

## Caracterização química e espectroscópica de solos irrigados com efluente de esgoto tratado

Larissa Macedo dos Santos<sup>1,2</sup>, Marcelo Luiz Simões<sup>1</sup>, Wilson Tadeu Lopes da Silva<sup>1</sup>, Débora Marcondes Bastos Pereira Milori<sup>1</sup>, Célia Regina Montes<sup>3</sup>, Adolpho Jose Melfi<sup>4</sup>, Ladislau Martin-Neto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Instrumentação Agropecuária; <sup>2</sup>Universidade de São Paulo, Instituto de Química de São Carlos;

<sup>3</sup>Universidade de São Paulo, Centro de Energia Nuclear na Agricultura;

<sup>4</sup>Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

\* [larissa@cnpdia.embrapa.br](mailto:larissa@cnpdia.embrapa.br)

---

**Resumo:** A utilização de efluentes de esgoto tratado na irrigação, ao invés de realizar a disposição deste subproduto nos cursos d'água tem sido uma alternativa antiga, popular e atrativa, com triplo propósito: tratamento complementar do efluente, fonte de água e de nutrientes ao sistema solo-planta. Entretanto, no Brasil, a reciclagem de águas residuárias, particularmente, do efluente de esgoto tratado, não é uma prática comum e, conseqüentemente, trabalhos científicos relacionados a este tema são incipientes. Com a finalidade de fornecer mais informações para subsidiar as pesquisas nesta área, este trabalho visa avaliar, por meio de técnicas química e espectroscópica, o processo de humificação na matéria orgânica dos solos irrigados com efluente de esgoto tratado em experimentos de campo. Os cinco tratamentos estudados foram: TSI (controle) – irrigado com água potável e adição de nitrogênio via fertilizante mineral, T100, T125, T150 e T200 irrigado com efluente de esgoto tratado e adição de nitrogênio via fertilizante mineral. Os resultados obtidos mostram variações no teor de carbono e no grau de humificação, para os solos irrigados com efluente de esgoto tratado, decorrentes do aumento da atividade de decomposição da matéria orgânica, estimulada pelo aumento da quantidade de água no solo.

**Palavras-Chave:** Matéria Orgânica do Solo; Efluente de Esgoto Tratado; Carbono Total e Fluorescência Induzida por Laser.

---

### Introdução

Em todo o mundo, devido a escassez de água, existe uma crescente competição pelo uso entre diversos setores da sociedade. O consumo na agricultura é grande em relação a outros tipos de utilização, podendo afetar a disponibilidade deste recurso para a população urbana se este não for bem administrado. No Brasil, a agricultura consome cerca de 61% (v/v) da água doce total [1]. Portanto, é desejável o desenvolvimento de

técnicas para a reutilização dos recursos hídricos. Dentre as alternativas comumente encontradas em países onde a disponibilidade desse recurso é ainda mais restrita que no Brasil, está o emprego do efluente de esgoto tratado (EET).

O EET é um dos subprodutos obtidos a partir do tratamento de esgoto mediante o emprego de lagoas de estabilização. É um tipo de água residuária amplamente empregada na irrigação de culturas em países como Austrália e Israel [1] e amplamente utilizado nas cidades de pequeno a médio porte,

sobretudo, no interior do Estado de São Paulo/Brasil. Essa água residuária difere da convencionalmente empregada na irrigação por apresentar concentrações variáveis de compostos como, matéria orgânica, nutrientes (principalmente nitrogênio), sais (incluindo sais de sódio), demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio e patógenos, dependendo da natureza do esgoto bruto e do tipo de tratamento empregado [2].

A irrigação dos solos com EET, desde que realizada de forma controlada, é altamente atrativa, pois possibilita a reciclagem da matéria orgânica e nutrientes dos efluentes, além de proporcionar economia de fertilizantes; a liberação de outras fontes de água para o consumo humano; a resolução de problemas advindas das descargas desses efluentes nas águas de superfície ou subterrânea e melhoria das condições químicas, físicas e biológicas do solo devido a adição de nutrientes a matéria orgânica [2].

A matéria orgânica do solo é um componente importante dos agroecossistemas por interferir tanto na qualidade do solo, e, por conseguinte, na produtividade das culturas, como na sustentabilidade ambiental [3].

Nos últimos anos, a aplicação de técnicas espectroscópicas como: ressonância magnética nuclear, ressonância paramagnética eletrônica, fluorescência de luz UV-visível e fluorescência induzida por laser vem demonstrando grande potencial para auxiliar no entendimento dos processos relacionados com a dinâmica da matéria orgânica [4,5,6,7,8,9]. Contudo, a composição mineralógica dos solos tropicais (alta percentual de óxidos de ferro) pode dificultar as análises por ressonância magnética nuclear de  $^{13}\text{C}$  no estado sólido e por ressonância paramagnética eletrônica [10].

