

## EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> E SUA RELAÇÃO COM ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO FERTIRRIGADO COM EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO E DOIS NÍVEIS DE PALHA

**Gilberto Aparecido Rodrigues**  
gilberto.rodrigues@fatectq.edu.br  
Faculdade de Tecnologia de  
Taquaritinga – FATEC, Taquaritinga,  
São Paulo, Brasil

### RESUMO

O Efluente de Tratamento de Esgoto (ETE) é um resíduo urbano, que por sua composição química pode ser aproveitado como fonte de macronutrientes, reduzindo o uso de fertilizantes químicos e ter um destino ambientalmente mais adequado. Neste trabalho foi investigado o efeito da aplicação de dois níveis de palha de *Brachiaria* fertirrigados, com três frações de efluente de esgoto tratado (FETE), na emissão de CO<sub>2</sub> (ECO<sub>2</sub>) e suas relações com os atributos físico-químicos do solo: temperatura, umidade, porosidade total do solo, pH e porosidade livre de água. O experimento foi conduzido ao longo de 23 dias de novembro de 2013, em área de 160 m<sup>2</sup> de Latossolo Vermelho eutroférico, desprovida de vegetação e sem preparo do solo. O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 3, sendo os tratamentos constituídos da combinação de dois níveis de palha de *Brachiaria brizantha* (SPA: sem palha e CPA: com palha, 10 Mg ha<sup>-1</sup>) e 3 frações de irrigação (F1: 11% de ETE, F2: 60% de ETE e F3:100% de ETE). Os resultados evidenciaram que a presença da palha sobre o solo favoreceu as maiores emissões de CO<sub>2</sub> e lâminas menores de ETE (F1 e F2) amenizaram o impacto ambiental de ECO<sub>2</sub>. A presença de palha sobre o solo resultou em manutenção de maiores teores de umidade no solo, o que pode beneficiar o ciclo de culturas diversas. A presença de palha neste curto período de avaliação contribuiu pouco para aumentar a degradação da palha utilizada. As frações intermediárias de ETE conciliam a condição de menores ECO<sub>2</sub> combinado com atributos físico-químicos de solo mais apropriados em manter matéria orgânica e umidade no solo.

**Palavras-chave:** Efluente de esgoto; Emissão de CO<sub>2</sub>; Propriedades físicas do solo.

## 1. INTRODUÇÃO

Os esgotos domésticos ou sanitários têm sua origem em residências, comércios e instituições, e a quantidade de esgoto sanitário produzido é proporcional à população envolvida. A vazão do esgoto sanitário é medida em hidrogramas e mostram uma taxa variável de acordo com as horas do dia, atingindo valores menores de vazão na madrugada e valores maiores ao longo do dia (Pantoja et al., 2005). Os esgotos possuem características químicas com a presença de compostos orgânicos como proteínas, carboidratos, gordura e óleos, além de compostos inorgânicos, como o nitrogênio em diferentes formas, enxofre, sódio, metais pesados (Romeiro, 2012; Santin, 2012), surfactantes, fenóis, pesticidas e outros compostos tóxicos (Pantoja et al., 2005; Jüschke et al., 2009; Santin, 2012).

Fonseca (2005), Khai et al. (2011) e Romeiro (2012) relatam a presença em águas residuárias (Efluente de Tratamento de Esgoto - ETE) de nitrogênio total, nas formas amoniacal, nitrato e nitrito. Além disso, há outros elementos como o fósforo, enxofre, cálcio, magnésio e potássio, que podem ser utilizados pelas plantas como nutrientes. O ETE apresenta teores de carbono total em grande quantidade e pH muito variável, de acordo com a característica do tratamento imposto ao efluente bruto, que pode ocasionar a eutrofização dos corpos receptores (Fonseca et al., 2007). O ETE pela sua composição química pode proporcionar benefícios econômicos, aumento em quantidade e qualidade da forragem fertirrigada, conforme relatos de Santin (2012) e Santos et al. (2013). Podem ser utilizados em vários tipos de culturas, conforme estudos de Santos et al. (2014), que utilizaram o ETE em *Brachiaria brizantha* e a oferta de nutrientes nitrogênio e potássio via ETE foi considerável. Ainda segundo os relatos de Santos et al. (2006), com a utilização do ETE no cafeeiro, verificaram aumento significativo de nitrogênio total no solo.

A resposta da forrageira ao ETE pode proporcionar economia de formulações minerais e amenizar o impacto ambiental da disposição desta água residuária nos corpos d'água, conforme relatos de Gomes (2011), que mostrou a viabilidade econômica de utilização de águas residuárias. Uma contribuição positiva para o solo reside na quantidade de carbono e outros nutrientes, que podem acelerar o grau de humificação da matéria orgânica de solos irrigados com ETE (Santos et al., 2009). Como consequência, pode ocorrer aumento da atividade de decomposição da matéria orgânica, a qual é estimulada pelo aumento de umidade no solo.

Fonseca et al. (2007), Nogueira (2008) e Simões et al. (2013) relatam que o uso de ETE permite um incremento na população microbiana no solo, que geralmente é proporcional à quantidade de ETE utilizado. Medeiros et al. (2008)

ressaltam que a aplicação de ETE deve ser monitorada principalmente quanto aos atributos do solo, a fim de se identificar possíveis contaminações decorrentes da aplicação de água residuária.

O tratamento de águas residuárias pode se tornar um fator contribuinte para o acúmulo de Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, de tal forma que uma redução na eficiência no tratamento pode implicar na redução da emissão de CO<sub>2</sub> não apenas na estação de tratamento, mas caso a matéria orgânica não seja completamente degradada na estação de tratamento, as emissões de CO<sub>2</sub> (ECO<sub>2</sub>) remanescentes à degradação da matéria orgânica poderão ocorrer nos corpos receptores (Silva et al., 2012).

