

## ANÁLISE MULTIVARIADA SOBRE A INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS DO SOLO NO FLUXO DO CARBONO E CO<sub>2</sub>, SOB O CULTIVO DA CANA

SILVA, P. A.<sup>1</sup>, PANOSSO, A. R.<sup>2</sup>, VERAS, L. M.<sup>3</sup>, NOGUEIRA, D. C. S.<sup>4</sup>, VICENTINI, M. E.<sup>5</sup>, ROLIM, G. S.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Agronomia, Professor Substituto, Dpto de Engenharia e Ciências Exatas, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV, UNESP; Jaboticabal, SP, (0XX16) 99646.5543, paullo-alex@outlook.com

<sup>2</sup> Doutor em Agronomia, Professor Assistente, Dpto de Engenharia e Ciências Exatas, FCAV, UNESP; Jaboticabal, SP

<sup>3</sup> Mestre em Agronomia, Estudante de doutorado, Dpto de Engenharia e Ciências Exatas, FCAV, UNESP; Jaboticabal, SP

<sup>4</sup> Mestre em Agronomia, Estudante de doutorado, Dpto de Engenharia e Ciências Exatas, FCAV, UNESP; Jaboticabal, SP

<sup>5</sup> Mestre em Agronomia, Estudante de doutorado, Dpto de Engenharia e Ciências Exatas, FCAV, UNESP; Jaboticabal, SP

<sup>6</sup> Doutor em Agronomia, Professor Adjunto, Dpto de Engenharia e Ciências Exatas, FCAV, UNESP; Jaboticabal, SP

Apresentado no  
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021  
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

**RESUMO:** A cana promove a mitigação dos GEE, pois devido ao sistema de colheita mecanizada o carbono acaba sendo incorporado ao solo. Objetivo: determinar a influência dos atributos do solo nos processos de emissão (Fm) e estoque de carbono do solo (EstC), em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, por meio das análises multivariadas exploratórias de dados de agrupamentos. Variáveis estudadas: FCO<sub>2</sub>, temperatura do solo (Ts), umidade do solo (Us), densidade do solo (Ds), Fósforo disponível (P), capacidade de troca de cátions (CTC) e Estc. Os atributos físicos do solo se relacionaram com a FCO<sub>2</sub>. Os atributos químicos do solo com o Estc. O processo de produção e acúmulo de CO<sub>2</sub> no solo foram mostrados pelas relações existentes entre Estc, CTC, Ts e P. O processo de transporte e liberação de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera foi relacionado com a FCO<sub>2</sub>, Ds e Us. O manejo da cana e os atributos do solo impactam no fluxo de CO<sub>2</sub> do solo, formando regiões de produção e acúmulo de CO<sub>2</sub>, caracterizado por Estc ou regiões de transporte e liberação de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera, por FCO<sub>2</sub>, evidenciando regiões com potenciais acúmulos ou fontes de carbono no sistema de cultivo da cana crua, podendo realizar o manejo específico na área produtiva.

**PALAVRAS-CHAVE:** Gases de efeito estufa, emissão de CO<sub>2</sub>, estoque de carbono mudanças climáticas

### MULTIVARIATIONAL ANALYSIS ON THE INFLUENCE OF SOIL ATTRIBUTES ON THE FLOW OF CARBON AND CO<sub>2</sub> UNDER CANE CULTIVATION

**ABSTRACT:** Sugarcane promotes GHG mitigation, as due to the mechanized harvesting system, carbon ends up being incorporated into the soil. Objective: To determine the influence of soil attributes on the processes of emission (Fm) and soil carbon stock (EstC) in areas cultivated with sugarcane, through exploratory multivariate analysis of cluster data. Variables studied: FCO<sub>2</sub>, soil temperature (Ts), soil moisture (Us), soil density (Ds), available phosphorus (P), cation exchange capacity (CTC) and Estc. Soil physical attributes were related to FCO<sub>2</sub>. The chemical attributes of the soil with Estc. The process of production and accumulation of CO<sub>2</sub> in the soil was shown by the relationships between Estc, CTC, Ts and P. The process of transport and release of CO<sub>2</sub> from the soil to the atmosphere was related to FCO<sub>2</sub>, Ds and Us. sugarcane and soil attributes impact the flow of CO<sub>2</sub> from the soil, forming regions of production and accumulation of CO<sub>2</sub>, characterized by Estc or regions of transport and release of CO<sub>2</sub> from the soil to the atmosphere, by FCO<sub>2</sub>, evidencing regions with

potential accumulations or sources of carbon in the raw sugarcane cultivation system, being able to carry out specific management in the productive area.