Nesse sentido, a espectroscopia de fluorescência induzida por laser aplicada a solos a qual é uma nova metodologia [9], tem se mostrado eficiente na análise da matéria orgânica de solos com alto teor de óxidos de ferro, incluindo os Latossolos e Argisolos, fornecendo resultados de uma maneira ágil, sem artefatos e em condições próximas das naturais [9].

A fluorescência induzida por laser baseia-se na análise de pastilhas de solo, amostras de solos prensadas em molde de aço (1cm de diâmetro e 2 mm de espessura).

O princípio da técnica consiste, na excitação da amostra com um laser de argônio sintonizado na linha de 458 nm com uma potência de 300 mW, onde em seguida a fluorescência emitida é coletada com uma lente convergente com foco sobre um monocromador. A detecção é realizada com uma fotomultiplicadora com pico de resposta espectral em 530 nm. O sinal da fotomultiplicadora é amplificado e retificado por um amplificador “lock-in” e em seguida enviado para um sistema de aquisição controlado por um computador. A resolução espectral deste sistema para fluorescência de solos é de aproximadamente 4 nm [9].

A humificação é definida como a transformação de fontes estruturalmente identificáveis (açúcares, polissacarídeos, proteínas etc.) em compostos húmicos amorfos, sendo que o grau de humificação é um parâmetro importante para determinação da qualidade da matéria orgânica do solo [11].

A determinação do grau de humificação ( $H_{\text{FIL}}$ ) é realizada a partir da razão entre a área do espectro de emissão da fluorescência com excitação em 458 nm (ACF) e a concentração de carbono orgânico total (COT) [9], ou seja:

$$H_{\text{FIL}} = \frac{\text{ACF}}{\text{COT}}$$

Contudo, deve-se ressaltar, que apesar do grande número de trabalhos encontrados na literatura sobre a caracterização espectroscópica da matéria orgânica do solo, poucos referem-se a solos submetidos à adição de EET e ao emprego da fluorescência induzida por laser. Além disso, a maioria dos trabalhos existentes na literatura não referem-se a solos tropicais. Com a finalidade de fornecer mais informações para subsidiar as pesquisas nesta área, este trabalho visa avaliar, por meio de técnicas química e espectroscópica, o processo de humificação na matéria orgânica dos solos irrigados com EET em experimentos de campo.

## **Materiais e métodos**

### *Solos*

As amostras de solo classificado como Agissolo Vermelho distrófico latossólico de textura média argilosa [12] foram coletadas no

campo experimental localizado no município de Lins-SP em área anexa a estação de esgoto municipal.

### EET

O EET foi obtido por meio do sistema de lagoa de estabilização (Estação de Tratamento de Esgoto Municipal, Lins-SP).

### Tratamentos

**SI:** Sem irrigação, sem dose de fertilização nitrogenada mineral;

**100:** irrigação com EET e umidade do solo na capacidade de campo;

**125:** irrigação com EET e umidade do solo 25% (v/v) acima da capacidade de campo;

**150:** irrigação com EET e umidade do solo 50% (v/v) acima da capacidade de campo;

**200:** irrigação com EET e umidade do solo 100% (v/v) acima da capacidade de campo.

### Amostragem

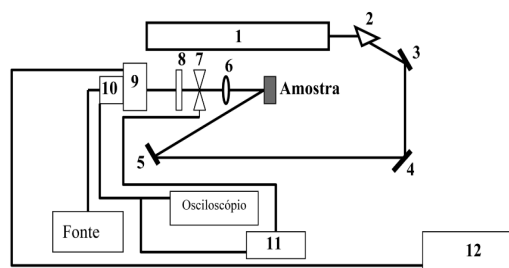
As amostras foram coletadas em maio de 2007, um ano e dois meses após o plantio da cana de açúcar sob irrigação com EET. As amostras de solo foram coletadas aleatoriamente nas camadas superficiais (0-10 e 10-20 cm) e subsuperficiais (20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm) nas parcelas experimentais.

### Determinação do teor de carbono

A determinação do teor de carbono foi realizada no equipamento LECO model CN 2000, pertencente ao CENA-USP.

