

Fracionamento físico da matéria orgânica e índice de manejo de carbono de um Argissolo submetido a sistemas conservacionistas de manejo

Physical fractionation of organic matter and carbon management index of an Alfisol subjected to conservation management systems

Paulo Cesar Conceição^I Cimélio Bayer^{II} Jeferson Dieckow^{III} Daiane Carvalho dos Santos^{II}

RESUMO

O fracionamento físico da matéria orgânica (MO) do solo é uma alternativa para a obtenção de frações lábeis utilizadas no cálculo do índice de manejo de carbono (IMC). O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do fracionamento físico granulométrico (53 μm) e densimétrico, com soluções de iodeto de sódio 1,8Mg m⁻³ (NaI) ou politungstato de sódio 2,0Mg m⁻³ (PTS), na separação das frações lábeis (particulada e leve, respectivamente) da MO e o seu uso na estimativa do IMC. Amostras da camada de 0-20cm de um Argissolo Vermelho sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD), combinados com dois sistemas de culturas (aveia/milho e aveia+ervilhaca/milho+caupi), foram avaliadas quanto ao estoque de carbono orgânico total (COT), e nas frações particulada (COP) e leve (C-FL) da MO. No fracionamento físico densimétrico, com a utilização de NaI, foi recuperado menos C-FL em relação ao uso de PTS. A recuperação de COP no fracionamento granulométrico foi intermediária entre a recuperação de FL-NaI e de FL-PTS. O IMC com os dados do fracionamento granulométrico apresentou elevada correlação com o IMC dos dados de fracionamento densimétrico (NaI e PTS), havendo porém uma subestimação dos resultados com o uso de NaI. Os sistemas de manejo sem revolvimento do solo e com maior aporte de resíduos vegetais resultaram em maior IMC, tanto pelo aumento do índice de labilidade quanto do índice de estoque de carbono. O IMC a partir de frações físicas densimétricas da MO demonstra ser um índice eficiente na discriminação de sistemas de manejo, podendo ser utilizado na avaliação das práticas de manejo do solo.

Palavras-chave: fração leve, iodeto de sódio, politungstato de sódio, plantio direto.

ABSTRACT

The physical fractionation of soil organic matter (SOM) is an alternative in assessing the amount of labile fraction

that is used to calculate the carbon management index (CMI). The objective this research was to assess the efficiency of particle-size physical fractionation, (53- μm mesh), and density physical fractionation, with sodium iodide 1.8Mg m⁻³ (NaI) or sodium polytungstate 2.0Mg m⁻³ (PTS) solutions, at recovering SOM labile fractions (particulate and light, respectively) and at estimating the CMI. Soil samples of the 0-20cm layer of a sandy clay loam Acrisol under conventional tillage (CT) and no-tillage (NT) combined with two cropping systems (oat/maize and oat+vetch/maize+cowpea) were analyzed for stocks of total organic carbon (TOC), particulate organic carbon fraction (POC) and light fraction carbon (LF-C). In density physical fractionation, with the use of NaI was recovered less LF-C than PTS. The recovery of POC by particle-size fractionation was intermediate between the recovery of NaI-LF and PTS-LF. The CMI calculated after particle-size fractionation showed high correlation with CMI after density fractionation with NaI or PTS, although results were rather underestimated with NaI. Conservation management systems without soil disturbance and with higher crop residue addition enhanced the CMI, because of increments of both lability index and carbon pool index. The CMI based on SOM physical densimetrical fraction shows evidence of being an efficient index to discriminate management systems that can be used to assess soil management practices.

Key words: light fraction, sodium iodide, sodium polytungstate, no-tillage.

INTRODUÇÃO

O índice de manejo de carbono (IMC) proposto por BLAIR et al. (1995) visa avaliar de forma conjunta o efeito dos sistemas de manejos na quantidade e na qualidade (labilidade) da matéria orgânica (MO) do solo. As estimativas do IMC são

^ICoordenação de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), CP 157, 85660-000, Dois Vizinhos, PR, Brasil. E-mail: paulocesar@utfpr.edu.br. Autor para correspondência.

^{II}Departamento de Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil.