Nogueira (2008) e Santin (2012) avaliaram as ECO<sub>2</sub> utilizando ETE na irrigação do capim bermuda, e verificaram que as maiores ECO<sub>2</sub> relacionaram-se com os períodos de maior precipitação e/ou também com a irrigação. A maior umidade do solo, em um dos anos agrícolas dos estudos, propiciou condições mais favoráveis para a disponibilização de carbono, implicando diretamente na respiração microbiana do solo, de tal forma que as menores lâminas de irrigação reduziram o carbono e a respiração microbiana. Neste aspecto, Castro et al. (2009) avaliaram o efeito da irrigação da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) com ETE e constataram que esta estratégia promoveu um aumento linear nas ECO<sub>2</sub> nas lâminas com 100% da evapotranspiração da cultura (ETc) e de 200% da ETc, elevando as ECO<sub>2</sub> em 33 e 146% para o solo cultivado com cana de açúcar.

A aplicação de água residuária pode acarretar alterações no solo, principalmente na elevação da condutividade elétrica, pH, e teor de sódio trocável no solo (Fonseca et al., 2007). A aplicação de águas residuárias pode elevar o teor de sódio no tecido foliar das plantas de algodoeiro sem prejudicar a cultura (Silva et al., 2013). Mais recentemente, Oliveira et al. (2014) avaliaram o uso de águas residuárias de tratamento de esgoto doméstico e verificaram que os teores de cobre, zinco, ferro e manganês do solo estudado não foram influenciados pelas proporções de água residuária doméstica tratada utilizada. Além disso, os valores de pH do solo apresentaram tendência de redução com adição de mais água residuária doméstica em relação à em relação a água de poço tratada. Santos et al. (2014) constataram variações sazonais na composição do ETE utilizado na fertirrigação de gramínea do gênero *Brachiaria*, mas não verificaram os riscos de contaminação por metais pesados e salinização do solo. Apesar disso, apresentou risco de contaminação por coliformes fecais termotolerantes. Entretanto, o ETE utilizado ao longo de sucessivas estações climáticas resultou em aporte de quantidade considerável de nitrogênio e potássio ao solo, o que pode resultar em economia de formulações minerais comerciais.

Desse modo, o objetivo deste estudo foi avaliar as associações das  $ECO_2$  com os atributos físico-químicos de um latossolo fertirrigado ETE com diferentes níveis de palha sobre o solo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da FCAV-UNESP, Jaboticabal, SP, na latitude de 21°15'22" S, longitude 48°18'58" W e altitude de 595 metros. O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho Escuro eutroférrico, textura argilosa de acordo com a classificação de solos da Embrapa. A área experimental foi inicialmente cultivada com *Urocloa brizantha* (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu), de novembro de 2012 a julho de 2013, quando a forrageira foi dessecada com glifosato, seguido da sua remoção da área com enxada e o terreno mantido sem preparo e livre de ervas daninhas. O material forrageiro utilizado como cobertura morta foi colhido dentro do período que antecedeu o experimento, fenado e reservado no próprio local com lona plástica, sem contato direto com o solo. Após a demarcação das parcelas, as quais tinham dimensões de 1,2 x 2,40m, a palha teve sua matéria seca determinada (15% de matéria seca) e foi colocada em cada parcela o equivalente à densidade de 10Mg ha<sup>-1</sup>, uma semana antes do início do experimento. Semanalmente eram realizadas irrigações com ETE, de acordo com a evapotranspiração de referência acumulada na semana anterior. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema bifatorial 2 x 3, com 4 repetições, no qual o primeiro fator correspondeu aos níveis de palha de *Brachiaria* (NPA), sendo sem palha (SPA) e com palha (CPA) igual a 10Mg ha<sup>-1</sup> e o segundo fator constou Frações de Efluente de Esgoto Tratado (FETE), em que F1 foi igual a 11% de ETE, F2 igual a 60% de ETE e F3 igual a 100% de ETE (FIGURA 1).

A lâmina de irrigação foi aplicada com frequência de uma a duas vezes por semana, calculada em função da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e pelo método FAO-56 (Allen et al., 1998), com dados meteorológicos diários coletados na Estação Agroclimatológica da FCAV-UNESP, localizada próximo da área experimental. As concentrações de ETE em água corresponderam: F1 igual a 0,18; F2 igual a 1,00; e F3 igual a 1,67 (FIGURA 2). A distribuição gradual de ETE na lâmina de irrigação foi obtida por um sistema de aspersão em linha com Senninger (Modelo 3023-2 com duplo bocal de 8 x 5mm, operados com pressão de 300 kPa e no espaçamento 6 m entre aspersões na linha). O sistema de irrigação apresentou coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) com cerca de 89% e 83%, respectivamente.

Para a medição de  $ECO_2$  foi implantado em cada parcela colares de PVC de 100mm de diâmetro, com altura de 10cm e inseridos 3cm no solo. As leituras foram registradas utilizando-se de um sistema portátil da companhia LI-COR (LI-8100, Nebraska, EUA). Esse sistema consiste em uma câmara fechada, acoplada sobre os colares anteriormente inseridos no solo, nos pontos estudados. Em seu modo de medição, o sistema monitora as mudanças na concentração de  $CO_2$  dentro da câmara, por meio de espectroscopia de absorção óptica na região do infravermelho (IRGA, Infrared Gas Analyzer), de acordo com descrito por Panosso (2006) e Panosso et al. (2011). No dia seguinte à aplicação do ETE, iniciou-se o experimento com as leituras das  $ECO_2$ , medição de temperatura e umidade do solo, tomadas entre 8h e 10h, nas 24 parcelas do experimento.

