

FRACIONAMENTO QUÍMICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM ÁREA DE LAVOURA CAFEIEIRA COM PLANTAS DE COBERTURA E MÉTODOS DE CONTROLE DE PLANTAS DANINHAS

Bruno Henrique Martins^{1,5}; Cezar Francisco Araujo-Junior²; Mario Miyazawa³; Karen Mayara Vieira⁴

¹ Pesquisador colaborador, Dr., IAPAR, Londrina – PR, brn0321@gmail.com

² Pesquisador, Dr., IAPAR, Londrina – PR, cezar_araujo@iapar.br

³ Pesquisador, Dr., IAPAR, Londrina – PR, miyazawaiapar@gmail.com

⁴ Graduanda em Química, UNOPAR, Londrina – PR, mah.suzumura@gmail.com

⁵ Bolsista do Programa Nacional de Pós-Doutorado / Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (PNPD/CAPES) pelo Programa de Pós-Graduação em Agricultura Conservacionista do IAPAR.

RESUMO: Métodos de controle de plantas daninhas em lavouras cafeeiras alteram a composição da matéria orgânica do solo (MOS) bem como o conteúdo de carbono ligado às substâncias húmicas (SH). Nesse sentido, o objetivo desse estudo é avaliar o conteúdo e distribuição de carbono húmico em área experimental de lavoura cafeeira submetida a plantas de cobertura e métodos culturais, mecânicos e químicos de controle de plantas daninhas. O estudo foi conduzido no Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR. O experimento foi delineado em blocos ao acaso com sete tratamentos e quatro replicatas, em esquema de parcela sub-dividida. Sete métodos de controle/plantas de cobertura nas entrelinhas da lavoura foram analisados ((i) capina manual; (ii) roçadora mecânica portátil; (iii) herbicidas de pré e pós (glyphosate, emergência; (iv) planta de cobertura amendoim cavalo (*Arachis hypogaeae*); (v) planta de cobertura mucuna anã (*Mucuna deeringiana*); (vi) sem capina nas entrelinhas; (vii) controle (sem capina nas entrelinhas e linhas da lavoura)). Amostras de solo foram coletadas no centro das entrelinhas em quatro incrementos de profundidade (0 – 10 cm até 30 – 40 cm). SH foram extraídas de acordo com metodologia estabelecida e o conteúdo de carbono determinado por oxidação úmida. Pela análise dos resultados foi possível observar que as diferentes plantas de cobertura/métodos de controle de plantas daninhas não alteraram o conteúdo de carbono de ácidos húmicos e fúlvicos (C-AH e C-AF, respectivamente), contudo inferiram em aumento no teor de carbono ligado à fração húmica (C-HU) na camada superficial (0 – 10cm).

PALAVRAS-CHAVE: matéria orgânica do solo, fracionamento químico, plantas de cobertura, controle de plantas daninhas.

SOIL ORGANIC MATTER QUALITY IN AREA UNDER COFFEE PLANTATION WITH COVER CROPS AND WEED CONTROL METHODS

ABSTRACT: Weed control methods on coffee crops alter soil organic matter (SOM) composition and humic substances (HS) carbon content. This study assessed humic carbon content and distribution in a long-term coffee crop under cover crops and cultural, mechanical and chemical weed control methods. The study was conducted at the Agronomic Institute of Paraná – IAPAR. The experiment was installed in randomized block design with four replicates, comprising a split-plot scheme. Seven weed control methods/cover crops at the interrows were analyzed ((i) hand weeding; (ii) portable mechanical mower; (iii) pre and post emergence herbicide; (iv) cover crop peanut horse (*Arachis hypogaeae*); (v) cover crop dwarf mucuna (*Mucuna deeringiana*); (vi) no-weed control between coffee rows; (vii) weed check (no-weed control at between coffee rows and below canopy). Soil samples were collected at four depth increments (0 – 10 cm to 30 – 40 cm) at the center of the interrows. HS were extracted according to established methodology and the carbon content was determined by wet oxidation method. It was observed that the different cover crops/weed control methods did not alter carbon content from humic and fulvic acids (C-HA and C-FA, respectively), nevertheless they lead to humin carbon content (C-HU) increase at top soil (0 – 10 cm).

KEYWORDS: soil organic matter, chemical fractionation, cover crops, weed control methods.