^{III}Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR, Brasil.

realizadas considerando um índice de estoque de carbono (IEC) que relaciona o estoque do tratamento em estudo com o estoque de um sistema de referência. Como referência, usualmente, são utilizadas áreas que não sofreram interferência antrópica (referência positiva), mas podem ser utilizadas também áreas sujeitas à degradação (referência negativa). Para calcular o IMC, é necessário também obter o índice de labilidade do carbono (ILC), que avalia a proporção entre os compartimentos da MO (lábeis e não lábeis). Assim, o IMC é calculado tomando por base um sistema de referência (IMC=100).

Para obtenção dos compartimentos da MO do solo, é necessário utilizar metodologias de fracionamento da MO que tanto podem ser químicas como físicas (ROSCOE & MACHADO, 2002). Dentro dos métodos físicos de separação, podem ser usados métodos granulométricos (separação mediante uso de peneiramento) ou densimétrico (separação mediante uso de soluções densas) (ROSCOE & MACHADO, 2002). No fracionamento físico densimétrico, a utilização de solução de NaI, embora corriqueira, apresenta alguns inconvenientes, especialmente devido à toxicidade do produto, além de subestimar o rendimento de C da fração leve (C-FL) da MO do solo (CONCEIÇÃO et al., 2007). Nesse sentido, a utilização de solução de PTS tem sido considerada mais adequada, pois proporciona maior rendimento da FL e influencia nos resultados obtidos principalmente em estudos visando à avaliação da proteção física da MO (CONCEIÇÃO et al., 2007).

O uso da oxidação química das amostras com KMnO_4 na determinação das frações lábeis da MO para obtenção do IMC foi utilizado por BLAIR et al. (1995) e estudos recentes foram realizados utilizando este procedimento e suas variantes (SILVA et al., 2011, GUARESCHI et al., 2013). Em alternativa a esse procedimento, DIEKOW et al. (2005) e VIEIRA et al. (2007) propuseram o uso do fracionamento físico granulométrico da MO do solo na obtenção das frações lábeis. O uso do fracionamento físico (granulométrico) na obtenção do IMC, proposto por DIEKOW et al. (2005), considera, entre outros fatores, a maior facilidade de obtenção das frações lábeis relativo ao uso do método químico de fracionamento da MO, proposto por BLAIR et al. (1995). VIEIRA et al. (2007) compararam a metodologia de fracionamento químico (BLAIR et al., 1995) e físico granulométrico corroborando a eficiência do uso do IMC proposto por DIEKOW et al. (2005).

A partir desses estudos pioneiros utilizando o fracionamento físico da MO na quantificação de

frações lábeis da MO e estimativa do IMC outros estudos foram realizados utilizando o fracionamento granulométrico da MO (LOSS et al., 2011; ROSSI et al., 2012), os quais evidenciaram o efeito positivo do plantio direto (PD) e de sistemas de cultura com alto aporte de resíduos vegetais no aumento do IMC, como reflexo do seu efeito no estoque e labilidade da MO do solo (BAYER et al. 2009; CAMPOS et al., 2011). No entanto, estudos de IMC tendo por base frações da MO obtidas por densimetria não têm sido utilizados.

Dessa forma, o presente estudo teve por objetivo comparar o fracionamento físico granulométrico (peneira 53 μm) e densimétrico (soluções de NaI 1,8 Mg m^{-3} e soluções de PTS 2,0 Mg m^{-3}) quanto a sua eficiência na determinação da labilidade da MO do solo e estimativa do IMC em Argissolo, submetido a sistemas de manejo conservacionista.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido a partir de amostras de solo coletadas em experimento de longa duração (18 anos), conduzido na Estação Experimental Agronômica (EEA) da UFRGS, município de Eldorado do Sul- RS (30°50'52"S e 51°38'08"W). O clima da região, segundo classificação de Köppen, é o subtropical de verão úmido quente do tipo fundamental-Cfa, com temperatura média anual de 19,4°C e precipitação média anual de 1440mm (MORENO, 1961). O experimento foi instalado no ano de 1985 em um Argissolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006) de textura franco-argilo-arenosa (220g kg^{-1} de argila), caulínico, substrato granito, com 56g kg^{-1} de Fe_2O_3 .