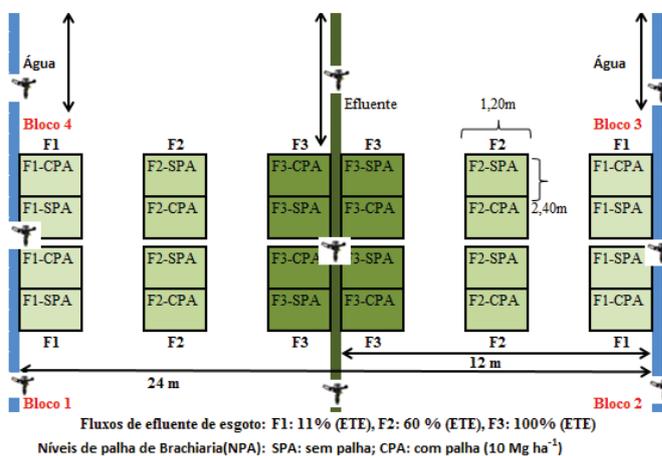
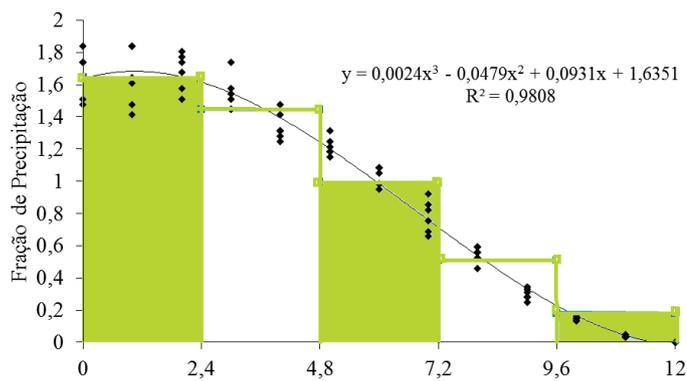


Figura 1. Esquema experimental com sistema de aspersão em linha e unidades experimentais com tratamentos de FETE (F1, F2 e F3) e aplicação palha (SPA e CPA).

Concomitantemente às leituras de  $ECO_2$ , foram tomadas as medidas de temperatura do solo na camada de 0 a 12cm de profundidade, utilizando-se de um termômetro (termistor portátil), que era parte integrante do sistema ao qual a câmara para solos é acoplada. A umidade do solo foi medida utilizando-se de um sistema portátil do tipo TDR-Campbel® (Hydrosense TM, Campbell Scientific, Austrália), que avalia a umidade disponível do solo (porcentagem em volume) na camada de 0 a 12cm, conforme descrito por Moitinho (2012). As amostras de solo deformadas foram coletadas na profundidade de 0 a 20cm, com auxílio de um trado tipo holandês, retiradas 3 meses antes do início do experimento e ao final do experimento, próximo da área de cada colar de PVC, para as análises químicas de rotina: pH, matéria orgânica, carbono orgânico, Al, H + Al, P, K, S, Ca, Mg e Na. As amostras do ETE foram coletadas do reservatório de 15000 litros, junto a área experimental.



Distância (m)	Tratamento	Fator de distribuição de precipitação	Lâminas
0,0 - 2,4	F3: 100% ETE	1,67	184
4,8 - 7,2	F2: 60% ETE	1	110
9,6 - 12,0	F1: 11% ETE	0,18	20

**Figura 2.** Frações de distribuição da precipitação de aspersões e concentração do efluente aplicada durante o período experimental de 23 dias em função dos tratamentos.

As amostras de solo indefinidas para as análises físicas de solo foram coletadas com cilindros metálicos de 95cm<sup>3</sup> ao término do experimento em pequenas trincheiras, de cada parcela, próximo ao colar de PVC, abertas com enxada, na profundidade de 0 a 20cm (Tabela 1). Foram determinadas a densidade de partículas, densidade e umidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e porosidade livre de água. O solo antes do início do experimento apresentava as seguintes características: pH:5,53; matéria orgânica (MO): 33,15 gdm<sup>-3</sup>; fósforo (P): 52,18 mg dm<sup>-3</sup>; enxofre (S): 6,2 mg dm<sup>-3</sup>; cálcio (Ca):42,6 mmol dm<sup>-3</sup>; magnésio (Mg):13,6 mmol dm<sup>-3</sup>; alumínio (Al): 0,4 mmol dm<sup>-3</sup>; sódio (Na):1,3 mmol dm<sup>-3</sup>; hidrogênio (H)+Al: 27,6 mmol

dm<sup>-3</sup>; soma de bases (SB): 58,6 mmol dm<sup>-3</sup>; capacidade de troca catiônica (CTC): 86,1 mmol dm<sup>-3</sup>; saturação de bases (V%): 70,7%.

Os dados foram submetidos à análise estatística utilizando-se o pacote Statistical Analysis System. Na análise de variância foi utilizado o teste F ( $p < 0,05$ ) e para os casos em que houve significância dos fatores ou das interações entre os fatores foi efetuada a comparação de médias pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ). Em seguida, procedeu-se à análise de regressão entre ECO<sub>2</sub> e os atributos físicos do solo que foram significativos pelo teste F, utilizando o procedimento PROC RSREGRE. Para as avaliações de dependência entre ECO<sub>2</sub> e variáveis físico-químicas utilizaram-se as correlações de Pearson, cuja significância foi dada pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de FETE e os níveis de palha de Brachiaria utilizados afetaram significativamente a ECO<sub>2</sub>. A umidade e temperatura do solo, o teor de matéria orgânica e a porosidade livre de água (PLA) foram significativamente influenciados pelos níveis de palha sobre o solo (Tabela 2). A comparação de médias (Tabela 3) mostrou que os tratamentos CPA emitiram 0,25 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> a mais que os tratamentos SPA sobre o solo e verificou-se que as frações crescentes de ETE resultaram em maiores ECO<sub>2</sub>. A temperatura do solo foi a maior em média nos tratamentos CPA sobre o solo, correspondente a 0,77 °C a mais (13%) que nos tratamentos SPA, enquanto que as FETE não influenciaram na temperatura do solo. A umidade do solo foi influenciada significativamente pela presença de palha sobre o solo resultando em diferença a mais de 5,17 (porcentagem em volume) em relação ao solo SPA e as FETE não afetaram a umidade do solo.