### FIL

Constituído de um laser de argônio (1), de um prisma para separação da emissão laser da fluorescência do gás (2), de espelhos para condução da excitação até a amostra de solo (3, 4 e 5), de uma lente para coletar a fluorescência (6), de um modulador óptico (optical chopper) (7), de um filtro para suprimir a excitação no sistema de detecção (8), de um monocromador (CVI, L=25 cm) (9), de uma fotomultiplicadora (10), de um amplificador lock-in (11) e de um microcomputador dotado de placa de aquisição e software de controle e aquisição de dados (12). O laser de argônio foi sintonizado na linha de 458 nm com



**Figura 1.** Sistema para medida de fluorescência induzida por laser para amostras de solo inteiro [9].

potência de 400 mW. A resolução espectral do sistema foi avaliada em 4 nm (Figura 1).

A determinação do  $H_{FIL}$  foi realizada a partir da razão entre a área do espectro de emissão da fluorescência com excitação em 458 nm (ACF) e a concentração de carbono orgânico total (COT) [9], ou seja:

$$H_{FIL} = \frac{ACF}{COT}$$

### Resultados e Discussão

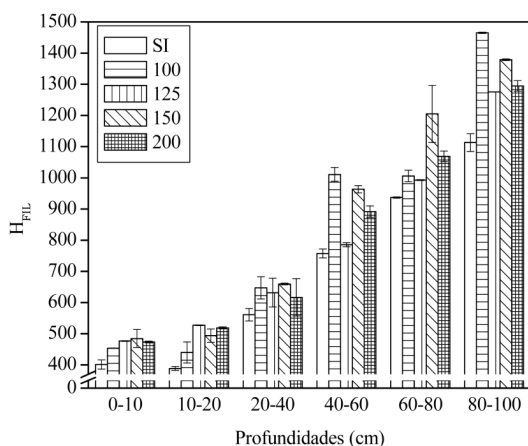
Na Tabela 1 são mostrados os teores de carbono para as amostras de solo, pela qual observa-se diminuição no teor de carbono para os solos irrigados com EET, diminuição essa mais significativa nas camadas de 0-10, 10-20 e 20-40 cm. Esse resultado pode ser devido à alteração da taxa de decomposição da matéria orgânica do solo, ocasionada pela adição do efluente [13]. Pelo fato da taxa de mineralização ser altamente dependente do potencial de água no solo [14,15], o fator umidade constante (mediante irrigação) associado às altas temperaturas, promove uma rápida mineralização do material orgânico adicionado ao solo [16]. Assim, a irrigação com efluente tem o potencial de modificar os processos de ciclagem do carbono, pelo fato de aumentar a água no solo para teores que estimulam a atividade de decomposição da matéria orgânica [13, 17].

Na Figura 2 são mostrados o  $H_{FIL}$  das amostras de solo irrigadas ou não com EET nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm.

**Tabela 1.** Teor de carbono das amostras de solo.

Profundidades (cm)	Teor de carbono (%) (m/m)				
	SI*	100*	125*	150*	200*
0-10	0,97 ± 0,01	0,88 ± 0,01	0,90 ± 0,02	0,85 ± 0,01	0,86 ± 0,02
10-20	0,96 ± 0,01	0,86 ± 0,01	0,83 ± 0,01	0,85 ± 0,02	0,82 ± 0,01
20-40	0,75 ± 0,01	0,70 ± 0,02	0,73 ± 0,01	0,72 ± 0,01	0,70 ± 0,01
40-60	0,64 ± 0,01	0,54 ± 0,01	0,67 ± 0,01	0,59 ± 0,01	0,58 ± 0,01
60-80	0,54 ± 0,01	0,53 ± 0,01	0,56 ± 0,01	0,47 ± 0,01	0,52 ± 0,01
80-100	0,46 ± 0,01	0,41 ± 0,01	0,47 ± 0,01	0,43 ± 0,01	0,44 ± 0,01

\*Tratamentos



**Figura 2.**  $H_{FIL}$  das amostras de solo, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm, submetidas aos tratamentos: SI, 100, 125, 150 e 200.

De maneira geral, para todos os tratamentos foi observado um aumento gradual no  $H_{FIL}$  da matéria orgânica do solo ao longo do perfil, sendo que os menores valores do  $H_{FIL}$  foram encontrados nas camadas de 0-10 e 10-20 cm (Figura 2), esse comportamento é devido a presença de restos vegetais que se acumulam preferencialmente na superfície do solo em quantidades que diminuem a capacidade dos microorganismos em metabolizá-los, resultando no decorrer do processo de transformação, em matéria orgânica com menor aromaticidade e, conseqüentemente, menos humificada [18]. Resultados similares foram encontrados na literatura para

latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo por meio de fluorescência induzida por laser [18], ressonância paramagnética eletrônica, ressonância magnética nuclear de  $^{13}C$  no estado sólido, infravermelho com transformada de Fourier e fluorescência [19].