O solo foi amostrado em 2003 (18º ano do experimento), ao final do ciclo das culturas de inverno, nos sistemas de preparo convencional (PC), com uma aração e duas gradagens niveladoras na primavera, antecedendo o plantio do milho e plantio direto (PD), no qual a semeadura do milho é realizada com semeadora sobre os resíduos das culturas antecessoras. Estes dois sistemas de preparo de solo foram associados a dois sistemas de culturas: i) aveia preta (*Avena strigosa* Schreb)/milho (*Zea mays* L.) (AM) e ii) aveia+ervilhaca (*Vicia sativa* L.)/milho+caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] (AVMC). Tanto as culturas de cobertura do solo no inverno como o caupi no verão foram implantadas em linha, porém o caupi foi semeado manualmente nas entrefileiras da cultura do milho. Informação detalhada referente ao experimento pode ser obtida em LOVATO et al. (2004). Em área adjacente ao

experimento, foram coletadas amostras de solo sob campo nativo (CN) como referência das condições naturais do solo (referência positiva).

A amostragem manual do solo com auxílio de espátula foi realizada na camada de 0-20cm de profundidade após a abertura de minitrincheiras (20x20x30cm) transversais às linhas de semeadura e o solo, acondicionado em sacos plásticos. No laboratório, as amostras foram secas ao ar e moídas para passar em peneira de 2mm, com uso de rolo de madeira. Uma subamostra de solo foi moída em gral de ágata até a granulometria de 250 μ m e submetida à análise do teor de carbono orgânico total (COT) por combustão seca (Shimadzu-TOC-V CSH).

No fracionamento físico densimétrico (GOLCHIN et al., 1994), 10g de solo moído a 2mm foi disposto em tubo de centrifuga de 100mL, contendo 80mL de solução densa. O método foi efetuado usando solução de NaI 1,8Mg m⁻³ e também de PTS 2,0Mg m⁻³. A suspensão foi sonicada com energia de 250J mL⁻¹, a qual é a energia necessária para a completa dispersão de amostras do Argissolo (INDA JUNIOR et al., 2007). A suspensão foi centrifugada a 2000g por 90 minutos e o sobrenadante contendo a FL da MO, filtrado, sob vácuo, em filtro Whatman GF/C, previamente quantificado em relação a sua massa. Para retirar o excesso de sal (NaI ou PTS), o filtro+FL foi lavado com água destilada, sendo seco a 60°C por 24 horas e quantificado quanto à sua massa.

O fracionamento físico granulométrico da MO consistiu na adição de 20g de solo em frascos snap-cap de 100mL, contendo 60mL de hexametáfosfato de sódio (5g L⁻¹), e agitação da suspensão por 15 horas em agitador horizontal (150 oscilações min⁻¹). A suspensão foi lavada com jato de água em peneira (53 μ m), sendo a fração retida na peneira correspondente ao carbono orgânico particulado (COP), a qual foi seca em estufa a 60°C por 24 horas e quantificada em relação a sua massa (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992).

A FL e o COP foram analisados, em relação aos teores de C, pelo método da combustão seca em analisador Shimadzu-TOC-V CSH. Os estoques de COT e de C-FL e COP (frações lábeis da MO) foram calculados a partir dos teores de C e massa das respectivas frações da MO. Os estoques de C nas frações não lábeis da MO (fração pesada-FP e associada aos minerais-CAM) foram calculados por diferença entre os estoques de COT e os estoques de C-FL e COP. Os estoques de COT e de C nas frações da MO foram calculados em massa equivalente (ELLERT & BETTANY, 1995), considerando o tratamento sob vegetação nativa como referência.

