IV CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS COINTER - PDVAgro 2019

ANÁLISE DE AGRUPAMENTOS DOS ATRIBUTOS FÍSICOS-QUÍMICOS DO SOLO E SUAS RELAÇÕES COM O FLUXO DE CO₂ EM ÁREAS DE CANA CRUA

ANÁLISIS DE MOTIVOS DE ATRIBUTOS QUÍMICOS FÍSICOS DEL SUELO Y SUS RELACIONES CON EL FLUJO DE CO₂ EN ÁREAS DE CANAS CRUDAS

ANALYSIS OF GROUNDS OF SOIL PHYSICAL CHEMICAL ATTRIBUTES AND THEIR RELATIONS WITH SOIL CO₂ FLUX IN RAW CANE AREAS

Apresentação: Comunicação Oral

Poliana Mara Reis Freire¹; Paulo Alexandre da Silva²; Maria Elisa Vicentini³; Alan Rodrigo Panosso⁴; Glauco de Sousa Rolim⁵.

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IVCOINTERPDVAgro.2019.0013>

Resumo

O uso e o manejo inadequado solo são atividades antrópicas contribuem para o aumento significativo das emissões de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. O Brasil é um grande produtor de alimentos e o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. A Cultura destaca-se na mitigação dos GEE, uma vez que captura enormes quantidades de CO₂ da atmosfera e incorpora carbono em sua fitomassa. Entretanto, o preparo do solo pode levar a perdas expressivas de CO₂ na atmosfera (FCO₂), ocasionadas pela umidade do solo, temperatura do solo e mudanças dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. O objetivo do trabalho foi determinar a influência da fertilidade do solo e dos atributos do solo nos processos de FCO₂ e o estoque de carbono (Estc) em duas áreas comerciais cultivadas com a cana-de-açúcar, localizadas nas cidades de Motuca- SP e Aparecida do Taboado – MS, regiões do Cerrado do brasileiro, por meio da análise exploratória da técnica multivariada Cluster Analysis, os agrupamentos hierárquicos e não hierárquicos. Os estudos foram conduzidos em áreas comerciais cultivadas com a cana-de-açúcar, localizadas nos municípios de Motuca - SP e em Aparecida do Taboado – MS. A FCO₂ e a temperatura do solo foram registradas por meio do sistema LI-COR (LI-8100 e a umidade do solo (Us) foi determinada por meio de um equipamento de TDR. Os

¹ Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, UNESP Jaboticabal - SP, e-mail: polianamaraf@hotmail.com

² Msc. Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, UNESP Jaboticabal - SP, e-mail: paulloalex@outlook.com

³ Msc. Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, UNESP Jaboticabal - SP, e-mail: mevicentini@gmail.com

⁴ Dr. Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, UNESP Jaboticabal - SP, e-mail: alan.panosso@unesp.br

⁵ Dr. Agronomia, Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, UNESP Jaboticabal - SP, e-mail: rolim@fcav.unesp.br

valores médios de FCO_2 para as duas áreas estudadas variaram de 1,798 a 2,14 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, Aparecida do Taboado –MS e Motuca - SP respectivamente. Por meio dos valores médios de observou-se que a cidade Motuca- SP apresenta maior potencial de emissão (FCO_2) e maior estoque (Estc) de carbono no solo, quando comparado com o município de Aparecida do Taboado-MS. Através da análise multivariada de agrupamentos observou-se a formação de dois grupos grupo I formado por (Motuca) e grupo II por (Aparecida do Taboado). No grupo I as trocas gasosas foram mais influenciadas pelos atributos químicos CTC, P e pH e físicos Ts, Ds, Us e PLA, e ocorrem em solo de maior fertilidade. No Grupo II Ts, Us Micro, CTC e P contribuíram com FCO_2 . Todos os atributos do solo interferiram nos processos de formação dos grupos e no fluxo de CO_2 no solo. As análises de agrupamentos hierárquica e não hierárquica identificou a formação de dois grupos: grupo I (Motuca – SP) relacionados com a maior fertilidade do solo, FCO_2 e Estc, quando comparado ao grupo II (Aparecida do Taboado – MS).

Palavras-Chave: Gases de efeito estufa, fluxo CO_2 do solo, análise de agrupamentos.

