a maior relação AH/AF foi no cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo, em comparação ao milho em monocultivo (C₁). No contraste entre as famílias *Fabaceae* e *Poaceae*, a maior relação AH/AF foi observada nas plantas de cobertura da família *Fabaceae*. E dentro da família *Poaceae* o milho consorciado com braquiária teve menor relação AH/AF do que com aveia preta (C₃) (Tabela 1).

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

A relação EA/HUM foi em média de 0,52; sendo considerados baixos. Os teores baixos desta relação indicam alta estabilidade da matéria orgânica com a matriz mineral do solo, proporcionado pela interação entre as argilas ou cátions de cálcio e ou magnésio com os grupos funcionais da MOS; além disso, indica o predomínio da HUM no solo (CANELLAS et al. 200).

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

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

Ao analisar os dois anos de cultivo no contraste (C₅), observou-se que apenas os AF na profundidade de 0 - 0,20 m e a relação EA/HUM na profundidade de 0,20 - 0,40 m, não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,01$). Os teores de COT, AF, AH, EA, CNH, AH/AF, EA/HUM foram maiores no cultivo da cultura do milho de segunda safra no ano de 2016, em ambas profundidades avaliadas; bem como os teores de HUM na profundidade de 0,20 - 0,40 m (Tabela 1).

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

Com base na Tabela 2 são apresentados a contribuição de cada fração das substâncias húmicas do solo e do CNH em relação ao teor do COT, nas profundidades de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m. Verificou-se que ambas profundidades a fração AH% no cultivo do milho consorciado com as plantas de cobertura do solo foi em média 3,90% maior do que no milho em monocultivo (C₁). Além disso, o sistema de milho em monocultivo apresentou menor teor de CNH% (5,72%) na profundidade de 0 - 0,20 m (Tabela 2).

Esses resultados, evidenciam o fato que o sistema de consórcio da cultura do milho com plantas de cobertura do solo tem grande potencial em promover a qualidade do solo e ao mesmo tempo produzir grãos de milho. Pois, esses resultados indicam que o sistema de consórcio aumentou o tempo de preservação da palhada e conseqüentemente maior acúmulo de AH, promovendo melhorias na qualidade da MOS (CANELLAS et al., 2003).

O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura do solo da família *Poaceae* apresentaram a maior fração de AF%, nas duas profundidades avaliadas, quando comparado ao cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura da família *Fabaceae*. Sendo 3,90% a mais para a profundidade de 0 - 0,20 m e 2,99% a mais para profundidade de 0,20 - 0,40 m.

Tabela 2 – Distribuição em porcentagem das frações húmicas do solo, ácido fúlvico (AF, ácido húmico (AH), humina (HUM) e carbono não humificado (CNH) nos cultivos

de milho na segunda safra consorciado com plantas de cobertura do solo nos anos de 2016 e 2017 nas profundidades de avaliação de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m

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

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

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

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

Dessa forma, verifica-se que o cultivo da cultura do milho consorciado com braquiária apresentou os menores teores de AF% e AH% nas profundidades de 0 - 0,20 e 0,20 - 0,40 m, respectivamente para o AF% 6,32 e 4,70% e para o AH% 6,48 e 3,33% (Tabela 2), quando comparado com o cultivo de milho consorciado com aveia preta (C₃). No entanto, verificou-se que esse mesmo sistema de cultivo (milho consorciado com braquiária), apresentou 6,10% a mais de HUM% e 6,70% a mais de CNH% na profundidade de 0 - 0,20 m (Tabela 2), quando comparado ao cultivo da cultura do milho consorciado com aveia preta. Já no cultivo de milho consorciado com feijão guandu anão, verificou-se que o cultivo apresentou 2,17% a mais de AH%, no entanto, obteve 8,48% a menos de HUM% na fração do COT na profundidade de 0 - 0,20 m (Tabela 2), quando comparado ao cultivo de milho consorciado com crotalária (C₄).

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

duas profundidades avaliadas. Portanto, no ano de 2017 houve maiores relações AH%, sendo esta propriedade química indicadora na melhoria da qualidade da matéria orgânica (Tabela 2).

CONCLUSÕES

O cultivo de milho consorciado com plantas de cobertura da família *Poaceae* e *Fabaceae* aumentaram os teores de COT nas profundidades de 0 - 0,20 m e 0,20 - 0,40m respectivamente, demonstrando assim, grande potencial em promover a qualidade do solo no sistema de plantio direto.

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

REFERÊNCIAS

- ANSCHAU, K. A.; SEIDEL, E. P. MOTTIN, M. C.; LERNER, K. L.; FRANZISKOWSKI, M. A.; HERRMANN, D. da R. Propriedades físicas do solo, características agrônômicas e produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 17, n. 3, jul./set., p. 293-299, 2018.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação Agrícola**, 2006.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, **Comunicado Técnico**, 7p., 2003.
- BRACALIÃO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo Vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, V. 32, 393 - 404, 2008.
- CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 935-944, 2003.
- CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas Climáticas do Paraná**. Londrina, Instituto agrônômico do Paraná (IAPAR), 2000. CD-ROM.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), 1997. 212 p.

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

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

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

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

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

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.

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

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

SEIDEL, E. P.; MATTIA, V.; MATTEI, E.; CORBARI, F. Produção de Matéria Seca e Propriedades Físicas do Solo na Consorciação Milho e Braquiária. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 14, p. 18-24, 2015.

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

Recebido em: 10/10/2022

Aprovado em: 15/11/2022

Publicado em: 23/11/2022