Os cálculos para a estimativa do Índice de Manejo de Carbono (IMC) foram realizados sendo o solo de campo nativo (CN) adjacente à área experimental tomado como referência (IMC=100). Inicialmente, foi calculado o Índice de estoque de Carbono- IEC (Equação 1) e a labilidade do C (LC) (Equação 2), a qual permitiu a estimativa do ILC (Equação 3).

$$IEC = \frac{estC_{trat.}}{estC_{Ref.}} \quad (1)$$

$$LC = \frac{estC_{lável}}{estC_{não\ lábil}} \quad (2)$$

$$ILC = \frac{LC_{trat.}}{LC_{Ref.}} \quad (3)$$

em que: IEC = índice de estoque de C do solo; $est_{C_{trat}}$ = estoque de C do solo do tratamento (Mg ha⁻¹); $est_{C_{Ref.}}$ = estoque de C do solo do sistema referência (Mg ha⁻¹); LC = labilidade do C do solo; $est_{C_{lável}}$ = estoque de C da FL ou do COP (Mg ha⁻¹); $est_{C_{não\ lábil}}$ = estoque de C da FP ou do CAM (Mg ha⁻¹); ILC = índice de labilidade do C do solo; $LC_{trat.}$ = labilidade do C do solo no tratamento e $LC_{Ref.}$ = labilidade do C do solo no sistema referência.

A partir do IEC e ILC, foi calculado o IMC expresso em porcentagem (Equação 4).

$$IMC = IEC \times ILC \times 100 \quad (4)$$

Os valores de estoques de COT do solo e de C das frações físicas da MO foram submetidos à análise da variância, considerando um delineamento em blocos ao acaso, sendo as diferenças entre médias avaliadas pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Os coeficientes de correlação de Pearson (r) foram obtidos por meio de correlação entre o IMC densimétrico (obtido com NaI e também com PTS) e o IMC granulométrico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fracionamento da MO e ILC

O estoque de C das frações leves da MO em 0-20cm, obtidos pelo método de fracionamento físico densimétrico com a solução de NaI 1,8Mg m⁻³ variaram entre 1,47Mg ha⁻¹ e 2,52Mg ha⁻¹ para o PC AM e CN, respectivamente (Tabela 1). Entretanto, para as frações leves, obtidas com a solução de PTS 2,0Mg m⁻³, esses valores foram maiores, variando entre 4,81Mg ha⁻¹ e 8,16Mg ha⁻¹ para PC AM e PD AVMC, respectivamente. O uso de solução de NaI resultou em menor rendimento de C-FL em relação à solução de

Tabela 1 - Estoque de carbono das frações leve (FL) e pesada (FP) da matéria orgânica, obtidas pelo método de fracionamento físico densimétrico com o uso de soluções de iodeto de sódio (NaI) e de politungstato de sódio (PTS), e das frações particulada (COP) e associada aos minerais (CAM), obtidas pelo método de fracionamento físico granulométrico e estoque de carbono orgânico total (COT) na camada de 0-20cm de um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo e de culturas.

Sistema de Manejo		Densimétrico				Granulométrico		COT	
		NaI 1,8Mg m ⁻³		PTS 2,0Mg m ⁻³		COP	CAM		
		FL	FP	FL	FP				
		Mg ha ⁻¹							
PC	AM	1,47 ns	26,30 bA*	4,81 ns	22,95 bA	2,37 ns	25,40 bA	27,76	
	AVMC	1,74	31,05 abA	6,48	26,32 abB	3,35	29,44 abAB	32,79	
PD	AM	1,74	29,34 bA	5,57	25,51 abA	3,11	27,97 abA	31,08	
	AVMC	2,36	34,91 aA	8,14	29,13 aB	4,36	32,91 aAB	37,27	
CAMPO NATIVO		2,52	36,80	6,28	33,04	3,86	35,46	39,32	
Médias de preparo									
PC		1,60 bC	28,67 ns	5,64 bA	24,63 ns	2,86 bB	27,42 ns	30,28	
PD		2,05 aC	32,12	6,85 aA	27,32	3,73 aB	30,44	34,17	
Médias de culturas									
AM		1,60 bC	27,82 ns	5,19 bA	24,23 ns	2,74 bB	26,68 ns	29,42	
AVMC		2,05 aC	32,98	7,31 aA	27,72	3,85 aB	31,18	35,03	

* Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna comparam médias entre si dentro dos sistemas de preparo e de cultura e de letras maiúsculas nas linhas comparam frações entre si dentro de cada método, não diferindo pelo teste de Tukey a 5%. ns= não significativo PC= Preparo convencional; PD= Plantio direto; A= aveia; M= milho; V= vicia e C= caupi.