**Tabela 1.** Concentração de nutrientes no efluente e resultados de análise do solo ao final do período experimental.

Elementos no Efluente		Frações de ETE/ha			Análise do solo				Emissão de CO2		
mg/L		F1	F2	F3	Elementos	Frações de ETE/ha			F1	F2	F3
		Kg/ha				F1	F2	F3			
N	51,9	10,38	57,09	95,50	SB(mmolc dm <sup>-3</sup> )	58,39	62,12	68,63	2,78	2,83	3,15
P	1	0,20	1,10	1,84	P(mgdm <sup>-3</sup> )	55,81	58,07	69,82			
K	18,8	3,76	20,68	34,59	K(mgdm <sup>-3</sup> )	5,32	5,57	5,22			
Ca	15,3	3,06	16,83	28,15	Ca(mgdm <sup>-3</sup> )	13,39	11,91	11,22			
Na	47	9,40	51,70	86,48	MO(mgdm <sup>-3</sup> )	38,09	38,89	43,69			
S	20,7	4,14	22,77	38,09	S(mgdm <sup>-3</sup> )	6,69	7,93	10,67			
Fe	0,36	0,07	0,40	0,66	Al(mmol dm <sup>-3</sup> )	0,60	0,60	0,60			
Mn	0,1	0,02	0,11	0,18	H+Al(mmol dm <sup>-3</sup> )	40,19	33,65	27,78			
Zn	1	0,20	1,10	1,84	V%	58,4	62,1	68,6			
ph		7,1	7,1	7,1	pH(CaCl <sub>2</sub> )	5,69	5,67	5,61			

F1: 11% de ETE; F2: 60% de ETE; F3: 100% de ETE

O teor de matéria orgânica não foi influenciado pelo nível de palha sobre o solo, entretanto as frações crescentes de FETE resultaram em maiores teores de matéria orgânica sobre o solo, mas com diferença significativa apenas entre a menor FETE (F1) e maior FETE (F3), a qual superou F1 em 5,3%. A PLA foi influenciada significativamente pela presença de palha sobre o solo, de tal forma que o tratamento SPA teve em média a maior PLA em relação ao tratamento CPA, enquanto as frações de ETE não influenciaram a PLA (TABELA 2).

Neste estudo, teores de umidade maiores foram associados com o nível de palha, onde a presença de palha propiciou maiores umidades e conseqüentemente maiores  $ECO_2$ , diferentemente de Panosso et al. (2009), que maiores umidades condicionaram menores  $ECO_2$  em experimento com duas lâminas de molhamento, mas com o diferencial do solo ser desprovido de vegetação. Esta diferença pode ser explicada pelos resultados da PLA, em que em ambiente mais úmidos, os gases dos espaços porosos do solo são quase que totalmente ocupados por água, expulsando-os, por conseqüente.

**Tabela 2.** Análise de variância das emissões de  $CO_2$  e de atributos físico-químicos de um Latossolo Vermelho eutroférico, em função dos fatores NPA e FETE.

Variável	F		Interação
	NPA	FETE	
$ECO_2$ ( $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ )	7,143*	5,805*	1,910
Temperatura ( $^{\circ}C$ )	69,192*	0,128	2,592
Umidade (%)	10,934*	2,824	0,910
Matéria Orgânica ( $dm^3 cm^{-3}$ )	29,52*	1,590	1,590
Porosidade livre de água ( $cm^3 cm^{-3}$ )	7,778*	1,984	1,250
Porosidade ( $cm^3 cm^{-3}$ )	0,019	0,057	1,592
Microporosidade ( $cm^3 cm^{-3}$ )	0,111	0,443	1,747
Macroporosidade ( $cm^3 cm^{-3}$ )	0,014	0,074	0,486
Densidade ( $g cm^{-3}$ )	0,079	0,689	0,957
pH ( $CaCl_2$ )	0,537	0,361	1,297

\* Significativo pelo teste F ( $p < 0,05$ ).

Os resultados deste estudo contrastam com os resultados de Moitinho et al. (2012), que constataram que a presença da palha de cana sobre o solo, sem revolvimento, foi associada com menores  $ECO_2$  (Corradi, 2011), menores temperaturas do solo, no período da manhã e tarde. Além disso, a presença da palha também propiciou maior umidade do solo, apenas no período da manhã, semelhante a este estudo.

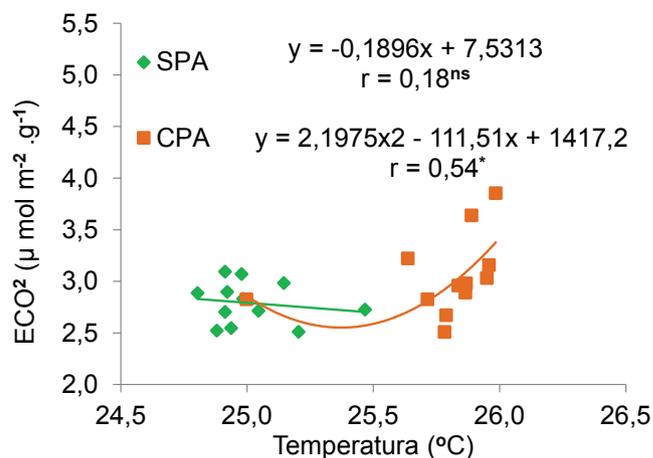
**Tabela 3.** Comparação de médias de emissão de  $CO_2$  e de atributos físico-químicos de um Latossolo vermelho eutroférico em função dos fatores NPA e FETE.