De acordo com os resultados obtidos a fluorescência induzida por laser mostrou ser eficiente na determinação do grau de humificação da matéria orgânica de Argissolos irrigados com EET, fornecendo resultados de maneira rápida, sem artefatos e em condições próximas das naturais [9], sem a necessidade de realizar a extração química das substâncias húmicas do solo. Estes resultados são importantes visto tratar de um solo com altos teores de óxidos de ferro os quais inviabilizam a utilização de outras técnicas espectroscópicas como: ressonância paramagnética eletrônica e ressonância magnética de  $^{13}C$  no estado sólido para a caracterização da matéria orgânica do solo [10].

As variações observadas no  $H_{FIL}$  entre os diferentes tratamentos corroboram com os resultados obtidos para os teores de carbono, onde foi observada uma tendência ao aumento do  $H_{FIL}$ , devido à alteração da taxa de decomposição da matéria orgânica do solo, ocasionada pela adição do efluente [13].

## Conclusões

A fluorescência induzida por laser mostrou ser eficiente na determinação do grau de humifi-

cação da matéria orgânica de Argissolos irrigados com EET. Os resultados obtidos mostram variações no teor de carbono e no  $H_{FIL}$ , para os solos irrigados com EET, decorrentes do aumento da atividade de decomposição da matéria orgânica, estimulada pelo aumento de água no solo.

### Agradecimentos

À Embrapa Instrumentação Agropecuária pela infra-estrutura cedida. Ao Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, da Universidade de São Paulo pelas análises dos solos. À FAPESP, CNPq e CAPES pelo auxílio concedido.

Recebido 08 Julho 2008

Aceito 22 Novembro 2008

### Referências bibliográficas

- [1] D. Christofidís, D. Universidade de Brasília, Brasília, 2001.
- [2] Fonseca, A.F. Tese de Doutorado, Curso de Pós Graduação em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ-USP, Piracicaba, 2005.
- [3] J. Diekow, L. Martin-Neto, D.M.B.P. Milori, P.C. Conceição, C. Bayer, J. Mielniczuk, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos, 2005.
- [4] M. González-Pérez, L. Martin-Neto, S.C. Saab, E.H. Novotny, D.M.B.P. Milori, V.S. Bagnato, L.A. Colnago, W.J. Melo, H. Knicker, Geoderma, 118 (2004) 181.
- [5] A. Jouraiphy, S. Amir, M.E. Gharous, J.C. Revel, M. Hafidi, International Biodeterioration & Biodegradation, 56 (2005) 101.
- [6] J. Pajaczkowska, A. Sulkowska, W.W. Sulkowski, M. Jedrzejczuk, Journal of Molecular Structure, 651-653 (2003) 141.
- [7] J. Polak, W.W. Sulkowski, W.P. Bartoszek, Journal of Molecular Structure, 744-747 (2005) 983.
- [8] S.M. Sanches, S.X. de Campos, E.M. Vieira, Eclética Química, 32 (2007) 49.
- [9] D.M.B.P. Milori, H.V.A. Galeti, L. Martin-Neto, J. Diekow, M. González-Pérez, C. Bayer, J. Salton, Soil Science Society American Journal, 70 (2006) 57.
- [10] C.N. Gonçalves, R.S.D. Dalmolin, D.P. Dick, H. Knicker, E. Klant, I. Kögel-Knabner, Geoderma, 116 (2003) 373.
- [11] W. Zech, N. Senesi, G. Guggenberg, K. Kaiser, J. Lehmann, T.M. Miano, A. Miltner, G. Schroth, Geoderma, 79 (1997) 117.
- [12] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solo, Rio de Janeiro, 1999.
- [13] R.A. Falkiner, C.J. Smith, Australian Journal of Soil Research, 35 (1997) 131.
- [14] G. Stanford, E. Epstein, Soil Science Society of America Proceedings, 38 (1974) 99.
- [15] R.J.K. Myers, C.A. Campbell, K.L. Weier, Canadian Journal of Soil Science, 62 (1992) 111.
- [16] J.F. Artiola, I.L. Pepper, Biology and Fertility of Soils, 14 (1992) 30.
- [17] P.J. Polglase, D. Tompkins, L.G. Stewart, R.A. Falkiner, Journal of Environmental Quality, 24 (1995) 911.
- [18] M. González-Pérez, M.; D.M.B.P. Milori, L.A. Colnago, L. Martin-Neto, W.J. Melo, Geoderma, 138 (2007) 20.
- [19] M. González-Pérez, M.; L. Martin-Neto, S.C. Saab, E.H. Novotny, D.M.B.P. Milori, V.S. Bagnato, L.A. Colnago, W.J. Melo, H. Knicker, Geoderma, 118 (2004) 181.