

**AValiação da Qualidade da Matéria Orgânica dos Solos Extraídos de Três Variações de Sistemas Integrados no Estado de São Paulo**

A. M. Tadini<sup>1,\*</sup>, A. A. P. Xavier<sup>1,2</sup>, M. A. R. Carvalho<sup>1,3</sup>, L. Martin-Neto<sup>1</sup>, D. M.B.P. Milori<sup>1</sup>; A. C. C. Bernardi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Embrapa Instrumentação, Rua XV de Novembro 1452, 13560-970, São Carlos, São Paulo

<sup>2</sup> IQSC-USP, São Carlos, São Paulo

<sup>3</sup> UFSCar, São Carlos, São Paulo

<sup>4</sup> Embrapa Pecuária Sudeste, Rod. Washington Luiz, Km 234 - Fazenda Canchim, 13560-970, São Carlos, São Paulo

\* Autor correspondente, e-mail: amandatadini@hotmail.com

**Resumo:** A matéria orgânica do solo (MOS) é considerada um indicador relevante da qualidade do solo, devido à sua relação direta com as propriedades biológicas, químicas e físicas, permitindo avaliar os impactos do manejo agrícola. Solos sob Sistemas Integrados Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e suas diferentes variações como Lavoura-Pecuária (ILP) e Pecuária-Floresta (IPF), têm o potencial de capturar e sequestrar carbono, na forma de aumentar a quantidade de MOS, contribuindo na mitigação das emissões de gases causadores do efeito estufa na agricultura. Técnicas fotônicas, como a Espectroscopia de Fluorescência Induzida por Laser (LIFS) tem se tornado uma análise promissora na avaliação do índice de humificação da MOS ( $H_{LIFS}$ ) em solos agrícolas. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a estabilidade química da MOS em três variações de sistemas integrados. Os resultados mostraram um acúmulo médio de carbono e estruturas aromáticas nos três sistemas integrados com a profundidade. De modo geral, obteve-se a seguinte ordem decrescente de humificação e teor de carbono entre os sistemas:  $IPF \geq ILPF > ILP > Floresta Nativa (FN)$ . Assim, após 5 anos de experimento em campo houve aumento no conteúdo da MOS em áreas sob sistemas integrados e aumento de estabilidade química comparado com FN.

**Palavras-chave:** Intensificação Sustentável; Matéria Orgânica do Solo; Acúmulo de Carbono; Fluorescência Induzida por Laser;

**QUALITY ASSESSMENT OF SOIL ORGANIC MATTER FROM THREE VARIATIONS OF INTEGRATION SYSTEMS IN SÃO PAULO STATE**

**Abstract:** Soil organic matter (SOM) is considered a relevant indicator of soil quality, due to its direct relationship with biological, chemical and physical properties, allowing to evaluate the impacts of agricultural management. Soils under Crop-Livestock-Forest Integrated Systems (CLFS) and their different variations as Crop-Livestock (CLS) and Forest-Livestock (FLS) have the potential to capture and sequester carbon in order to increase the amount of MOS, contributing mitigation of greenhouse gas emissions in agriculture. Photonic techniques such as Laser Induced Fluorescence Spectroscopy (LIFS) have become a promising analysis in the evaluation of the SOM Humidity Index ( $H_{LIFS}$ ) in agricultural soils. In this context, the objective of this study was to evaluate the chemical stability of SOM in three variations of integrated systems. The results showed an average carbon accumulation and aromatic structures in the three depth integrated systems. In general, the following decreasing order of humification and carbon content was obtained between the systems:  $FLS \geq CLFS > CLS > Native Forest (NF)$ . Thus, after 5 years of field experiment there was increased SOM content in areas under integrated systems and increased chemical stability compared to NF.

**Keywords:** Sustainable Intensification; Soil Organic Matter; Carbon Accumulation; Laser Induced Fluorescence;

## 1. Introdução

A matéria orgânica do solo (MOS) atua na ciclagem de nutrientes, retenção de água, controle térmico, dentre outros fatores. Estudos que visam avaliar as características estruturais e seu comportamento são fundamentais para compreender os processos geoquímicos, de formação e fertilidade dos solos. Assim, mudanças nos estoques de carbono presente nesses solos agrícolas podem desempenhar um importante papel nas variações do ciclo de carbono global, bem como o aumento ou diminuição de níveis de CO<sub>2</sub> atmosférico. A possibilidade de aumentar o conteúdo de matéria orgânica no solo, e consequentemente sequestrar carbono no solo, é uma das importantes estratégias globais para descarbonização da economia (CERRI et al. 2016; SEBEN JUNIOR et al. 2016; MINASNY et al. 2017; SÁ et al., 2017).

O sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) destaca-se principalmente no âmbito de agricultura de baixa emissão de carbono no Brasil, uma vez que os solos integrados a esse sistema podem ser capazes de captar e estocar carbono na MOS, contribuindo para diminuição dos gases responsáveis pelo efeito estufa (LOPES, 2017; SÁ et al., 2017; VIGAN et al. 2017). Os solos da América do Sul contêm 10,3% de C até 1 metro de profundidade, representando 160 Pg de C do estoque de carbono orgânico dos solos mundiais. A produção de carbono na América do Sul representa 2,5% das emissões globais, correspondendo a 9,8 Pg de C, e contribuindo com 31,3% da emissão anual global dos gases de efeito estufa (SÁ et al. 2017). Desta forma, a América do Sul, especialmente o Brasil tem um grande potencial de auxiliar em práticas capazes de mitigar as emissões de gases causadores do efeito estufa por meio de adoção de práticas de agricultura de baixo carbono.

Indicadores de qualidade do solo, como a matéria orgânica são ferramentas importantes em estudos nesses sistemas integrados, pois o conhecimento da composição química e molecular dessa matéria orgânica, bem como do carbono presente em sua estrutura podem viabilizar no aprimoramento de técnicas agrícolas mais sustentáveis e de menor impacto nas propriedades do solo. O processo de humificação em solos ocorre com a estabilização da matéria orgânica, os quais podem ocorrer à inserção de compostos mais recalcitrantes, tais como lignina, compostos fenólicos e componentes alifáticos resistentes, pode também incorporar fragmentos moleculares menores provenientes de uma matéria orgânica mais lábil devido à atividade microbiana no meio (SENESI et al. 2016). Desta forma, os índices de humificação mais baixos medidos para a MOS nos horizontes de superfície podem ser atribuídos à presença de matéria orgânica mais lábil, isto é, derivados de plantas e/ou compostos não-húmicos originados pela ação recente de microorganismos, os quais serão degradados com o aumento da profundidade tornando-se estruturas mais conjugadas e de difícil decomposição (BAYER et al., 2002; SENESI et al., 2016).

O uso de técnicas fotônicas como a Espectroscopia de Fluorescência Induzida por Laser (LIFS) vem se destacando como uma técnica ambientalmente sustentável que permite avaliar a qualidade e estabilidade da MOS com maior facilidade, rapidez e sustentabilidade de análise que os métodos convencionais disponíveis. Desta forma esse estudo destaca-se como sendo o pioneiro em aplicar essa técnica em solos sob sistemas integrados. Frente ao exposto, o objetivo do trabalho foi analisar a qualidade da matéria orgânica presente em sistemas integrados de produção tais como Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Pecuária-Floresta (IPF) e Lavoura-Pecuária (ILP) utilizando a Fluorescência Induzida por Laser.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1. Descrição da área experimental

A área Experimental pertence à Embrapa Pecuária Sudeste – São Carlos, em área de 30 ha de um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura média/argilosa (CALDERANO FILHO et al., 1998), com teor médio de argila de 300 g kg<sup>-1</sup> para todas as áreas avaliadas nesse trabalho. O clima é do tipo Tropical de Altitude (Cwa), de acordo com a classificação de Köppen, com duas estações do ano bem definidas: estação seca, de abril a setembro, que apresenta temperatura média

de 19,9°C e 250 mm de chuva e estação chuvosa, de outubro a março, com temperatura média anual é de 23°C e 1.100 mm de chuva. Os solos foram incluídos nos sistemas de Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), Pecuária-Floresta (IPF) e Lavoura-Pecuária (ILP), após 5 anos da implantação. Além disso, uma reserva de Floresta Nativa (FN) de 120 ha também localizados na área experimental da Embrapa Pecuária Sudeste foi avaliada para fins comparativos. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm a diferentes distâncias das linhas das árvores: 0,0m, 1,5m, 3,0m e 7,5m para os sistemas IPF e ILPF.

## 2.2. Análise Elementar

A composição elementar das amostras de todo o solo foi obtida para Bernardi e co-autores (2017) utilizando um analisador elementar (Perkin Elmer, modelo 2400).