Resumen

El uso y la gestión inadecuados del suelo son actividades antropogénicas contribuyen al aumento significativo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera. Brasil es un importante productor de alimentos y el mayor productor mundial de caña de azúcar. El cultivo sobresale en la mitigación de GEI, ya que captura grandes cantidades de CO_2 de la atmósfera e incorpora carbono a su biomasa. Sin embargo, la preparación del suelo puede conducir a pérdidas significativas de CO_2 en la atmósfera (FCO_2) causadas por la humedad del suelo, la temperatura del suelo y los cambios en los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo. El objetivo de este trabajo fue determinar la influencia de la fertilidad del suelo y los atributos del suelo en los procesos de emisión (FCO_2) y el stock de carbono (Estc) en las áreas comerciales cultivadas con caña de azúcar, ubicadas en las ciudades de Motuca-SP y Aparecida do Taboado - MS, regiones del Cerrado brasileño, a través del análisis exploratorio de la técnica de Análisis de Clúster multivariante, los grupos jerárquicos y no jerárquicos. Los estudios se realizaron en áreas comerciales cultivadas con caña de azúcar, ubicadas en los municipios de Motuca - SP y en Aparecida do Taboado - MS. El FCO_2 y la temperatura del suelo se registraron utilizando el sistema LI-COR (LI-8100 y la humedad del suelo (Us) se determinaron mediante un equipo TDR. Los valores promedio de FCO_2 para las dos áreas estudiadas oscilaron entre 1.798 a 2.14 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, Aparecida do Taboado –MS y Motuca - SP respectivamente, por medio de los valores medios de la misma, se observó que la ciudad Motuca- SP tiene un mayor potencial de emisión (FCO_2) y mayor stock (El carbono del suelo en comparación con el municipio de Aparecida do Taboado-MS A través del análisis multivariado de grupos se observó la formación de dos grupos, el grupo I formado por (Moutuca) y el grupo II por (Aparecida do Taboado). En el grupo I, el intercambio de gases estuvo más influenciado por los atributos químicos CTC, P y pH y los atributos físicos Ts, Ds, Us y PLA, y ocurren en suelos de mayor fertilidad. En el Grupo II Ts, Us Micro, CTC y P contribuyeron con FCO_2 . Todos los atributos de solo interferiram procesamos dos grupos y no solo el flujo de CO_2 . Como los análisis de los grupos jerárquicos y no jerárquicos identificaron la formación de dos grupos: el grupo I (Motuca - SP) relacionado con una mayor fertilidad sola, FCO_2 y Estc, en comparación con el grupo II (Aparecida do Taboado - MS).

Palabras Clave: Gases de efecto invernadero, Flujo de suelo de CO_2 , análisis de

conglomerados

Abstract

Anthropogenic land-use and land cover changes (LULCC) contribute to the significant increase in greenhouse gas (GHG) emissions into the atmosphere. Brazil is a major food producer and the world's largest producer of sugar cane. Culture excels in GHG mitigation as it captures huge amounts of CO₂ from the atmosphere and incorporates carbon into its biomass. However, soil preparation can lead to significant losses of CO₂ in the atmosphere (FCO₂) caused by soil moisture, soil temperature and changes in soil physical, chemical and biological attributes. The objective of this work was to determine the influence of soil fertility and soil attributes on emission processes (FCO₂) and carbon stock (Estc) in two commercial areas cultivated with sugarcane, located in the cities of Motuca- SP and Aparecida do Taboado - MS, regions of the Brazilian Cerrado, through the exploratory analysis of the multivariate Cluster Analysis technique, the hierarchical and non-hierarchical groupings. The studies were conducted in commercial areas cultivated with sugar cane, located in the municipalities of Motuca - SP, and in Aparecida do Taboado - MS. FCO₂ and soil temperature were recorded using the LI-COR system (LI-8100 and soil moisture (Us) were determined by a TDR equipment. The average FCO₂ values for the two areas studied ranged from 1.798 to 2.14 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, Aparecida do Taboado -MS and Motuca - SP respectively, by means of the mean values of it was observed that the city Motuca- SP has higher emission potential (FCO₂) and larger stock (Soil carbon when compared to the municipality of Aparecida do Taboado-MS Through the multivariate analysis of clusters was observed the formation of two groups group I formed by (Motuca) and group II by (Aparecida do Taboado). In group I, gas exchange was more influenced by the chemical attributes CTC, P and pH and physical attributes Ts, Ds, Us and PLA, and occur in higher fertility soil. In Group II Ts, Us Micro, CTC and P contributed FCO₂. All soil attributes interfered with group formation processes and soil CO₂ flux. The analysis of hierarchical and non-hierarchical groupings identified the formation of two groups: group I (Motuca - SP) related to higher soil fertility, FCO₂ and Estc, when compared to group II (Aparecida do Taboado - MS).