PTS, devido, principalmente, à maior subestimação da FLO em relação a FLL, conforme reportado por CONCEIÇÃO et al. (2007), associado com a menor capacidade de recuperação dos materiais orgânicos por flotação na solução de NaI (CONCEIÇÃO et al., 2008). Na média dos sistemas de manejo, o estoque de C-FL obtido com NaI 1,8Mg m⁻³ foi 68% menor do que o estoque de C-FL obtida com PTS 2,0Mg m⁻³.

O estoque de COP obtido no fracionamento granulométrico situou-se em valores intermediário entre os obtidos na FL-NaI e FL-PTS (Tabela 1). Considerando que o material particulado foi retido em peneira (53µm) no método granulométrico, seriam esperados resultados similares entre os estoques de C-FL e do COP, conforme obtido por SANTOS et al. (2011). Porém, isso não ocorreu quando do uso de solução de NaI 1,8Mg m⁻³, sendo o estoque de C-FL obtido com solução de NaI 1,8Mg m⁻³ cerca de 27% inferior ao estoque de COP na média entre os sistemas de manejo. Por outro lado, o maior rendimento de C-FL (PTS) em relação ao COP é aceitável, pois, no fracionamento granulométrico, é obtida fração particulada de diâmetro superior a 53µm, enquanto que, no fracionamento densimétrico, o material orgânico é retido em filtro

de 1,4µm de diâmetro. Assim, o maior conteúdo de C-FL (PTS) em relação ao quantificado como COP pode ser devido à existência de partículas orgânicas de tamanho inferior a 53µm, o que é coerente com a existência de um "continuum" de decomposição da MO no solo (GOLCHIN et al., 1997). Em função do tamanho das partículas orgânicas, a possibilidade de esse material estar protegido em microagregados tamanho silte pode ser expressiva. Essa lógica conceitual foi corroborada por DIEKOW et al. (2005), que obtiveram rendimento de C-FL da fração silte (2-63µm), mediante fracionamento densimétrico posterior ao fracionamento granulométrico, representando cerca de 65% do C obtido como COP, mesmo utilizando solução de NaI 1,8Mg m⁻³, que possui uma menor capacidade de recuperação das frações orgânicas em comparação à solução de PTS (CONCEIÇÃO et al., 2008). Percebe-se que, embora todos os métodos tenham conseguido diferenciar os sistemas de manejo entre si (PD versus PC) e os sistemas de culturas (AM versus AVMC), os valores quantificados foram distintos entre os métodos, resultando em subestimação dos estoques, quando do uso da solução de NaI 1,8Mg m⁻³ ou do método granulométrico (Tabela 1).

Em consequência da capacidade diferencial dos métodos físicos na recuperação das frações lábeis da MO, o ILC, que é um componente do IMC, apresentou resultados bastante distintos. Enquanto que, com o uso de solução de NaI $1,8\text{Mg m}^{-3}$, o ILC dos sistemas de manejo não ultrapassou o sistema de referência (ILC=1), com o uso de solução de PTS $2,0\text{Mg m}^{-3}$ todos foram superiores ao CN (Figura 1a). O ILC obtido com os resultados do fracionamento físico granulométrico foi muito próximo ao da referência, com exceção do sistema PD AVMC, que apresentou ILC de 1,22. Como o

COP representa o material orgânico de tamanho maior que $53\mu\text{m}$, a manutenção de estruturas maiores que essa granulometria pode ser devido à menor taxa de decomposição dos resíduos orgânicos adicionados ao solo. O maior ILC, quando os sistemas foram avaliados com PTS $2,0\text{Mg m}^{-3}$ em relação à solução de NaI $1,8\text{Mg m}^{-3}$ (32-57%), foi devido à maior eficiência dessa solução em separar a FL da MO.