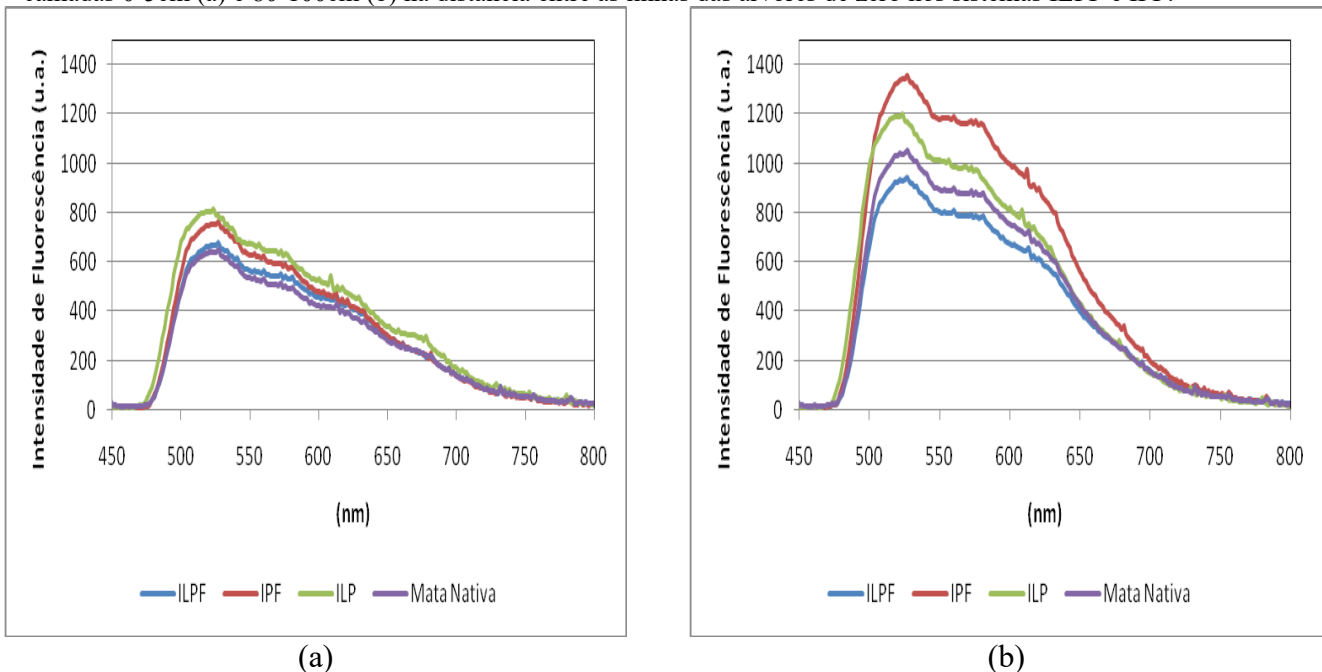
## 2.3. Espectroscopia de Fluorescência Induzida por Laser (LIFS)

As amostras de solo foram secas em estufa a 35 °C com circulação de ar e renovação, trituradas e peneiradas a <0,250 mm (60 mesh) antes das análises por espectroscopia de fluorescência induzida por laser (LIFS) e pastilhas de todas as amostras de solo foram preparadas para análise. Os espectros de LIFS foram adquiridos com a aplicação de um laser de ondas contínuas (potência de 20 mW) a 405 nm. O comprimento de onda de emissão utilizado variou de 465 nm a 800 nm, a intensidade máxima de emissão foi de 1.000 contagens e o tempo de integração selecionado, média e ajustes de boxcar foram 800 ms, 3 e 5, respectivamente, para todas as medidas (TADINI et al. 2018). Quatro réplicas foram registradas para cada amostra e o espectro médio final foi usado para calcular os valores de  $H_{LIFS}$  como a razão entre a área do espectro de emissão de fluorescência na faixa de 420-800 nm e a quantidade de carbono (% C) no solo amostra (MILORI et al., 2006).

## 3. Resultados e Discussão

O LIFS foi aplicado nas amostras de solos inteiro e os espectros obtidos estão exibidos na Figura 1 para os sistemas ILPF, IPF, ILP e Mata Nativa na distância zero para camada 0-5cm (a) e 80-100cm (b).