Keywords: Greenhouse gases, Soil CO₂ Flux, cluster analysis

Introdução

O Brasil é um grande produtor de alimentos e o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Na safra 2018/2019 a área plantada foi em torno de 8,59 milhões hectares e uma produção de 620,44 milhões de toneladas. Segundo previsão da Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, o Estado de São Paulo será o maior produtor do país, com 4,43 milhões de hectares e uma produção de 332,88 milhões de toneladas, compreendendo 53,65 % da cana processada. Já o Estado do Mato Grosso do Sul é o quarto maior produtor do país, com 647,4 mil de hectares e produção de 49,50 milhões de toneladas, onde será responsável por 7,98 % da produção brasileira de acordo com estimativas (CONAB, 2019). Portanto, o estudo das

práticas de manejo do solo relacionadas a esta cultura é de grande importância para mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE). As práticas de eliminação da soqueira pelo preparo do solo em áreas de cana-de-açúcar podem levar à expressivas perdas de carbono do solo pela emissão de CO₂, especialmente em curtos períodos, pelas mudanças ocasionadas pela umidade do solo, temperatura do solo e atributos físicos, químicos e biológicos do solo (SCALA et al., 2006; MOITINHO et al., 2015).

Em 2019, a concentração equivalente de CO₂ na atmosfera foi de aproximadamente 411 ppm (NOAA, 2019), o que representou um grande aumento em seus níveis de emissão, desde a era pré-industrial. O CO₂ pode armazenar energia térmica proveniente da radiação solar, o que faz com que a temperatura do planeta como um todo aumente, provocando o aumento da atividade microbiana e a intensidade da respiração das raízes, ocasionando assim uma maior produção de CO₂ nos solos agrícolas (SCHLÖMER et al., 2013; XIE et al., 2015). Muitos atributos do solo influenciam no processo de produção e transferência de CO₂ no solo, como por exemplo: densidade do solo, textura do solo, porosidade livre de água, temperatura do solo e umidade do solo (TEIXEIRA et al., 2012, PANOSSO et al., 2011, USSIRI e LAL, 2009, SMART e PEÑUELAS, 2005; LA SCALA et al., 2006; MOITINHO et al., 2015).

A caracterização da variabilidade espacial da emissão de CO₂ pela geoestatística traz informações relevantes sobre a distribuição espacial do CO₂, que por sua vez pode ser diretamente influenciada pelas características atmosféricas, pelos atributos do solo e pela planta. Analisando a variabilidade temporal e espacial da respiração solo em áreas de *Pinus elliotti* no estado da Flórida – EUA, foi observado que boa parte da variabilidade espacial do fluxo de CO₂ no solo foi explicada pelas mudanças da biomassa dos organismos vivos e mortos associados à porosidade total (FANG et al., 1998). Rochette et al. (1991) concluíram que os padrões espaciais da respiração do solo eram distintos de acordo com o teor de água no solo, sendo bastante influenciados pela ocorrência de chuvas, principalmente depois dos períodos de seca. Schwendenmann et al. (2003), estudando a variação espaçotemporal do fluxo de CO₂ em áreas florestais, obtiveram que o fator principal que explicou as variações temporais do fluxo de CO₂, foi a quantidade de água no solo. Os autores concluíram que o fluxo, a difusão e a taxa de produção de CO₂ diminuía quando o solo apresentava elevada umidade.