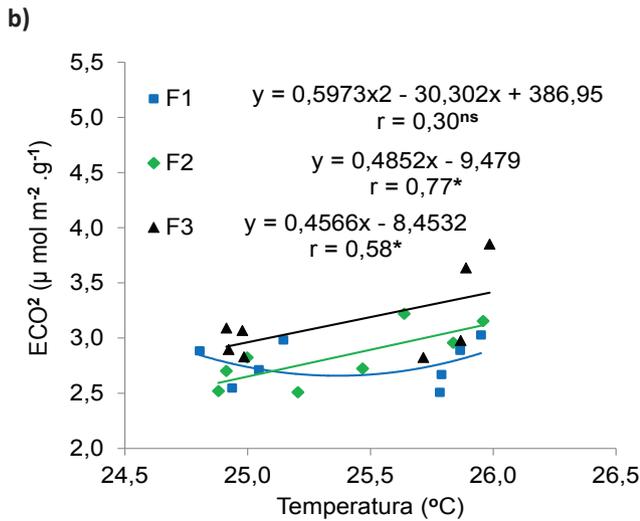
NPA	FETE			Média
	F1	F2	F3	
	Emissão de $CO_2$ ( $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ )			
SPA	2,78	2,61	2,97	2,79B
CPA	2,78	3,04	3,32	3,04A
Média	2,78b	2,83b	3,15a	
Temperatura do solo ( $^{\circ}C$ )				
SPA	24,95	25,12	24,95	25,01B
CPA	25,88	25,60	25,88	25,78A
Média	25,41a	25,36a	25,41a	
Umidade do solo (% em volume)				
SPA	41,02	38,88	39,55	39,82B
CPA	48,02	41,10	45,85	44,99A
Média	44,52a	39,99a	42,70a	
Matéria orgânica				
SPA	30,76	33,32	36,09	33,39A
CPA	32,19	35,48	37,83	35,17A
Média	31,48 b	34,39ab	36,96a	
Porosidade livre de água ( $cm^3 cm^{-3}$ )				
SPA	6,94	8,77	9,31	8,34A
CPA	0,72	7,65	1,42	3,26B
Média	3,83a	8,21a	5,36a	

\*Letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas iguais na coluna indicam diferença não significativa a 5% pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), F1: Frações de efluente (11%), F2: Frações de efluente (60%), F3: Frações de efluente (100%), SPA: sem palha, CPA: com palha.

A resposta diferente na  $ECO_2$  neste trabalho reside principalmente no aporte de água no solo proporcionado pelas lâminas de molhamento que foram iguais (184mm), mas houve aporte de nutrientes diferentes nas frações F1, F2 e F3, em relação ao N, P, Mg e S, elementos estes que estimulam a microbiota do solo (Tabela 1).

a)

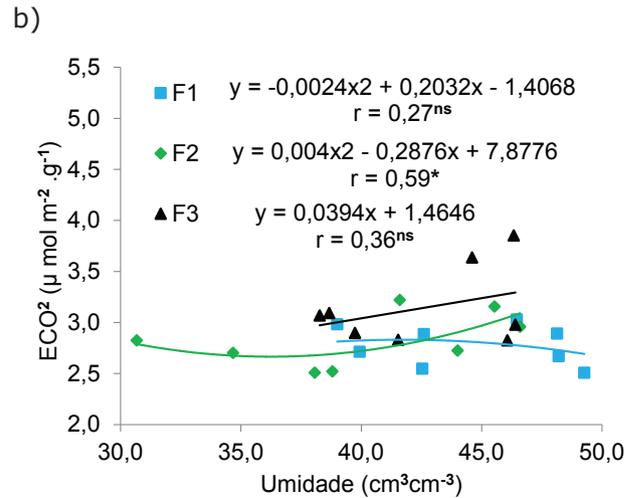
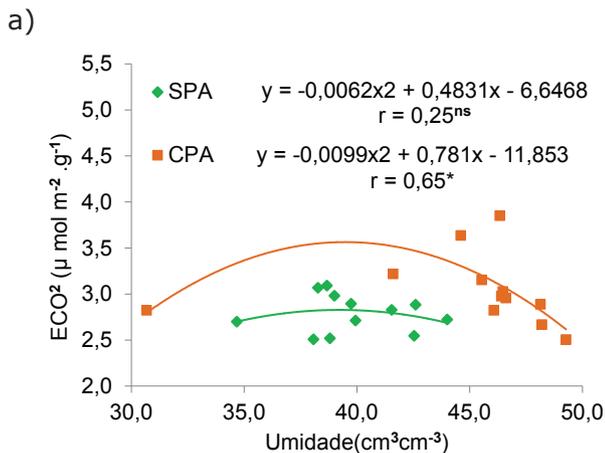




**Figura 3.**  $ECO_2$  em função da temperatura do solo para: a) tratamentos sem palha (SPA) e com palha (CPA) e b) Frações de tratamento de efluente (F1: 11% ETE), (F2: 60% ETE) e (F3:100 % ETE).

Nos resultados de Corradi (2011), que estudou diferentes níveis de palha sobre o solo, abaixo dos níveis deste estudo, encontrou-se que também houve menor emissão de  $CO_2$ . Entretanto, concordam como os relatos de Silva et al. (2014) que verificaram associação positiva entre  $ECO_2$  e umidade do solo, em área com mudança para a cultura de cana, mas apenas comparados às  $ECO_2$  das FETE F2 e F3 deste trabalho. O que parece haver muito mais concordância é a presença de resíduos vegetais sobre o solo, que propicia maiores teores de umidade.

Os resultados de  $ECO_2$  deste estudo concordam com os relatos de Zotelli (2012), que utilizou resíduo industrial do setor sucroenergético (vinhaça) e avaliou a  $ECO_2$ , constatando que a manutenção de níveis crescentes de palha de 7, 14 e 21Mg  $ha^{-1}$  sobre o solo incrementaram as emissões de  $CO_2$ , fertirrigados ou não. O solo desprovido de cobertura de palha, mas fertirrigado com vinhaça, emitiu mais  $CO_2$  que o solo desprovido de palha sem fertirrigação.