**KEYWORDS:** Greenhouse gases, CO<sub>2</sub> emission, carbon stock, climate change

**INTRODUÇÃO:** A palhada da cana-de-açúcar gera uma cobertura que pode promover o acúmulo de carbono no solo (Galdos et al., 2009), auxiliando no processo de mitigação dos GEEs quando tem-se a produção agrícola do etanol e do açúcar. Conforme as informações fornecidas pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (2019), na safra 2018/2019 a área plantada foi 8,59 milhões de hectares e a produção foi de 620,44 milhões de toneladas. O Estado de São Paulo foi o grande produtor do país, sendo responsável pela produção de 332,88 milhões de toneladas, em 4,43 milhões de hectares, representando 53,65% da cana processada. O estado de Mato Grosso do Sul foi o quarto maior produtor do país, com 647,4 mil hectares e produção de 49,50 milhões de toneladas, representando 7,54% da produção brasileira. As práticas de manejo do solo são importantes no processo de mitigação da emissão dos GEEs do solo, pois durante a eliminação da soqueira no preparo do solo em áreas de cana-de-açúcar, podem ser observado elevadas perdas de carbono do solo por meio da emissão de CO<sub>2</sub>. Os principais atributos do solo que mais influenciam no processo de produção e transferência de CO<sub>2</sub> no solo são: densidade do solo, textura do solo, porosidade livre de água, temperatura do solo e umidade do solo (MOITINHO et al., 2015). O objetivo do trabalho foi estudar as relações existentes entre os atributos do solo, emissão (FCO<sub>2</sub>) e estoque de carbono (Estc) do CO<sub>2</sub> no solo e determinar os processos dos fluxos de CO<sub>2</sub> com base nos dados medidos em duas áreas comerciais cultivadas com a cana-de-açúcar, localizadas nos municípios de Motuca – SP e Aparecida do Taboado – MS, por meio da estatística descritiva e pela análise multivariada exploratória de dados de agrupamentos.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os estudos foram realizados em duas áreas cultivadas com a cana-de-açúcar, nos municípios de Motuca – SP, e em Aparecida do Taboado - MS. Todas as áreas estavam sob o sistema de manejo de cana crua. Nas áreas do estado de SP o solo foi definido como Latossolo Vermelho Eutroférico, com textura muito argilosa. Já no estado do MS o solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico com textura argilosa. Conforme a classificação climática de Köppen, SP foi classificado como Aw, com temperatura média anual de 22,2 °C. No MS o clima foi o Aw, com temperatura média anual de 23,7 °C. A emissão de CO<sub>2</sub> do solo (FCO<sub>2</sub>) e a temperatura do solo (Ts) foram registradas pelo sistema LI-COR (LI-8100). A umidade do solo (Us) foi medida pelo equipamento de TDR (Time Domain Reflectometry - Hydrosense TM, Campbell Scientific, Austrália). O estoque de carbono (Estc) foi calculado para a profundidade de 0,10 m ( $Estc = (CO.Ds.E).0,1$ ; Estc = estoque de carbono (Mg ha<sup>-1</sup>); CO = teor de carbono orgânico oxidável (g kg<sup>-1</sup>); Ds = densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>); E = espessura da camada estudada (0,10 m)). Após a finalização das mensurações, foram coletadas as amostras de solo na profundidade de 0 a 0,10 m e posteriormente peneiradas na malha de 2 mm. Para a análise química foram extraídos os atributos: capacidade de troca de cátions (CTC) e o teor de fósforo disponível (P) do solo (RAIJ et al., 2001). A partir destas mesmas amostras, também foi determinada a Ds (EMBRAPA, 1997). Todas as avaliações foram feitas no início do estágio de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar. Os dados foram analisados, inicialmente por meio da estatística descritiva e pelo teste de Teste de Shapiro-Wilk ao nível de 5% de probabilidade. O método estatístico multivariado foi a Análise de Agrupamentos, foi usado para determinar os processos entre o fluxo de CO<sub>2</sub> e os atributos do solo.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os valores médios de Fm nas áreas estudadas foram 2,124  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , no município de Motuca e 1,798  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  em Aparecida do Taboado. Os coeficientes de variação foram 41, 24 % e 51,29 %, respectivamente, sendo esses valores altos. As variações dos valores mensurados para as Fm no município de Motuca ficaram entre 0,948 e 4,01  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , com média aproximada de 2,12  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Os valores calculados do EstC variaram de 6,83 a 9,03  $\text{Mg ha}^{-1}$ , com valor de estocagem média de carbono de 7,81  $\text{Mg ha}^{-1}$ . Em comparação ao município de Aparecida do Taboado, a Fm variou de 1,06 a 5,18  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  e teve emissão média de 1,79  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . A variação de EstC observada foi de 2,62 a 12,08  $\text{Mg ha}^{-1}$ , sendo o estoque médio da área 6,21  $\text{Mg ha}^{-1}$ . Observou-se que a cidade Motuca - SP apresentou maior potencial de emissão (Fm) e maior estoque (EstC) de carbono no solo, quando comparado com o município de Aparecida do Taboado -MS. O mesmo aconteceu CTC e de P. Essas características são indicativos da fertilidade do solo, que mostraram que quanto maior esses índices, maior será a fertilidade do solo da área e conseqüentemente, maior geração de  $\text{CO}_2$  no solo. A produção de  $\text{CO}_2$  no interior do solo está associada às atividades biológicas, a decomposição da matéria orgânica, a umidade e a temperatura do solo, sendo esses os fatores importantes no controle da respiração do solo. O fato de que o maior valor médio de Fm ter ocorrido na área de Motuca, pode ser explicado pelos maiores valores médio de temperatura e umidade do solo em relação à Aparecida do Taboado 25,24 °C e 31,36 %, respectivamente. Também se observava que os atributos físicos relativos à Ds, Um e PLA contribuíram na variação dos valores de Fm, entre as áreas.