INTRODUÇÃO

A lavoura cafeeira é considerada uma das principais atividades do agronegócio brasileiro. Ao longo dos anos, muita ênfase tem se dado em programas estaduais e federais no intuito da renovação e expansão da lavoura cafeeira, tendo em vista sua importância socioeconômica e cultural. Alguns estudos realizados em diferentes regiões do Brasil sob o cultivo de café têm demonstrado o potencial que sistemas diferenciados de manejo apresentam junto ao conteúdo de matéria orgânica do solo (MOS) (Alcântara & Ferreira, 2000; Araujo-Junior et al., 2011, 2013). A composição da MOS influencia inúmeras propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, tais como pH, capacidade de troca catiônica, imobilização e ciclagem de nutrientes, atividade microbiana. Existe uma relação muito estreita entre qualidade do solo e MOS, sobretudo seu conteúdo de carbono (Saha & Ghosh, 2013). Quaisquer alterações no conteúdo de MOS podem

causar efeitos deletérios junto à fertilidade do solo, pela alteração das propriedades químicas, físicas e biológicas (González-Ubierna et al., 2012). O fracionamento químico da MOS separa as substâncias húmicas (SH), as quais representam até 80% da MOS, compreendendo um dos maiores reservatórios de carbono no solo (Ikeya et al., 2011). O princípio básico do processo de fracionamento químico é a separação de SH de acordo com sua solubilidade em diferentes meios, como se segue: (i) ácidos fúlvicos (AF), solúveis em meios ácidos e básicos, (ii) ácidos húmicos (AH), insolúveis em meios ácidos e solúveis em meios básicos, e (iii) humina (HU), insolúvel em meios ácidos e básicos. A fração humina é relacionada com a presença de MOS recalcitrante, altamente estabilizada pela matriz mineral do solo, ao passo que os ácidos fúlvicos representam o conteúdo de matéria orgânica de caráter lábil, tais como ácidos orgânicos livres e exudatos de raízes, sendo mais suscetível ao processo de humificação. A fração de ácidos húmicos constitui a parcela intermediária entre os compostos estabilizados pela interação com minerais e os ácidos orgânicos livres na solução, refletindo tanto condições de gênese quanto de manejo do solo (Stevenson, 1994; Canellas et al., 2003). Um dos principais parâmetros de avaliação da qualidade da MOS é a quantificação do teor de carbono relacionado às SH. A caracterização de SH e sua proporção junto ao conteúdo de MOS é considerado crucial para o entendimento de sistemas agrícolas, do ciclo global de carbono, e para a avaliação de processos inerentes ao manejo diferenciado do solo (Ebeling et al., 2011). A quantificação e avaliação do conteúdo de carbono nas frações húmicas da MOS em lavoura cafeeira submetida a diferentes plantas de cobertura e métodos de controle de plantas ainda é escasso. Nesse sentido, o objetivo desse estudo é avaliar o conteúdo de carbono orgânico e sua distribuição nas SH de um Latossolo sob lavoura cafeeira e identificar o método de controle que contribui para a distribuição no perfil do solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em campo experimental instalado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, em Londrina (23°21'30" S; 51°10'17" O). O solo da área de estudo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013). Maiores detalhes sobre condições de campo e solo são dados por Araujo-Junior et al. (2013). Algumas propriedades químicas e físicas do solo em estudo são ilustradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades químicas e físicas do solo em estudo

| Características Químicas e Físicas do Solo | | | | | | | | | | |
|--|-----|--------------------------|---|--|---|--|---|--|--|---------------------------------------|
| Prof. (cm) | pH | P mg dm ⁻³ | Ca ----- cmol _c dm ⁻³ | K ----- cmol _c dm ⁻³ | Mg ----- cmol _c dm ⁻³ | COT ^a g dm ⁻³ | Argila ----- dag kg ⁻¹ | Silte ----- dag kg ⁻¹ | Areia ----- dag kg ⁻¹ | ρ ^b kg dm ⁻³ |
| 0-10 | 4.9 | 48.34 | 4.99 | 0.32 | 2.84 | 29.98 | 78 | 16 | 6 | 0.91 |
| 10-20 | 4.4 | 11.79 | 2.85 | 0.20 | 1.46 | 19.44 | 80 | 14 | 6 | 1.00 |
| 20-30 | 4.3 | 28.59 | 2.51 | 0.31 | 1.15 | 18.41 | 80 | 14 | 5 | 1.08 |
| 30-40 | 4.2 | 7.87 | 2.22 | 0.23 | 0.91 | 15.36 | 81 | 14 | 5 | 1.13 |