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi determinar a influência dos atributos do solo nos processos de emissão (FCO₂) e estoque de carbono (Estc) do CO₂ no solo, em duas áreas comerciais cultivadas com a cana-de-açúcar, localizadas nos municípios de Motuca- SP

e Aparecida do Taboado – MS, regiões do Cerrado do brasileiro, por meio da análise exploratória de dados das Análises de Agrupamentos hierárquicas e não hierárquicas.

Metodologia

Os estudos foram realizados em duas áreas comerciais cultivadas com a cana-de-açúcar. A primeira área de estudo foi o município de Motuca, localizada no interior do Estado de São Paulo, no ano de 2008. As coordenadas geográficas da área foram 21° 24' S e 48° 09' O. Já a segunda área de estudo foi o município de Aparecida do Taboado, localizada no interior do Estado do Mato Grosso do Sul, no ano de 2014. As coordenadas geográficas da área foram 20° 16' S e 51° 16' O. Ambas as áreas de cana-de-açúcar estavam sob o sistema de manejo de cana crua (colheita mecanizada), em que os resíduos vegetais (folha e colmos) permanecem na superfície do solo após a colheita. As classificações dos solos foram realizadas conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS). Em Motuca o solo foi definido como Latossolo Vermelho Eutroférico, com textura muito argilosa (teor de argila superior a 60%). Em Aparecida do Taboado, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico com textura argilosa. A classificação climática foi definida de acordo com a metodologia de Köppen. Em Motuca foi classificado como Aw, com temperatura média anual de 22,2 °C. No município de Aparecida do Taboado o clima Aw, e temperatura média anual 23,7 °C.

Figura 1. Localização das áreas experimentais, Motuca- SP e Aparecida do Taboado – MS.

A emissão de CO₂ do solo (FCO₂) 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 foi calculado para a profundidade de 0,10 m e, com base na massa de solo equivalente para contabilizar as variações da densidade do solo, nas diferentes áreas de estudo pela equação 1 (BAYER et al., 2000):

$$Estc = \frac{CO \times Ds \times E}{10} \quad (1)$$

Estc = estoque de carbono (Mg ha⁻¹); CO = teor de carbono orgânico oxidável (g kg⁻¹); Ds = densidade do solo (kg dm⁻³); E = espessura da camada estudada (0,10 m).

Após a finalização das mensurações, foram coletadas as amostras de solo deformadas e indeformadas na profundidade de 0 a 0,10 m e posteriormente peneiradas na malha de 2 mm. Para a análise química foram extraídos os atributos: potencial hidrogeniônico (pH), capacidade de troca de cátions (CTC) e o teor de fósforo disponível no solo (RAIJ et al., 2001). A partir destas mesmas amostras, também foram determinados os seguintes atributos físicos: porosidade livre de água (PLA), macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e a densidade do solo (Ds) (EMBRAPA, 1997). Todas as avaliações foram feitas no início do estágio de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, que posteriormente resultaram em médias finais no encerramento dos períodos de avaliação para cada área de estudo avaliado.

Análise estatística

Os dados foram analisados, inicialmente por meio da estatística descritiva (média, desvio-padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação). Foi realizado o teste de Teste de Shapiro-Wilk ao nível de 5% de probabilidade para verificação da normalidade dos dados. Em seguida foram aplicados dois métodos estatísticos multivariados, visando classificar os acessos em grupos: análise de agrupamentos hierárquica e a análise de agrupamentos não-hierárquica de k-means. Todas as análises multivariadas foram realizadas após a padronização das variáveis em que cada uma ficou com média 0 e variância 1. Para essas análises foram avaliados os seguintes conjuntos dos atributos do solo: umidade do solo (Um), temperatura do solo (Ts) porosidade livre de água do solo (PLA), macroporosidade do solo (Macro), microporosidade do solo (Micro), densidade do solo (Ds), potencial hidrogeniônico (pH), teor de Fósforo

disponível no solo (P) e capacidade de troca de cátions do solo (CTC). Para as análises de agrupamentos não foram utilizados os dados de FCO₂ e de Estc do solo.