IEC, IMC e impacto dos sistemas de manejo

O IEC reflete a relação entre o estoque dos sistemas de manejo avaliados e o sistema de

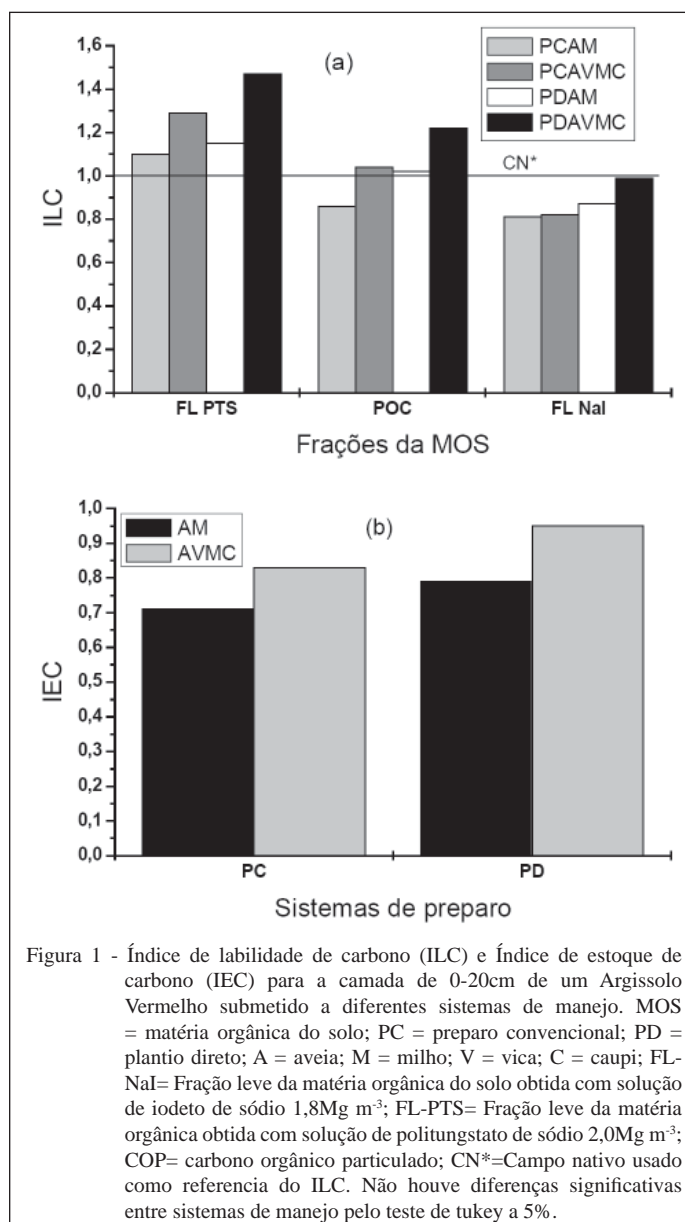


Figura 1 - Índice de labilidade de carbono (ILC) e Índice de estoque de carbono (IEC) para a camada de 0-20cm de um Argissolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. MOS = matéria orgânica do solo; PC = preparo convencional; PD = plantio direto; A = aveia; M = milho; V = vicia; C = caupi; FL-NaI= Fração leve da matéria orgânica do solo obtida com solução de iodeto de sódio $1,8\text{Mg m}^{-3}$; FL-PTS= Fração leve da matéria orgânica obtida com solução de politungstato de sódio $2,0\text{Mg m}^{-3}$; COP= carbono orgânico particulado; CN*=Campo nativo usado como referencia do ILC. Não houve diferenças significativas entre sistemas de manejo pelo teste de tukey a 5%.

referência (VN=100%). Percebe-se que nenhum sistema de manejo superou a condição natural da área (Figura 1b). Porém, considerando que anteriormente à instalação do experimento (1985) toda a área experimental era manejada sob sistema convencional de preparo do solo, apresentando evidentes sinais de degradação do solo (LOVATO et al., 2004), o uso do solo em PD AVMC recuperou a qualidade do solo, apresentando IEC muito próximo ao CN (0,95).