^a Carbono Orgânico Total; ^b Densidade do Solo

A área de estudo é cultivada com cafeeiros (*Coffea arabica* L.) cultivar Mundo Novo IAC 379-19 implantada em 1978, no espaçamento de 3,5 m nas entrelinhas da lavoura e 2,0 m entre as covas, sendo duas plantas por cova. Em 2008, o experimento foi delineado em blocos ao acaso com sete tratamentos e quarto replicatas, em esquema de parcela subdividida. Os métodos de controle de plantas daninhas e as plantas de cobertura nas entrelinhas foram considerados como fator principal nas parcelas, enquanto os incrementos de profundidade (0–10cm; 10–20cm; 20–30cm; 30–40cm) considerados como fator secundário. Os diferentes métodos de controle/plantas de cobertura considerados foram: (i) capina manual – HAWE; (ii) roçadora mecânica portátil – PMOW; (iii) herbicidas de pré (oxyfluorfen, Goal[®], 240 g L⁻¹) e pós (glyphosate, Roundup[®], 360 g L⁻¹) emergência – HERB; (iv) planta de cobertura amendoim cavalo (*Arachis hypogaeae*) – GMAY; (v) planta de cobertura mucuna anã (*Mucuna deeringiana*) – GMMA; (vi) sem capina nas entrelinhas – SCAP; (vii) controle – CONT (sem capina nas entrelinhas e linhas da lavoura). Na ocasião da instalação do experimento, os cafeeiros foram submetidos a uma poda do tipo decote em Agosto de 2008, a fim de recuperar os cafeeiros e igualar as condições para avaliações subsequentes. Em Setembro de 2013, os cafeeiros foram podados novamente, com poda do tipo esqueletamento (corte de todos os ramos plagiotrópicos a 20–30 cm do ramo ortotrópico) e decote do ramo ortotrópico a 1,60 m de altura da superfície do solo. Os resíduos oriundos da poda foram triturados mecanicamente por meio de triturador 2.300 Jan[®], tracionado pelo trator TL 75 E New Holland[®] nas entrelinhas dos cafeeiros, e mantidos na superfície do solo para incorporação biológica. A adubação mineral foi realizada em quatro aplicações, sendo que o fósforo foi fornecido em alta concentração em adubação única anual no mês de Setembro dos anos de 2013 e 2014, na dose de 90 kg de P₂O₅ por hectare, na forma de superfosfato simples granulado (18 % de P₂O₅). As doses de nitrogênio e potássio (230 kg de N e K₂O ha⁻¹ ano⁻¹) foram parceladas nos meses de Outubro/Dezembro e Fevereiro utilizando a proporção 20-00-20. Em Outubro de 2014, a adição de gesso agrícola (sulfato de cálcio diidratado CaSO₄·2H₂O) foi realizada na dose de 8 Mg ha⁻¹, com a finalidade de aumentar os teores de Ca trocável em

sub-superfície e reduzir a quantidade de Al total (Pavan et al., 1982). As amostras de solo foram coletadas Março de 2014, no centro das entrelinhas, a cerca de 1,75 m da copa do cafeeiro, usando enxadão tradicional, nas quatro profundidades. O montante coletado foi acondicionado em sacos plásticos, secos à temperatura ambiente, peneirados em malha de 2,0 mm de abertura, e finalmente triturados em moinho de facas. As substâncias húmicas foram extraídas de acordo com metodologia proposta por Benites et al. (2003). O conteúdo de carbono das frações húmicas foi determinado segundo procedimento de oxidação via úmida (Walkley & Black, 1934). Os dados foram analisados estatisticamente pelo uso do software Origin Pro 8.0 (OriginLab, Northampton, MA), por Análise de Variância (ANOVA) por incrementos de profundidade, com $p < 0,05$ de nível de significância pelo teste de Tukey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 ilustra os resultados de teores de carbono obtidos para ácidos húmicos e fúlvicos (C-AH e C-AF, respectivamente). Os dados foram discutidos em sub-grupos, levando-se em consideração as características principais dos métodos de controle de plantas daninhas analisados (CONT, SCAP, GMAY, GMMA – controle cultural; HAWE, PMOW – controle mecânico, e HERB – controle químico).