Resultados e Discussão

Os valores médios de FCO₂ nas áreas estudadas foram 2,124 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para o município de Motuca variando entre 0,948 e 4,013 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Já em Aparecida do Taboado o FCO₂ foi de 1,798 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ variou de 1,063 a 5,177 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Os coeficientes de variação foram de 41,240 % e 51,291%, respectivamente. Com relação ao armazenamento de CO₂, os valores calculados do Estc em Motuca variaram de 6,828 a 9,026 Mg ha⁻¹, com valor de estocagem média de carbono de 7,813 Mg ha⁻¹. Já em Aparecida do Taboado a variação observada foi de 2,618 a 12,076 Mg ha⁻¹, sendo o estoque médio da área 6,212 Mg ha⁻¹ e com os coeficientes de variação de 7,672% e 28,984%, respectivamente. Os valores observados são considerados altos (CV>24%) segundo os critérios de classificação proposto por Warrick e Nielsen (1980) (Tabela 1), Tais valores de FCO₂ e Estc assemelham-se aos observados por outros autores, em estudos conduzidos sob o cultivo de cana-de-açúcar, na região Nordeste do Estado de São Paulo (BAHIA et al., 2015; TAVARES et al., 2016).

Por meio dos valores médios observou-se que a cidade Motuca apresentou o maior potencial de emissão (FCO₂) e maior estoque (Estc) de carbono no solo, quando comparado com o município de Aparecida do Taboado -MS. Segundo Guo e Gifford et al. (2002) o estoque de carbono no solo é o resultado do equilíbrio entre o balanço de entradas e saídas de carbono, e a mudança e o uso do solo, contribui para perdas significativas de CO₂, até que um novo equilíbrio seja finalmente alcançado no novo ecossistema.

Também foi observado que a cidade de Motuca apresentou maiores valores de CTC e de P, quando comparado com Aparecida do Taboado, 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 CO₂ no solo. Estudos conduzidos por Bicalho et al. (2017), em áreas cana-de-açúcar colhida mecanicamente na região Nordeste do Estado de São Paulo, observaram que os atributos químicos estavam relacionados à produção de CO₂ no solo.

A produção de CO₂ no interior do solo é um processo complexo que geralmente pode ser associada à atividade biológica e a decomposição da matéria orgânica, que por sua vez são influenciadas pela umidade e a temperatura do solo, sendo esses os fatores mais importantes no

controle da respiração do solo. O fato de o maior valor médio de FCO₂ ter ocorrido na área de Motuca também pode ser explicado pelos maiores valores médio de temperatura e umidade do solo em relação à Aparecida do Taboado (25,240 °C e 31,362 %, respectivamente). Além disso, observou-se que os atributos físicos relativos à Ds, PLA, Macro e Micro contribuíram na variação dos valores de FCO₂ nas áreas de estudo. A FCO₂ é resultante da produção do CO₂ no interior do solo e está relacionada com respiração autotrófica e heterotrófica. Já o seu transporte até a superfície está relacionado com a textura e estrutura do solo (KANG et al., 2000). Em áreas de cana crua as variáveis Us, Ds e PLA são controladoras da emissão do CO₂ (TEIXEIRA et al., 2012; PANOSSO et al., 2012) uma vez que o maior número de agregados e macroporos facilitam as gasosas entre o solo e atmosfera (BRITO et al., 2009).

Tabela 1. Estatísticas descritivas da emissão de CO₂ e dos atributos físicos e químicos do solo para todas as áreas estudadas.

VARIÁVEIS	MÉDIA	DP	MIN / MAX	CV
MOTUCA – SP				
FCO ₂	2,124	0,876	0,948 / 4,013	41,240
Ts	25,240	0,929	22,928 / 26,475	3,679
Us	31,362	10,538	22,600 / 57,750	33,601
Ds	1,165	0,067	1,044 / 1,278	5,735
Macro	6,642	2,,805	1,923 / 12,195	42,233
Micro	36,046	1,673	32,280 / 38,218	4,641
PLA	11,326	11,332	-16,083 / 20,772	100,054
pH	4,600	0,,278	4,100 / 5,200	6,052
P	16,471	4,110	10,000 / 25,000	24,952
CTC	102,865	9,572	92,100 / 124,600	9,305
Estc	7,813	0,599	6,828 / 9,026	7,672
APARECIDA DO TABOADO – MS				
FCO ₂	1,798	0,922	1,063 / 5,177	51,291
Ts	21,731	1,115	20,065 / 24,232	5,129
Us	9,345	0,977	7,200 / 10,800	10,454
Ds	1,472	0,113	1,331 / 1,689	7,654
Macro	10,997	4,721	3,567 / 19,814	42,931
Micro	32,190	2,583	28,634 / 37,217	8,023
PLA	33,842	4,397	25,628 / 41,301	12,991
pH	5,318	0,295	4,730 / 5,790	5,548
P	7,971	1,037	6,687 / 10,259	13,013
CTC	57,430	4,354	49,690 / 66,194	7,582
Estc	6,212	1,801	2,618 / 12,076	28,984