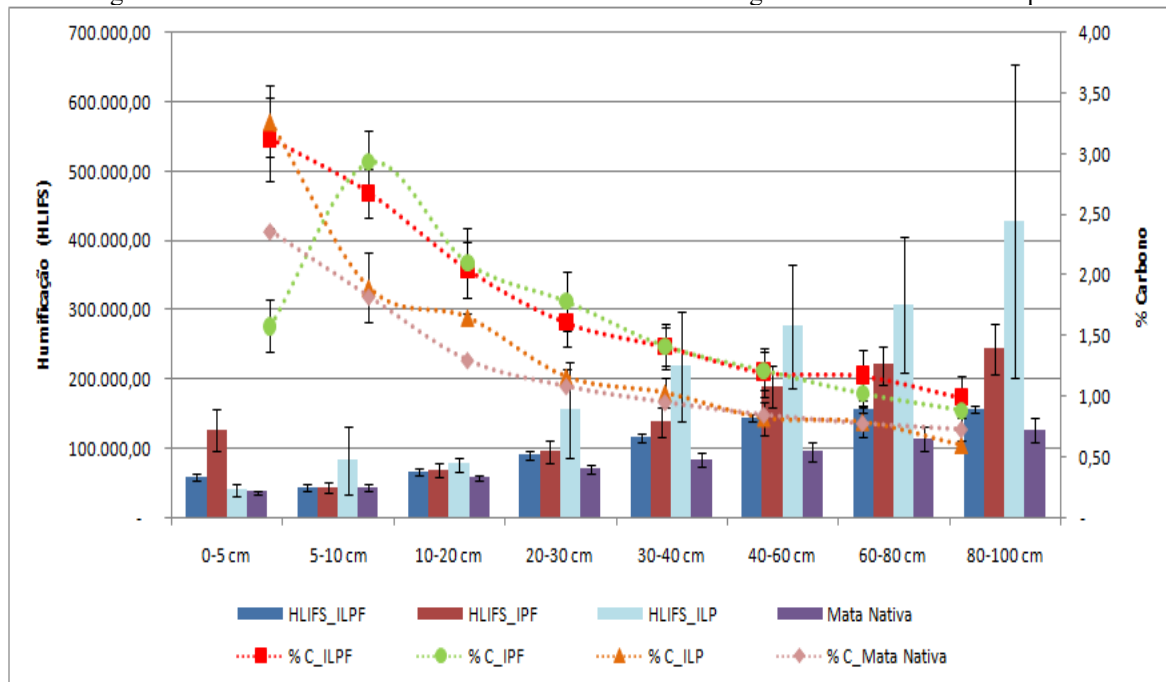
Figura 1: Espectro de Emissão em 405 nm obtido pelo LIFS para as amostras ILPF, IPF, ILP e Mata Nativa nas camadas 0-5cm (a) e 80-100cm (b) na distância entre as linhas das árvores de zero nos sistemas ILPF e IPF.



Os espectros de emissão para os solos empregados nesse estudo mostram uma banda larga com uma intensidade máxima de 525-550 nm, com ombros entorno de 570 e 620 nm, e são semelhantes aos relatados na literatura para MOS (MILORI et al., 2006; TIVET et al., 2013; SANTOS et al., 2015; SENESI et al., 2016) conforme observado na Figura 1. Essa região de comprimentos de onda de 525-550 nm sugere a presença relevante de componentes moleculares caracterizados por uma estrutura aromática resistente de policondensado com um elevado grau de conjugação e podem transportar substituintes, como grupos carbonilas e carboxílicos. Os resultados apresentados nesse trabalho corroboram com estudos descritos por González-PÉREZ et al. (2007) que mostraram que a acumulação de mais aromáticos e humificados conjugados da MOS ocorre nos horizontes mais profundos dos solos sob plantio direto e vegetação nativa, enquanto que a humificação da MOS é menor nos horizontes superficiais.

A Figura 2 apresenta o histograma com os valores de humificação com o decorrer da profundidade para os sistemas integrados e mata nativa, o qual foram maiores para as camadas mais profundas.

Figura 2: Histograma dos valores de HLIFS e % Carbono nos sistemas integrados com o decorrer da profundidade.



Conforme observado na Figura 2, os resultados mostraram um acúmulo médio de carbono e estruturas aromáticas relacionados aos maiores valores de humificação obtido pelo LIFS nos três sistemas integrados com a profundidade. Assim, pode-se definir uma ordem decrescente de humificação ( $H_{LIFS}$ ) e teor de carbono entre os sistemas:  $IPF \geq ILPF > ILP > Floresta Nativa (FN)$ .