Tabela 2 – Teor de carbono para ácidos húmicos (C-AH) e fúlvicos (C-AF).

| | Teor de C | | | | | | | |
|------|---|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Ácidos Húmicos (mg C-AH. g solo ⁻¹) | | | | Ácidos Fúlvicos (mg C-AF. g solo ⁻¹) | | | |
| | 0-10cm | 10-20cm | 20-30cm | 30-40cm | 0-10cm | 10-20cm | 20-30cm | 30-40cm |
| SCAP | 2.50 ^{Aa} (0.14) | 2.27 ^{Aa} (0.01) | 2.20 ^{Aa} (0.15) | 2.10 ^{Aa} (0.11) | 1.38 ^{Aa} (0.11) | 1.88 ^{Aa} (0.31) | 1.57 ^{Aa} (0.17) | 1.19 ^{Aa} (0.08) |
| GMAY | 2.21 ^{Aa} (0.24) | 2.22 ^{Aa} (0.18) | 2.11 ^{Aa} (0.15) | 2.03 ^{Aa} (0.21) | 1.42 ^{Aa} (0.51) | 1.86 ^{Aa} (0.22) | 1.57 ^{Aa} (0.28) | 1.25 ^{Aa} (0.29) |
| PMOW | 2.36 ^{Aa} (0.09) | 1.94 ^{Aa} (0.19) | 1.88 ^{Aa} (0.28) | 2.08 ^{Aa} (0.14) | 2.04 ^{Aa} (0.35) | 1.33 ^{Aa} (0.30) | 1.62 ^{Aa} (0.20) | 1.75 ^{Aa} (0.27) |
| HAWE | 2.64 ^{Aa} (0.04) | 2.09 ^{Aa} (0.27) | 2.19 ^{Aa} (0.15) | 2.01 ^{Aa} (0.17) | 1.85 ^{Aa} (0.34) | 1.78 ^{Aa} (0.26) | 1.86 ^{Aa} (0.44) | 1.64 ^{Aa} (0.34) |
| CONT | 2.63 ^{Aa} (0.12) | 2.31 ^{Aa} (0.10) | 2.45 ^{Ab} (0.21) | 2.23 ^{Aa} (0.09) | 2.07 ^{Aa} (0.36) | 1.53 ^{Aa} (0.30) | 1.94 ^{Aa} (0.30) | 1.65 ^{Aa} (0.40) |
| GMMA | 2.41 ^{Aa} (0.23) | 2.24 ^{ABa} (0.11) | 1.69 ^{Bab} (0.42) | 2.38 ^{Aa} (0.25) | 1.82 ^{Aa} (0.26) | 1.71 ^{Aa} (0.25) | 1.70 ^{Aa} (0.34) | 1.70 ^{Aa} (0.28) |
| HERB | 2.56 ^{ABa} (0.10) | 2.26 ^{Aa} (0.19) | 2.06 ^{Aa} (0.14) | 1.88 ^{Ba} (0.20) | 1.86 ^{Aa} (0.32) | 1.74 ^{Aa} (0.36) | 1.45 ^{Aa} (0.34) | 1.24 ^{Aa} (0.19) |

SCAP = sem capina nas entrelinhas; GMAY = planta de cobertura amendoim cavalo; PMOW = controle de plantas daninhas por uso de roçadora portátil; HAWE = controle de plantas daninhas por capina manual; CONT = controle; GMMA = planta de cobertura mucuna anã; HERB = controle de plantas daninhas por herbicidas. As médias seguidas da mesma letra dentro de cada manejo comparam as profundidades e letras minúscula dentro de cada profundidade comparam os manejos não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Pela análise dos resultados foi possível observar ausência de variação nos teores de carbono de ácidos (C-AH e C-AF, nas camadas superficiais (0 – 10 cm e 10 – 20cm) para os métodos de controle de plantas daninhas avaliados. Por outro lado, o controle de plantas daninhas com herbicidas reduziu o teor de carbono orgânico ligado à fração ácido húmico na profundidade 30 – 40 cm e o uso do amendoim cavalo como planta de cobertura nas entrelinhas da lavoura cafeeira reduziu o C-AH na profundidade 20 – 30 cm (Tabela 2). O comportamento observado para as áreas de amendoim cavalo pode ser atribuído à possível influência de atividade microbiana junto à zona radicular da espécie (Balota & Chaves, 2010; White et al., 2011), influenciando no processo de humificação da área. No que tange ao teor de carbono ligado à fração de ácidos fúlvicos (C-AF), não foram observadas diferenças estatisticamente significativas dentre os métodos de controle analisados em quaisquer incrementos de profundidades. Dado que a fração de ácidos fúlvicos compreende a parcela de SH com maior mobilidade no solo e os ácidos húmicos a parcela com grau de humificação intermediário, a poda realizada em setembro de 2013, com a trituração dos ramos plagiotrópicos e ortotrópicos nas entrelinhas da lavoura cafeeira pode ter contribuído para a homogeneização do conteúdo de carbono

ligado às frações ácido húmico e ácido fúlvico, acarretando na ausência de variação observada mais notadamente para a segunda fração.