DP = desvio padrão; Máx = Máximo; Mín = Mínimo; CV = coeficiente de variação (%); FCO₂ = Fator de emissão de CO₂ (μmol m⁻²s⁻¹); Ts = temperatura do solo (°C); Um = umidade do solo (%); Ds = densidade do solo (kg dm⁻³); Macro = macroporosidade (%); Micro = microporosidade (%), PLA = porosidade livre de água (%); pH = potencial Hidrogeniônico (CaCl₂); P = fósforo disponível (mg dm⁻³); CTC = capacidade de troca de cátions (mmolc dm⁻³); Estc = estoque de carbono no solo (Mg ha⁻¹),

Analysis Cluster

Por meio da análise multivariada de agrupamentos foi gerado o dendrograma (Figura 2), o qual indicou a formação de dois grupos em função da similaridade dos pontos amostrais, sendo que o grupo I formado por Motuca, limitada pela distância de 7,85 e grupo II por

Aparecida do Taboado, com distância de 8,18 (Figura 3), que conseguiram agrupar as regiões que apresentam maior e menor fluxo de CO₂ no solo, respectivamente.

Figura 2. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos mostrando a formação de grupos segundo os atributos físicos e químicos do solo.

Figura 3. Representação da variação expressiva da distância euclidiana entre as variáveis consideradas que permitiu a separação de grupos.

Considerando o número de grupos igual a dois, adotou-se o método do algoritmo k-means, para confirmação da ordenação obtida na análise de agrupamentos hierárquica. Conforme a análise de variância para determinação dos grupos pelo método do algoritmo k-means todos os atributos do solo foram significativos para processo de divisão do grupo como observados no Tabela 2.

Tabela 2. Análise de variância para cada variável dos grupos formados pela análise não-hierárquica de agrupamentos k-means.

VARIÁVEL	SOMA DE QUADRADOS ENTRE GRUPOS	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DE QUADRADOS DENTRO DOS GRUPOS	GRAUS DE LIBERDADE	FC	PROBABILIDADE,
TS	24,969	1,000	8,031	32,000	99,485	0,000
US	22,998	1,000	10,002	32,000	73,575	0,000
DS	24,573	1,000	8,427	32,000	93,316	0,000
MACRO	8,265	1,000	24,735	32,000	10,693	0,003
MICRO	15,010	1,000	17,990	32,000	26,699	0,000
PLA	21,310	1,000	11,690	32,000	58,331	0,000
PH	20,619	1,000	12,381	32,000	53,290	0,000
P	22,478	1,000	10,522	32,000	68,360	0,000
CTC	29,978	1,000	3,023	32,000	317,379	0,000

A divisão dos grupos mostrou que foram influenciadas pelas características físico-químicas do solo, sendo que as trocas gasosas se mostraram mais influenciadas pelos atributos CTC (0,939), Ts (0,857) e Ds (0,850), nas duas áreas estudadas, sendo que estes fluxos do CO₂ foram mais intensos em Motuca, quando comparado com Aparecida do Taboado (Tabela 3).