O IMC obtido pelo método densimétrico apresentou elevada correlação com o IMC obtido com o método granulométrico, independente do tipo de solução utilizada (Figura 2). Porém, o menor rendimento de C-FL (NaI) resultou em valores inferiores do IMC, não superando o CN (100). Com o uso de solução de PTS, o IMC dos sistemas de cultura utilizando consorciação de gramíneas e leguminosas (AVMC) superou o CN. O solo sob PD AVMC obteve IMC de 115 e 139%, quando avaliado pelo método granulométrico e densimétrico com solução de PTS 2,0Mg m⁻³, respectivamente, demonstrando a possibilidade de sistemas de manejo

conservacionistas superaram a qualidade do solo do sistema de referência.

CONCLUSÃO

O índice de manejo de carbono, a partir de frações físicas da matéria orgânica, demonstra ser uma ferramenta eficiente para avaliação do efeito de sistemas de manejo na qualidade de solos agrícolas.

A maior amplitude de valores para o índice de labilidade do carbono, quando da utilização da solução de PTS 2,0Mg m⁻³, torna essa solução mais adequada para o fracionamento densimétrico do que a solução de NaI 1,8Mg m⁻³, a qual subestima a fração leve da matéria orgânica.

O sistema de manejo conservacionista de plantio direto e com alto aporte de biomassa (PD AVMC) determina aumento do índice de manejo de carbono, o que reflete o efeito desse sistema tanto no aumento da quantidade como da labilidade da matéria orgânica do solo.

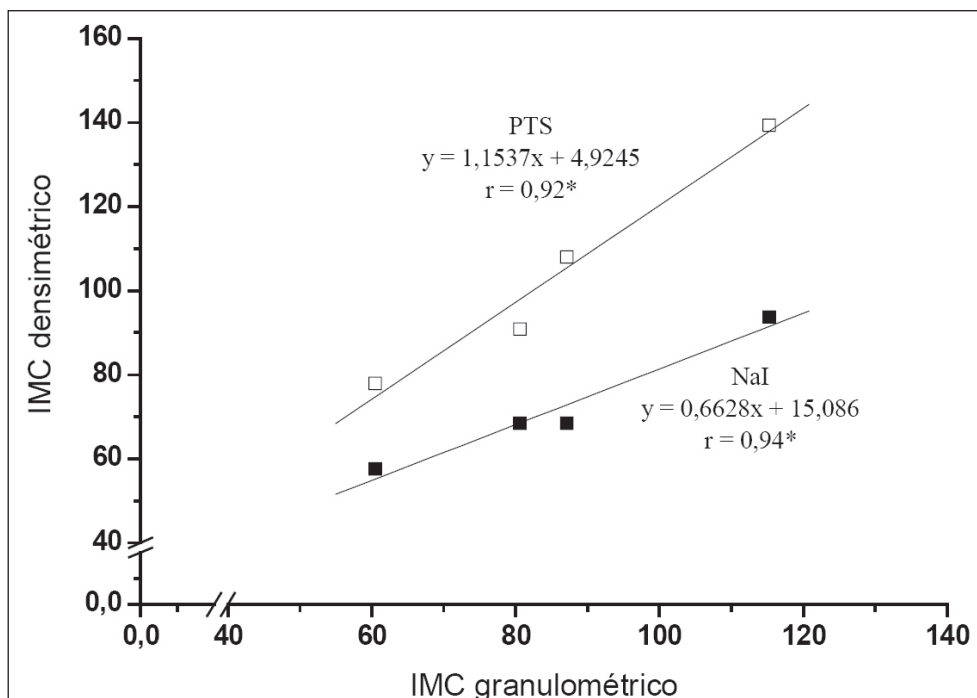


Figura 2 - Relação entre o índice de manejo de carbono (IMC), determinado a partir de frações da matéria orgânica, obtidas pelos métodos de fracionamento físico granulométrico e densimétrico, sendo este realizado com solução de iodeto de sódio (NaI 1,8Mg m⁻³) e de politungstato de sódio (PTS 2,0 Mg m⁻³) em amostras de solo da camada de 0-20 cm de um Argissolo Vermelho, submetido a diferentes sistemas de manejo. * P<0,01.