TABELA 1. Estatísticas descritivas da emissão de  $\text{CO}_2$  e dos atributos físicos e químicos do solo para todas as áreas estudadas

VARIÁVEIS	MÉDIA	DP	MIN / MAX	CV
<b>MOTUCA – SP</b>				
<b>Fm</b>	2,124	0,876	0,948 / 4,013	41,240
<b>Ts</b>	25,240	0,929	22,928 / 26,475	3,679
<b>Um</b>	31,362	10,538	22,600 / 57,750	33,601
<b>Ds</b>	1,165	0,067	1,044 / 1,278	5,735
<b>Micro</b>	36,046	1,673	32,280 / 38,218	4,641
<b>P</b>	16,471	4,110	10,000 / 25,000	24,952
<b>CTC</b>	102,865	9,572	92,100 / 124,600	9,305
<b>EstC</b>	7,813	0,599	6,828 / 9,026	7,672
<b>PLA</b>	15,02	5,72	27,03 / -3,42	38,08
<b>APARECIDA DO TABOADO – MS</b>				
<b>Fm</b>	1,798	0,922	1,063 / 5,177	51,291
<b>Ts</b>	21,731	1,115	20,065 / 24,232	5,129
<b>Um</b>	9,345	0,977	7,200 / 10,800	10,454
<b>Ds</b>	1,472	0,113	1,331 / 1,689	7,654
<b>Micro</b>	32,190	2,583	28,634 / 37,217	8,023
<b>P</b>	7,971	1,037	6,687 / 10,259	13,013
<b>CTC</b>	57,430	4,354	49,690 / 66,194	7,582
<b>EstC</b>	6,212	1,801	2,618 / 12,076	28,984
<b>PLA</b>	2,66	1,05	8,17 / 1,2	39,49

DP = desvio padrão; Máx = Máximo; Mín = Mínimo; CV = coeficiente de variação (%); Fm = Fator de emissão de  $\text{CO}_2$  ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ); Ts = temperatura do solo (°C); Um = umidade do solo (%); Ds = densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ); Micro = microporosidade (%); P = fósforo disponível ( $\text{mg dm}^{-3}$ ); CTC = capacidade de troca de cátions ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ ); Estc = estoque de carbono no solo ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ); PLA = porosidade livre de água (%).