Tabela 3. Análise descritiva da influência dos atributos do solo no fluxo de gasoso do CO₂ do solo nos municípios de Motuca - SP e Aparecida do Taboado – MS

VARIÁVEL	MOTUCA	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA	APARECIDA DO TABOADO	DESVIO PADRÃO	VARIÂNCIA
TS	0,857	0,454	0,206	-0,857	0,544	0,296
US	0,822	0,787	0,619	-0,822	0,073	0,005
DS	-0,850	0,370	0,137	0,850	0,624	0,389
MACRO	-0,493	0,635	0,403	0,493	1,069	1,143
MICRO	0,664	0,576	0,332	0,664	0,889	0,792
PLA	-0,792	0,797	0,635	0,792	0,309	0,096
PH	-0,779	0,604	0,364	0,779	0,639	0,409
P	0,813	0,786	0,618	-0,813	0,198	0,039
CTC	0,939	0,396	0,157	-0,939	0,179	0,032

Estudos conduzidos por Bicalho et al. (2017), em áreas cana-de-açúcar colhida mecanicamente na região Nordeste do Estado de São Paulo, concluíram que a dependência espacial de FCO₂ está associada à porosidade do solo e a dependência espacial da produção de

CO₂ está relacionada aos atributos químicos do solo. A figura 4 indica as médias padronizadas dos atributos do solo para cada grupo, segundo análise de agrupamentos pelo método k-means. Observou-se que para o município de Motuca, ocorreram maiores médias de Ts, Us, Micro, P, CTC e menores Ds, Macro, PLA, pH, quando comparado com Aparecida do Taboado, o que resultaram na maior atividade microbiana e na maior emissão e estoque de carbono solo (alta fluxo gasoso). Já no município de Aparecida do Taboado ocorre exatamente o processo oposto, ocorrendo maiores médias de Ds, Macro, PLA, pH e menores médias de Ts, Us, Micro, P e CTC. Neste município são observados que devido a junção e os efeitos destes atributos na microbiota do solo foi observado os menores valores de FCO₂ e de Estc, quando comparados com o município de Motuca (Figura 4).

Influência dos atributos do solo e do fluxo de gasoso do solo nos municípios de Motuca - SP e Aparecida do Taboado - MS

Figura 4. Médias padronizadas dos atributos do solo p para cada grupo, segundo análise de agrupamentos não-hierárquica k-means, Ts: Temperatura do solo, Us: umidade do solo, Ds: densidade do solo, Macro: macroporosidade, Micro: microporosidade, PLA: porosidade livre de água, pH: potencial Hidrogeniônico, P: fósforo disponível, CTC: capacidade de troca de cátions.

Conclusões

Todos os atributos do solo interferiram significativamente nos processos de formação dos grupos, sendo que a CTC, Ds, Us e Ts foram os que mais influenciaram nesta formação.

As análises de agrupamentos hierárquica e não hierárquica identificou a formação de dois grupos para as áreas comerciais de cana-de-açúcar, sendo que o grupo I foi formado pelos pontos amostrais de Motuca - SP e o grupo II formado pelos os de Aparecida do Taboado - MS.

O fluxo de CO₂ do solo foi diferente nas duas áreas de estudo, sendo que no município de Motuca foram observados maiores valores de FCO₂ e de Estc, quando comparado com

Aparecida do Taboado, mostrando que a fertilidade do solo (CTC e P), Ds, Us e Ts interferiram diretamente na intensidade do fluxo de CO₂ do solo.

Referências

BAHIA ASRS, MARQUES JR J, PANOSSO AR, CAMARGO LA, SIQUEIRA DS, TEIXEIRA DB, LA SCALA JR N. Field-scale spatial correlation between iron oxides and CO₂ emission in an Oxisol with sugarcane. *Scientia Agricola*, v. 72, n., p. 157-166. (2015).

BRITO LF, MARQUES JR J, PEREIRA GT, SOUZA ZM, LA SCALA N. Soil CO₂ emission of sugarcane fields as affected by topography. *Scientia Agricola*, v. 66, n. 1, p. 77-83. (2009).

CONAB, 2019. Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília. Disponível em < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em: 23 julho, 2019.

da SILVA BICALHO E, MOITINHO MR, TEIXEIRA DE BORTOLI D, PANOSSO AR, SPOKAS KA, LA SCALA N. Soil Greenhouse Gases: Relations to Soil Attributes in a Sugarcane Production Area. *Soil Sci Soc Am J* 81: 1168-1178. (2017).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA-CNPS), (1997) Rio de Janeiro, Brazil Manual de métodos de análise de solo (In Portuguese) Centro Nacional De Pesquisa De Solos (2nd ed).