#### 4. Conclusões

Conclui-se que esses sistemas integrados têm potencial de sequestrar carbono, e essa matéria orgânica está mais estável no solo conforme observado com o aumento do índice de humificação ( $H_{LIFS}$ ) determinado pela técnica LIFS. Assim, permitindo inferir que o sistema Integrado Lavoura-Pecuária-Floresta pode ser uma prática agrícola promissora e sustentável para a descarbonização da agropecuária no Brasil.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, 2017/22950-1 e 2017/20084-5). Agradecemos também à Embrapa Instrumentação Agropecuária pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

**Referências**

- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L. & HERNÁN, P.R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. *Plant Soil*, 238:133-140, 2002.
- BERNARDI, A.C.C.; et al. *Advances in Animal Biosciences: Precision Agriculture (ECPA)*, 8:2, 590–593, 2017.
- CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, H. G. dos; FONSECA, O. O. M.da; SANTOS, R. D.dos; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. Os solos da Fazenda Canchim, Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste, São Carlos, SP: Levantamento semi detalhado, propriedades e potenciais. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS / São Carlos: EMBRAPA-CPPSE, 1998. 95p.
- Cerri CC, Moreira CS, Alves PA, Raucci GS, Castigioni BA, Mello FFC et al. Assessing the carbon footprint of beef cattle in Brazil: a case study with 22 farms in the State of Mato Grosso. *Journal of Cleaner Production*, 2016.
- GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; MILORI, D.M.B.P.; COLNAGO, L.A.; MARTIN-NETO, L.; MELO, W.J.A. Laser-induced fluorescence spectroscopic study of organic matter in a Brazilian Oxisol under different tillage systems. *Geoderma*, v. 138, p. 20-24, 2007.
- LOPES, M.A. Escolhas estratégicas para o agronegócio brasileiro. *Revista Política Agrícola*, XXVI, nº 1, 2017.
- MILORI, D.M.B.P.; GONZÁLEZ-PÉREZ, M.; SALTON, J.; DIECKOW, J.; MARTIN-NETO, L.; BAYER, C.; GALETI, H.V. Organic matter study of whole soil samples using laser-induced fluorescence spectroscopy. *Soil Science Society of America Journal*, v. 70, p. 57-63, 2006.
- MINASNY, B.; et al. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292, 59-86, 2017.
- SÁ, J.C.M.; LAL, R.; CERRI, C.C.; LORENZ, K.; HUNGRIA, M.; FACCIO CARVALHO, P.C. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climatechange and advance food security. *Environment International*, 98, 102-112, 2017
- SALTON, J.C.; MERCANTE, F.M.; TOMAZI, M.; ZANATTA, J.A.; CONCENCO, G.; SILVA, W. M.; RETORE, M. Integrated crop-livestock system in tropical Brazil: Toward a sustainable production system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 190, p. 70-79, 2014.
- SANTOS, C.H.; ROMANO, R.A.; NICOLODELLI, G.; CARVALHO, C.M.; VILLAS-BOAS, P.R.; MARTIN-NETO, L.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J.; MILORI, D.M.B.P. Performance Evaluation of a Portable Laser-Induced Fluorescence Spectroscopy System for the Assessment of the Humification Degree of the Soil Organic Matter. *Journal of Brazilian Chemical Society*, v. 26, p. 775-783, 2015.
- SEBEN JUNIOR, G. F.; CORÁ, J. E.; LAL, R. Soil aggregation according to the dynamics of carbon and nitrogen in soil under different cropping systems. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1652-1659, 2016.
- SENESE, G.S.; MARTIN-NETO, L.; VILLAS-BOAS, P.R.; NICOLODELLI, G. MILORI, D.M.B.P. Laser-based spectroscopic methods to evaluate the humification degree of soil organic matter in whole soils: a review. *Journal of Soils and Sediments*, p. 1–11, 2016.
- TADINI, A. M. et al. Soil organic matter in podzol horizons of the Amazon region: Humification, recalcitrance, and dating. *Science of the Total Environment*, v. 613–614, p. 160–167, 2018.
- TIVET, F.; SÁ, M.J.C.; LAL, R.; MILORI, D.M.B.P.; BRIEDIS, C.; LETOURMY, P.; PINHEIRO, L. A.; BORSZOWSKI, P.R.; HARTMAN, D.C. Assessing humification and organic C compounds by laser-induced fluorescence and FTIR spectroscopies under conventional and no-till management in Brazilian Oxisols. *Geoderma*, v. 207/208, p. 71-81, 2013.
- VIGAN A., LASSEUR J., BENOÎT M., MOUILLOT F., EUGÈNE M., MANSARD L., VIGNE M., LECOMTE P., DUTILLY C. Evaluating livestock mobility as a strategy for climate change mitigation: Combining models to address the specificities of pastoral systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 242, 89-101, 2017.