**Figura 4.**  $ECO_2$  em função da umidade do solo para: a) tratamentos sem palha (SPA) e com palha (CPA) e b) FETE (F1: 11% ETE), (F2: 60% ETE) e (F3:100 % ETE).

A temperatura do solo tendeu a crescer nos tratamentos CPA (FIGURA 3a), ao passo que maiores FETE, F2 e F3, as  $ECO_2$  foram crescentes (FIGURA 3b). As FETE maiores provavelmente ofereceram maior aporte de nutrientes, principalmente o fósforo e teores de carbono, o que refletiu em estímulo ao crescimento microbiano, decompondo a palha sobre o solo. Os resultados concordam com Zanini et al. (2005), que obtiveram relação positiva na  $ECO_2$  e temperatura do solo e discordam de Panosso et al (2009), em que a temperatura do solo teve baixa associação com  $ECO_2$ .

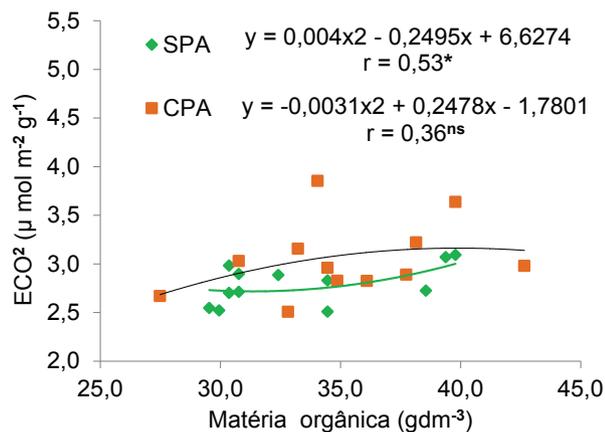
A associação entre umidade do solo e  $ECO_2$  foi influenciada pela presença de palha sobre o solo (FIGURA 4a) e apenas a fração F3 (100% de ETE) exibiu associação consistente com maiores  $ECO_2$  (FIGURA 4b). Panosso et al. (2009) relatam que maiores  $ECO_2$  se associaram com maiores lâminas de molhamento. Estes resultados concordam também com Zotelli (2012), em que maiores umidades no solo propiciaram relação positiva entre  $CO_2$  e umidade do solo. Diferentemente, Moitinho et al. (2012) constataram que a presença de palha sobre o solo implicou em menores  $ECO_2$ , menores temperaturas e maiores teores de umidade. D'Andrea (2004) não verificou associação de  $ECO_2$  com umidade do solo, tanto em ambiente natural quanto em área reflorestada. Já Fernandes (2008) relata que a distribuição sazonal da umidade do solo explica em grande parte as  $ECO_2$ .

A associação entre matéria orgânica e  $ECO_2$  em função do tratamento CPA sobre o solo não mostrou efeito médio da palha em relação ao tratamento SPA (FIGURA 5a). Entretanto, na associação de  $ECO_2$  e diferentes frações F1, F2 e F3 (Tabela 3), constatamos valores crescentes de MO com o aumento das frações de ETE, onde a diferença maior a favor da fração F3 (100% ETE), em relação apenas à fração F1, que tem concentração de nutrientes inferior às demais

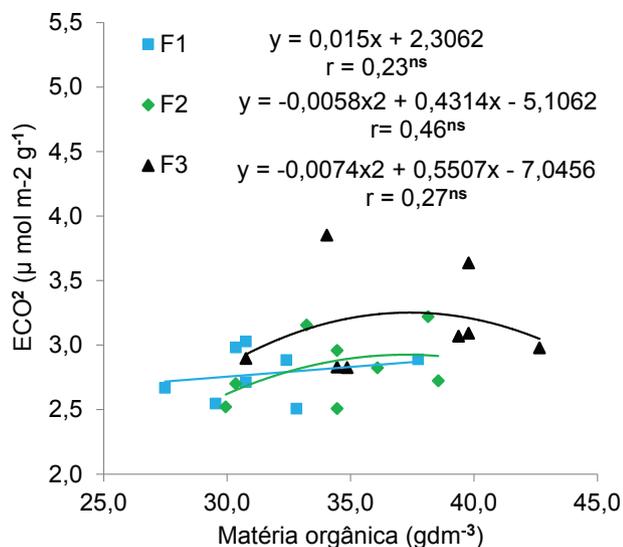
e emitiu menos  $\text{CO}_2$ . O teor de MO maior na fração F3 pode ser justificado pelo aporte maior de nutrientes P, N, Mg e S, presente no ETE. Simões et al. (2013) e Sparling et al. (2006) verificaram maior atividade microbiana em solos que tiveram aplicações de maiores FETE, fato este que provavelmente explica os resultados de maiores  $\text{ECO}_2$  com maiores FETE deste estudo, e à provável maior condutividade elétrica dos tratamentos com F3 (Hanko; Summes, 2006).

D'Andrea (2004) relata que não verificaram associação satisfatória da matéria orgânica do solo, do carbono microbiano total e dos atributos físicos de temperatura e umidade para explicar as  $\text{ECO}_2$  em ambiente florestais naturais e reflorestados. Estas informações foram corroboradas em semelhante estudo, relatadas por Fernandes (2008), em relação apenas a emissão de óxido nítrico ( $\text{N-N}_2\text{O}$ ).

a)



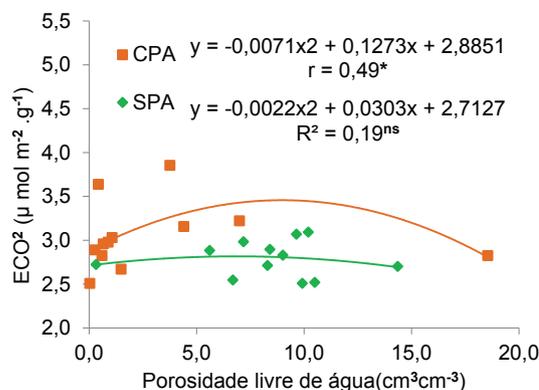
b)