GUO LB, GIFFORD RM. *Global Change Biology*, 8 pp. 345. (2002).

FANG C, MONCRIEFF JB, GHOLZ HL, CLARK KL. Soil CO₂ efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation. *Dordrecht Plant and Soil*, 205: 135-146. (1998).

KANG S, KIM S, OH S, LEE D. Predicting spatial and temporal patterns of soil temperature based on topography, surface cover, and air temperature. *Forest Ecology and Management* 136:173-184. (2000).

LA SCALA N, BOLONHEZI D, PEREIRA GT. Short-term soil CO₂ emission after conventional and reduced tillage of a no-till sugar cane area in southern Brazil, Amsterdam, *Soil and Tillage Research* 91, 244-248. (2006).

MOITINHO MR, PADOVAN MP, PANOSSO AR, TEIXEIRA DB, FERRAUDO AS, LA SCALA N. On the spatial and temporal dependence of CO₂ emission on soil properties in

sugarcane (*Saccharum* spp.) production, Amsterdam, Soil and Tillage Research 148, 127-132. (2015).

NOAA, Trends in Atmospheric Carbon Dioxide <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/graph.html>. 2019. Acesso em: 23 julho, 2019.

PANOSSO AR, MARQUES J, MILORI DMBP, FERRAUDO AS, BARBIERI DM, PEREIRA GT, LA SCALA N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugarcane areas under Slash-and-burn and Green harvest. Amsterdam, Soil Tillage Research, 111:190–196. (2011).

PANOSSO AR, PERILLO LI, FERRAUDO AS, PEREIRA GT, MIRANDA JGV, LA SCALA JR N. Fractal dimension and anisotropy of soil CO₂ emission in a mechanically harvested sugarcane production area. Soil & Tillage Research, v. 124, n., p. 8-16, 2012.

RAIJ BV. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônômico, 285 p. (2001).

SMART DR, PENUELAS J. Short-term CO₂ emissions from planted soil subject to elevated CO₂ and simulated precipitation. Appl Soil Ecol 3, 28: 247- 257. (2005).

SCHLÖMER S, FURCHE M, DUMKE I, POGGENBURG J, BAHR C, SEEGER S, VIDAL A, FABER E. A review of continuous soil gas monitoring related to CCS – technical advances and lessons learned. London, Applied Geochemistry, 30:148–160. (2013).

SCHWENDENMANN L, VELDKAMP E, BRENES T, O'BRIEN JJ, MACKENSEN J. Spatial and temporal variation in soil CO₂ efflux in an old-growth neotropical rain forest, La Selva, Costa Rica. Dordrecht, Biogeochemistry, 64:111-28. (2003).

ROCHETTE P, DESJARDINS RL, PATTEY E. Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. Ottawa, Canadian Journal of Soil Science, 71:189-196. (1991).

TAVARES RLM, SIQUEIRA DS, PANOSSO AR, CASTIONI GA, DE SOUZA ZM, LA SCALA JR N. Soil management of sugarcane fields affecting CO₂ fluxes. Scientia Agricola, v. 73, n. 6, p. 543-551. (2016).

TEIXEIRA DB, BICALHO ES, PANOSSO AR, PERILLO LI, IAMAGUTI JL, PEREIRA GT, LA SCALA N. Uncertainties in the prediction of spatial variability of soil CO₂ emissions and related properties. Viçosa-MG, Revista Brasileira Ciência do Solo, 36: 1466- 1475. (2012).

USSIRI AN, LAL R. Long-term tillage effects on soil carbon storage and carbon dioxide emissions in continuous corn cropping system from an alfisol in Ohio. Amsterdam, Soil & Tillage Research, 104:39-47. (2009).

WARRICK AW, NIELSEN DR. Spatial variability of soil physical properties in the field, In: Hillel, D, (Ed.), Applications of soil physics, New York: Academic Press. p, 319-344. (1980).

XIE SP, DESER C, VECCHI GA, COLLINS M, DELWORTH TL, HALL A, WATANABE M. Towards predictive understanding of regional climate change. London, Nature Climate Change, 5:921–930. (2015).