REFERÊNCIAS

- BAYER, C. et al. Cover crop effects increasing carbon storage in a subtropical no-till sandy Acrisol. **Soil Science and Plant Analysis**, v.4, p.1499-1511, 2009. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103620902820365#preview>>. Acesso em: 10 out. 2012. doi: 10.1080/00103620902820365.
- BLAIR, G.J. et al. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.46, p.1459-1466, 1995. Disponível em: <http://www.planta.cn/forum/files_planta/soil_carbon_fractions_based_on_their_degree_of_oxidation_135.pdf>. Acesso em: 05 out. 2012.
- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.777-783, 1992. Disponível em: <<https://www.soils.org/publications/sssaj/pdfs/56/3/SS0560030777>>. Acesso em: 05 out. 2012. doi:10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x
- CAMPOS, B.C. et al. Carbon stocks and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.805-817, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832011000300016&script=sci_arttext>. Acesso em: 19 out. 2012. doi: 10.1590/S0100-06832011000300016.
- CONCEIÇÃO, P.C. et al. Eficiência do politungstato de sódio no fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1301-1310, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000600009>. Acesso em: 20 nov. 2012. doi: 10.1590/S0100-06832007000600009.
- CONCEIÇÃO, P.C. et al. Fracionamento densimétrico com politungstato de sódio no estudo da proteção física da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.541-549, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832008000200009>. Acesso em: 14 jun. 2012.
- DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilisation. **Plant and Soil**, v.268, p.319-328, 2005. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/j0v3l32p31374hg2/>>. Acesso em: 05 out. 2012. doi: 10.1007/s11104-004-0330-4.
- ELLERT, B.H.; BETTANY, J.R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v.75, p.529-538, 1995. Disponível em: <<http://pubs.aic.ca/doi/pdf/10.4141/cjss95-075>>. Acesso em: 17 jul. 2013.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- GOLCHIN, A. et al. A model linking organic matter decomposition, chemistry and aggregates dynamics. In: LAL, R. (Ed.). **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton, FL: CRC, 1997. p.245-266.
- GOLCHIN, A. et al. Study of free and occluded particulate organic-matter in soils by solid-state ¹³C CP/MAS NMR-Spectroscopy and scanning electron-microscopy. **Australian Journal of Soil Research**, v.32, p.285-309, 1994. Disponível em: <<http://www.publish.csiro.au/paper/SR9940285.htm>>. Acesso em: 17 jul. 2013. doi: 10.1071/SR9940285.
- GUARESCHI, R.F. et al. Oxidizable carbon fractions in Red Latosol under different management systems. **Revista Ciência Agronômica**, v.44, n.2, p.242-250, 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1806-66902013000200005&script=sci_arttext>. Acesso em: 17 jul. 2013. doi: 10.1590/S1806-66902013000200005.
- INDA-JUNIOR, A.V. et al. Variáveis relacionadas à estabilidade de complexos organo-minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros. **Ciência Rural**, v.37, p.1301-1307, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v37n5/a13v37n5.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2012.
- LOSS, A. et al. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. **IDESIA** (Chile), v.29, n.2, p.11-19, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292011000200002&script=sci_arttext>. Acesso em: 17 jul. 2013. doi: 10.4067/S0718-34292011000200002.
- LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.175-187, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n1/a17v28n1.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2012.
- MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961. 46p.
- ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2002. 86p.
- ROSSI, C.Q. et al. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.2, p.233-241, 2012. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119023684006>>. Acesso em: 17 jul. 2013. doi:10.5039/agraria.v7i2a1387.
- SANTOS, D.C. et al. Agregação e frações físicas da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob sistemas de uso no Bioma Pampa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1735-1744, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832011000500028&script=sci_arttext>. Acesso em: 19 out. 2012. doi: 10.1590/S0100-06832011000500028.
- SILVA, E.F. et al. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1321-1331, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v46n10/46v10a27.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2012.
- VIEIRA, F.C.B. et al. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v.96, p.195-204, 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198707001110>>. Acesso em: 05 out. 2012. doi: 10.1016/j.still.2007.06.007.