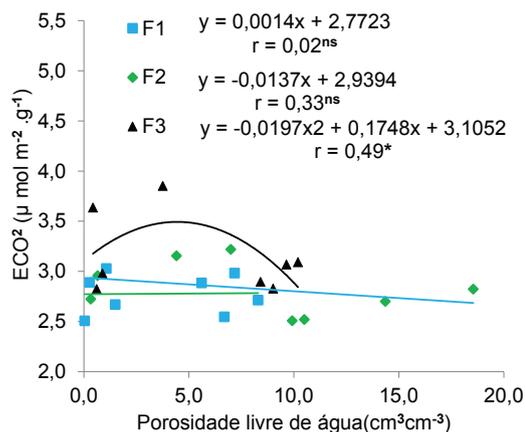
**Figura 5.** Emissão de  $\text{CO}_2$  ( $\text{ECO}_2$ ) em função da matéria orgânica do solo para: a) tratamentos sem palha (SPA) e com palha (CPA) e b) Frações de efluente (F1: 11% ETE), (F2: 60% ETE) e (F3:100 % ETE).

A relação entre PLA e  $\text{ECO}_2$  foi consistente nos tratamentos com palha (FIGURA 6a) e na aplicação da fração F3 (FIGURA 6b). A palha sobre o solo propiciou maior manutenção de umidade (Corradi, 2011; Moitinho, et al. 2012), a qual ocupa os espaços porosos do solo. A PLA verificada neste estudo pode explicar em parte as variações da  $\text{ECO}_2$ , diferente do encontrado no estudo de Zotelli (2012).

a)



b)



**Figura 6.**  $\text{ECO}_2$  em função da PLA para: a) tratamentos sem palha (SPA) e com palha (CPA) e b) FETE (F1: 11% ETE), (F2: 60% ETE) e (F3:100 % ETE).

A associação entre PLA e  $\text{ECO}_2$  para a fração F3 deste estudo foi significativa. Fernandes (2008) afirma que a  $\text{ECO}_2$  é explicada pela variação sazonal de umidade em diversos ambientes (mata, soja e algodão). No entanto, ressalva-se que mesmo em épocas chuvosas, a respiração microbiana do solo nos ambientes avaliados, a porosidade preenchida por água foi elevada e o número de bactérias do solo em ambiente de mata nativa era muito superior aos outros ambientes (soja, algodão). No sistema de integração lavoura pecuária, os EPPA no período chuvoso atingiram valores de 55%, enquanto no período da seca os valores foram próximo de 15%.

#### 4. CONCLUSÕES

A presença da palha e dose elevada de ETE aplicado no solo favoreceram a  $\text{ECO}_2$ .

A presença de palha sobre o solo mantém a umidade do solo elevada.

A presença da palha sobre o solo contribuiu para maior temperatura do solo.

Neste estudo as duas menores FETE, pelas menores  $\text{ECO}_2$ , mitigam impacto ambiental pelo uso de ETE.

#### REFERÊNCIAS

Castro, B. S.; Paula, A. M.; Nogueira, S. F. et al. 2009. Fluxo de gases ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$ ) em área de cana-de-açúcar sem queima irrigada com efluente de esgoto tratado. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32, 2009, Fortaleza. Fortaleza: UFC: SBCS, 4p. CD-ROM. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/660464/1/2413.pdf>>. Acesso em 12 set. 2015.

Corradi, M. M. 2011. Efeito dos resíduos de cana-de-açúcar na emissão de  $\text{CO}_2$  em condição sem distúrbio e após preparo do solo, em áreas de produção no sudeste do Brasil. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.

D'Andrea, A. F. 2004. Fluxo de  $\text{CO}_2$  do solo em áreas de café e povoamentos florestais. Tese de doutorado, Universidade Federal de Lavras.

Fernandes, E. B. 2008. Emissões de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  e  $\text{N}_2\text{O}$  em solos sob diferentes cultivos na região do cerrado. Tese de doutorado, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília.

Fonseca, A. F. 2005. Viabilidade agrônomo-ambiental da disposição de efluente de esgoto tratado em um sistema solo-pastagem. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

Fonseca, A. F.; Herpin, U.; Paula, A. M.; Victória, R. L.; Melfi, A. J. 2007. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agricola*, 64, 194-209. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000200014>

Gomes, S. O. F. R. 2011. Análise da viabilidade econômica de utilização de águas residuária tratadas: o caso do ETAR do Ave. Tese de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade do Minho.

Jüschke, E.; Marschner, Y. Chen; J. Tarchitzky, J. 2009. Effects of treated wastewater irrigation on contents and dynamics of soil organic carbon and microbial activity. *Geophysical Research Abstracts*, 11, EGU2009-4780.

Khai, N. M.; Tuan, P. T.; Vinh, N. C., ET AL. 2011. Biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos empleando biosólidos residuales como fuentes alterna de nutrientes. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27, 241-252.

Medeiros, S. S.; Soares, A. A., Ferreira, P. A.; Neves, J. C. L.; Souza, J. A. 2008. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo do estado nutricional do cafeeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12, 109-115. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000200001>.