A Figura 1 ilustra o comportamento da distribuição e conteúdo de carbono para a fração humina (C-HU) para as condições analisadas.

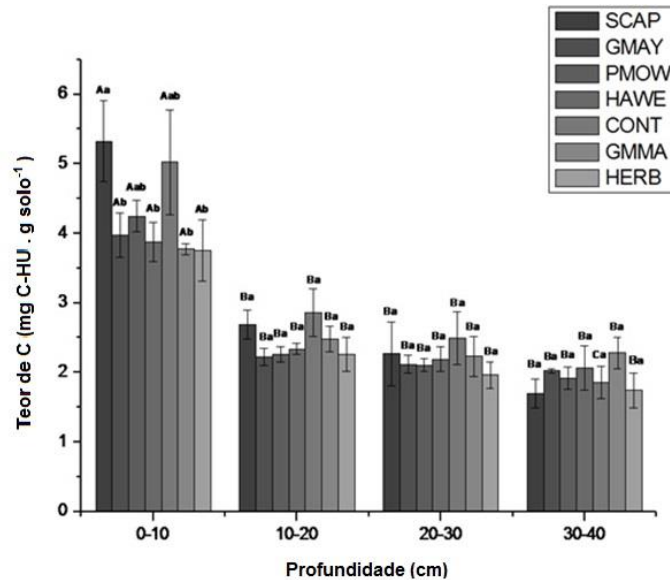


Figura 1 – Teor de carbono para fração humina (C-HU). SCAP = sem capina nas entrelinhas; GMAY = planta de cobertura amendoim cavalo; PMOW = controle de plantas daninhas por uso de roçadora portátil; HAWE = controle de plantas daninhas por capina manual; CONT = controle; GMMA = planta de cobertura mucuna anã; HERB = controle de plantas daninhas por herbicidas. As médias seguidas da mesma letra dentro de cada manejo comparam as profundidades e letras minúscula dentro de cada profundidade comparam os manejos não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Os resultados demonstraram diferença estatisticamente significativa na camada superficial (0–10 cm), com teores de carbono mais elevados, em todos métodos de controle de plantas daninha (cultural, mecânico e químico). Devido às suas características estruturais intrínsecas (alta estabilidade com a matriz mineral e insolubilidade), a humina tende a acumular-se em maior quantidade nas camadas superficiais do solo (Passos et al., 2007).

A análise dos dados de amostras provenientes do grupo de controle cultural permitiu observar maiores teores de carbono na fração humina (C-HU) nas áreas SCAP e CONT (aumento de 25%), em detrimento às demais deste mesmo grupo. O maior acúmulo na camada superficial pode ser decorrência das características similares que tais condições apresentam (ausência de manejo nas entrelinhas). Dessa forma, existe tendência de maior variabilidade de substrato disponível pela possível maior incidência de plantas daninhas, favorecendo o processo de humificação em tais áreas. Ainda, a permanência do resíduo de poda nas entrelinhas da lavoura pode ter influenciado na maior incidência de estruturas precursoras de humina, tais como celulose e lignina, levando ao aumento de carbono ligado a esta fração.

No que tange às amostras provenientes do grupo de controle mecânico (PMOW e HAWE), foi possível observar aumento de 9,4%, para amostras submetidas à primeira condição. O uso de roçadora portátil no controle/supressão de plantas daninhas nas entrelinhas possivelmente favoreceu o processo de formação de humina, dado que o equipamento corta e distribui os resíduos ao longo da superfície do solo, caracterizando maior uniformidade quando comparado à atividade manual. Assim, esta camada de resíduo vegetal recém-cortado pode conter estruturas mais suscetíveis à mineralização pela atividade microbiana do solo, e consequente processo de humificação, o que acarreta na maior formação de humina, sobretudo em camadas superficiais.