Com relação aos níveis de emissão observados pela análise de agrupamentos, foi observado um contraste entre os pontos de altas (A) e baixas (B) emissões em Motuca, o que também aconteceu em Aparecida do Taboado – MS, porém observa-se a formação de uma região de sobreposição, localizada mais ao centro, com pontos de altas (A) e baixas (B) emissões,

havendo uma separação na extremidade, porém com baixa intensidade (Figura 3). Essas características são correlacionadas com os atributos dos solos. Quando analisam cada área experimental, foi observado que os atributos dos solos que mais influenciaram no processo de Fm foram a PLA, a Um, CTC e P. Quando comparadas essas informações com a análise de agrupamentos, fica evidenciado que os valores de maiores emissões representados por A estão correlacionados positivamente com a PLA, CTC, P e negativamente com Um; sendo que, para os pontos de maior emissão, tem-se alta PLA, CTC, P. Já para menores valores de Fm, observam-se maiores valores de Um.

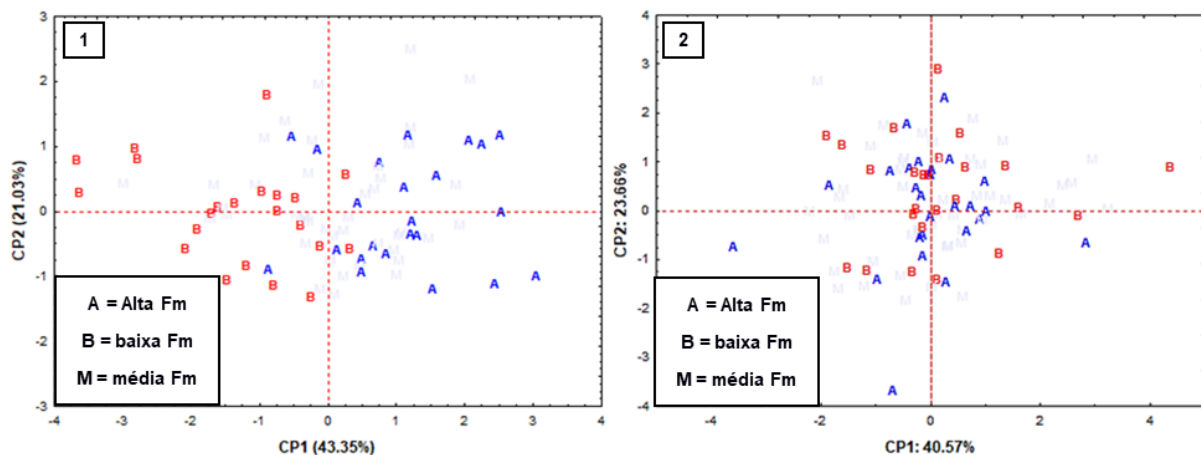


Figura 1. Variáveis em três classes de grupos de emissão de CO<sub>2</sub> no solo para Motuca (1) e Aparecida do Taboado (2).

O manejo do solo na produção da cana crua influencia na estruturação do solo, nas características dos atributos do solo e na emissão ou sequestro de carbono do solo, mostrando que Motuca apresentou maior estabilidade do carbono no solo, quando comparado com Aparecida do Taboado.

**CONCLUSÕES:** O manejo e as características do solo podem causar a produção, armazenamento de CO<sub>2</sub> e fertilidade do solo, sendo caracterizados por Estc ou regiões de transporte e liberação de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera, caracterizado por FCO<sub>2</sub>.

**AGRADECIMENTOS:** Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Universidade Estadual Paulista (UNESP), Caracterização do Solo para Fins de Manejo Específico (CSME) e ao Group of Agrometeorological Studies (GAS) pelo apoio.

## REFERÊNCIAS:

- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento.** Brasília, DF, 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/cana>>. Acesso em: 10 mar, 2020.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-CNPQ). **Manual de métodos de análise de solo (In Portuguese), Centro Nacional De Pesquisa De Solos (2nd ed).** Rio de Janeiro, Brazil, 1997.
- GALDOS, M. V., CERRI, C. C., CERRI, C. E. P. Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil. Amsterdam, **Geoderma**, v. 153, p. 347-352, 2009.
- MOITINHO, M. R., PADOVAN, M. P., PANOSSO, A. R., TEIXEIRA, D. B., FERRAUDO, A. S., LA SCALA, N. On the spatial and temporal dependence of CO<sub>2</sub> emission on soil properties in sugarcane (*Saccharum spp.*) production, Amsterdam, **Soil and Tillage Research**, v. 148, p. 127-132, 2015.

RAIJ, B.V. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico, 2001, 285 p.