Moitinho, M. R.; Padovan, M. P.; Panosso, A. R.; Brito, G. & La Scala Júnior, N. 2012. Variações diurnas da emissão de  $\text{CO}_2$ , temperatura e umidade do solo sobre diferentes manejos pós-colheita da cana-de-açúcar. *Cadernos de Agroecologia*, 7. <http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/cad/article/view/13170>

Nogueira, S. F. 2008. Efeitos da irrigação com esgoto tratado e fertilização nitrogenada na ciclagem de carbono e nitrogênio e no metabolismo microbiano de um solo cultivado com capim-Bermuda Tifton 85. Tese de doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

Oliveira, A. F. M.; Fernandes, G. B. C.; Batista, O.; Souza, L. & Gurgel, M. T. 2014. Teores de metais pesados em cambissolo irrigado com água residuária doméstica e água de poço. *Revista Ambiente & Água*, 9, 302-312. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1309>

Panosso, A. R.; Ribeiro, C. E. R.; Zanini, J.R.; Pavani, L. C.; Pereira, G. T. & La Scala Júnior, N. 2009. Variabilidade espacial da emissão de  $\text{CO}_2$ , da temperatura e umidade de um latossolo desprovido de vegetação sob diferentes lâminas de mo-lhamento. *Semina: Ciências Agrárias*, 30, 1017-1034. <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/4638/3944>

Pantoja, J. L. R.; Guimaraes, E.; Silva, V. M.; Soares, J. M. & Rodrigues, P. J. A. 2005. Elaboração de histograma de vazão na estação de esgoto do Uma, região metropolitana de Belém, PA. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, Campo Grande, 18-23 de setembro de 2005. In: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. Saneamento ambiental brasileiro: utopia ou realidade? Rio de Janeiro, ABES, 1-7.

Romeiro, J. C. T. 2012. Atributos químicos do solo e crescimento de laranjeiras 'pera' irrigadas com efluente de esgoto tratado e fertilizadas com lodo de esgoto compostado. Tese de doutorado, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho".

Santin, R. C. 2012. Emissão de gases de efeito estufa em solo cultivado com pastagem (Tifton85) e irrigado com efluente de esgoto tratado. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

- Santos, G. O.; Faria, R. T.; Rodrigues, G. A.; Dalri, A. B.; Figueiredo, G. D. 2014. Variação sazonal e potencial de reúso de efluente de esgoto tratado como fertilizante na *Brachiaria brizantha* cv. marandu. XI Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola. Cancún, Quintana Roo, México, 6 al 10 de octubre de 2014.
- Santos, G. O.; Faria, R. T.; Rodriguês, G. A.; Donalsonso, G. S. 204. Produção e qualidade de matéria seca de Braquiária brizanta fertirrigada com efluente de esgoto tratado. International Conference of Agricultural Engineering, Zurich.
- Santos, G. O.; Faria, R. T.; Soares, C. A.; Zanini, J. R.; Dalri, A. B. 2013. Potencial de reúso de efluente de estação de tratamento de esgoto no município de Jaboticabal-SP. XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Fortaleza-CE.
- Santos, L. M.; Simões, M. L.; Silva, W. T. L.S.; Milori, D. M. B. P.; Montes, C. R.; Melfi, A. J.; Martin-Neto, L. 2009. Caracterização química e espectroscópica de solos irrigados com efluente de esgoto tratado. *Eclética Química*, 34, 39-44. <https://doi.org/10.1590/S0100-46702009000100006>
- Santos, S. S.; Soares, A. A.; Matos, A.T.; Mantovani, E. C.; Batista, R. O. 2006. Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. *Engenharia na Agricultura*, 14, 32-38.
- Silva, E. F.; Moitinho, M. R.; Teixeira, D. B.; Pereira, G. T.; La Scala Junior, N. 2014. Emissão de CO<sub>2</sub> do solo associada à calagem em área de conversão de laranja para cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, 34, 885-898. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162014000500008>
- Silva, W. T. P.; Duarte, A. C. L. & Souza, M. A. A. 2012. Implementação e otimização de projeto para certificação do MDL em estação de tratamento de águas residuária. *Engenharia Sanitária Ambiental*, 17, 13-24. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522012000100005>
- Simões, K. S.; Peixoto, M. F. S. P.; Almeida, A. T.; Carlos A. S. Ledo; Peixoto, C. P.; Pereira, F. A. C. 2013. Água residuária de esgoto doméstico tratado na atividade microbiana do solo e crescimento da mamoneira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17, 518–523. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000500008>.
- Silva, C. F.; Pereira, G. H. A.; Pereira, M. G., et al. 2013. Fauna edáfica em área periodicamente inundável na restinga da Marambaia, RJ. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 37, 587-595. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300004>
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D., et al. 1998. Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO.
- Panosso, A. R. 2006. Variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade em latossolo sob cultivo de cana-de-açúcar em sistemas de colheita manual com queima e mecanizada. Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.
- Panosso, A. R.; Marques Jr, J.; Milori, D. M. B. P., et al. 2011. Soil CO<sub>2</sub> emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. *Soil Tillage Research* 111, 190–196. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.10.002>
- Zotelli, L. C. 2012. Palha e vinhaça: emissão de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> em solo com cana de-açúcar. Dissertação de Mestrado, Instituto Agronômico de Campinas, Campinas.
- Zanini, J. R., Barreto, A. K. G.; La Scala Júnior, N. 2005. Taxa de emissão de CO<sub>2</sub> de um latossolo fertirrigado com ácido fosfórico por gotejamento. *Engenharia Agrícola* 25, 179-188.
- Sparling, G. P.; Barton, L.; Duncan, L., et al. 2006. Nutrient leaching and changes in soil characteristics of four contrasting soils irrigated with secondary-treated municipal wastewater for four years. *Soil Research* 44, 107-116.
- Hanko, R. M.; Summes, S. A. 2006. Effects of land application of farm dairy effluent on soil properties: a literature review. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 49, 307-320.

**Recebido:** 27 maio 2020

**Aprovado:** 17 jun. 2020

**DOI:** 10.20985/1980-5160.2020.v15n2.1431

**Como citar:** Rodrigues, G. A. (2020), Emissões de CO<sub>2</sub> e sua relação com atributos físicos de um latossolo fertirrigado com efluente de esgoto tratado e dois níveis de palha. *Revista S&G* 15, 2, 190-198. <https://revistasg.emnuvens.com.br/sg/article/view/1431>