Através dos dados provenientes das amostras do grupo de controle químico (HERB) foi possível observar decréscimo médio de 28,4% em C-HU, quando comparado à área de Controle. O uso de herbicidas como método de controle/supressão de plantas daninhas, pode ter alterado negativamente o processo de humificação, levando a menores teores de carbono nas SH extraídas de área submetida à prática. Dessa forma, o uso de herbicidas como agente definitivo para controle de plantas daninhas deve ser ponderado com parcimônia, dado que pode causar alterações em propriedades químicas e biológicas do solo.

CONCLUSÕES

Métodos de controle de plantas daninhas não alteraram conteúdo de carbono de ácidos húmicos e fúlvicos;
Possível influência da permanência de resíduos de poda junto à evolução de ácidos húmicos e fúlvicos, considerando plantas de cobertura e métodos de controle analisados;
Maior conteúdo de carbono na fração humina na camada superficial (0 – 10 cm), sobretudo para as áreas de controle e sem capina nas entrelinhas;
O uso de herbicidas como controle de plantas daninhas influencia negativamente o processo de humificação, e consequente incidência de substâncias húmicas em relação ao método sem controle de plantas daninhas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCÂNTARA, E. N. & FERREIRA, M. M. (2000) Efeito de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sobre a qualidade física do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24(4):711-721.
- ARAÚJO-JUNIOR, C. F.; GUIMARÃES, P. T. G.; DIAS JUNIOR, M. S.; ALCÂNTARA, E. N.; MENDES, A. D. R. (2011) Alterações nos atributos químicos de um Latossolo pelo manejo de plantas invasoras em cafeeiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(6):2207-2217.
- ARAÚJO-JUNIOR, C. F.; RODRIGUES, B. N.; CHAVES, J. C. D.; YADA JUNIOR, G. M. (2013) Soil physical quality and carbon stocks related to weed control and cover crops in a Brazilian Oxisol. In: SOLONESKI, S.; LARRAMENDY, M. (Ed.). *Weed and Pest Control: Conventional and New Challenges*. Rijeka, Croácia: InTech. 1:181-205.
- BALOTA, E. L. & CHAVES, J. C. D. (2010) Enzymatic activity and mineralization of carbon and nitrogen in soil cultivated with coffee and green manures. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1573-1583.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. (2003) Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 7 p.
- CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. (2003) 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*, 27:935-944.
- DING, G.; NOVAK, J. M.; AMARASIRIWARDENA, D.; HUNT, P. G.; XING, B. (2002) Soil organic matter characteristics as affected by tillage management, *Soil Science Society of America Journal*, 66:421-429.
- EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; PINHEIRO, E. F. M.; VALLADARES, G. S. (2011) Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. *Bragantia*, 70(1):157-165.
- GONZÁLEZ-UBIARNA, S.; JORGE-MARDOMINGO, I.; CARRERO-GONZÁLEZ, B.; CRUZ, M. T.; CASERMEIRO, M.A. (2012) Soil organic matter evolution after the application of high doses of organic amendments in a Mediterranean calcareous soil. *Journal of Soils and Sediments*, 12:1257-1268.
- IKEYA, K.; HIKAGE, T.; ARAI, S.; WATANABE, A. (2011) Size distribution of condensed aromatic rings in various soil humic acids. *Organic Geochemistry*, 42:55-61.
- PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, E. S.; CANTARUTTI, R. B.; SOUZA, A. P. (2007) Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico sob duas coberturas vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:1119-1129.
- PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. (1982) Toxicity of aluminum to coffee in Ultisols and Oxisols amended with CaCO₃, MgCO₃ and CaSO₄.2H₂O. *Soil Science Society of America Journal*, 46: 1201-1207.
- SAHA, R. & GHOSH, P. K. (2013) Soil organic carbon stock, moisture availability and crop yield as influenced by residue management and tillage practices in maize-mustard cropping system under hill agro-ecosystem. *National Academy Science Letters*, 36(5):461-468.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. (2013) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa, 353 p.
- STEVENSON, F. J. (1994) *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. New York: John Wiley, 496 p.
- WALKLEY, A. & BLACK, I. (1934) An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1): 29-38.
- WHITE, K.E.; REEVES, J.B. III; COALE, F.J. (2011) Mid-infrared diffuse reflectance spectroscopy for the rapid analysis of plant root composition. *Geoderma*, 167-168:197-203.