



COINTER PDVAgro 2020

V CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS

Edição 100% virtual | 02 a 05 de dezembro

ISSN:2526-7701 | PREFIXO DOI:10.31692/2526-7701

INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS-QUÍMICOS DO SOLO NOS PROCESSOS DO FLUXO DE CO₂ EM ÁREAS DE CANA CRUA

INFLUENCIA DE LOS ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICOS DEL SUELO EN LOS PROCESOS DE FLUJO DE CO₂ EN ÁREAS CRUDAS DE CAÑA

INFLUENCE OF SOIL PHYSICAL-CHEMICAL ATTRIBUTES IN THE PROCESSES OF CO₂ FLOW IN RAW CANE AREAS

Apresentação: Comunicação Oral

Paulo Alexandre da Silva¹; Maria Elisa Vicentini²; Alan Rodrigo Panosso³; Bruna Cristina de Lima Candido⁴;
Glauco de Sousa Rolim⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.VCOINTERPDVAgro.0558>

RESUMO

O Brasil é um grande produtor de alimentos e o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. A Cultura destaca-se na mitigação dos gases do efeito estufa (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 localidades de Motuca- SP e Aparecida do Taboado – MS, regiões do Cerrado do brasileiro, por meio da análise exploratória da técnica multivariada de fatores. 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 (Time Domain Reflectometry - Hydrosense TM, Campbell Scientific, Austrália). Os valores médios de FCO₂ 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. Motuca- SP apresenta maior potencial de emissão (FCO₂) e maior estoque (EstC) de carbono no solo, quando comparado com o município de Aparecida do Taboado-MS. Através da análise de fatores foram identificados 3 processos: Fator 1 (39,38 %) = armazenamento do carbono no solo, sendo fortemente influenciados pelo EstC (0,91), Micro (0,89) e Ts (-0,85); Fator 2 (35,21 %) = transporte e emissão do CO₂ no solo, influenciados fortemente pela FCO₂ (0,93), Us (0,81) e Ds (-0,92) e Fator 3 (21,18 %) = atividade da microbiota do solo, influenciada pelo P (1,00) e a CTC (0,62). Observa-se que o estudo da estabilidade de carbono é muito complexo, pois dependendo dos processos que estão ocorrendo no solo, pode-se escolher as práticas agrícolas, principalmente as que estão ligadas ao preparo do solo, ao uso de insumos agrícolas, ao acúmulo de MO na forma de palhada, ao manejo hídrico e à umidade do solo, podendo trazer a maior conservação e sequestro de carbono no solo.

Palavras-Chave: Gases de efeito estufa, emissão de CO₂, estoque de carbono, análise de fatores, atributos do solo.

RESUMEN

Brasil es un importante productor de alimentos y el mayor productor mundial de caña de azúcar. La

INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS-QUÍMICOS DO SOLO NOS PROCESSOS DO FLUXO

cultura se destaca en la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI), ya que captura grandes cantidades de CO₂ de la atmósfera e incorpora carbono en su fitomasa. Sin embargo, la preparación del suelo puede provocar pérdidas significativas de CO₂ en la atmósfera (FCO₂), provocadas por la humedad del suelo, la temperatura del suelo y los cambios en los atributos físicos, químicos y biológicos del suelo. El objetivo del trabajo fue determinar la influencia de la fertilidad del suelo y los atributos del suelo sobre los procesos de FCO₂ y el stock de carbono (EstC) en dos áreas comerciales cultivadas con caña de azúcar, ubicadas en las localidades de Motuca-SP y Aparecida do Taboado - MS, regiones del Cerrado de Brasil, a través del análisis exploratorio de la técnica de factores multivariados. 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 FCO₂ y la temperatura del suelo se registraron usando el sistema LI-COR (LI-8100 y la humedad del suelo (Us) se determinó usando equipo TDR (Time Domain Reflectometry - Hydrosense TM, Campbell Scientific, Australia) Los valores promedio de FCO₂ para las dos áreas estudiadas variaron de 1.798 a 2.14 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, Aparecida do Taboado - MS y Motuca - SP, respectivamente. (EstC) de carbono en el suelo, cuando se compara con la ciudad de Aparecida do Taboado-MS. Mediante el análisis de factores, se identificaron 3 procesos: Factor 1 (39,38%) = almacenamiento de carbono en el suelo, siendo fuertemente influenciado por la EstC (0,91), Micro (0,89) y Ts (-0,85); Factor 2 (35,21%) = transporte y emisión de CO₂ en el suelo, fuertemente influenciado por FCO₂ (0,93), Us (0,81) y Ds (-0,92) y Factor 3 (21,18%) = actividad de la microbiota del suelo, influenciada por P (1,00) y CTC (0,62). Se observa que el estudio de estabilidad de carbono es muy complejo, pues dependiendo de los procesos que se están produciendo en el suelo, se puede optar por prácticas agrícolas, principalmente aquellas que están ligadas a la preparación del suelo, el uso de insumos agrícolas, la acumulación de MO en forma de paja, la la gestión del agua y la humedad del suelo, que pueden traer una mayor conservación y secuestro de carbono en el suelo.

Palabras Clave: Gases de efecto invernadero, emisiones de CO₂, stock de carbono, análisis factorial, atributos del suelo.

ABSTRACT

Brazil is a major producer of food and the world's largest producer of sugarcane. Culture stands out in the mitigation of greenhouse gases (GHG), since it captures huge amounts of CO₂ from the atmosphere and incorporates carbon in its phytomass. However, soil preparation can lead to significant losses of CO₂ in the atmosphere (FCO₂), caused by soil moisture, soil temperature and changes in the physical, chemical and biological attributes of the soil. The objective of the work was to determine the influence of soil fertility and soil attributes on the FCO₂ processes and the carbon stock (EstC) in two commercial areas cultivated with sugarcane, located in the locations of Motuca-SP and Aparecida do Taboado - MS, Cerrado regions of Brazil, through exploratory analysis of the multivariate factor technique. 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) was determined using TDR equipment (Time Domain Reflectometry - Hydrosense TM, Campbell Scientific, Australia) The average values of FCO₂ 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. (EstC) of carbon in the soil, when compared with the city of Aparecida do Taboado-MS. Through the analysis of factors, 3 processes were identified: Factor 1 (39.38%) = carbon storage in the soil, being strongly influenced by the EstC (0.91), Micro (0.89) and Ts (-0.85); Factor 2 (35.21%) = transport and CO₂ emission in the soil, strongly influenced by FCO₂ (0.93), Us (0.81) and Ds (-0.92) and Factor 3 (21.18%) = soil microbiota activity, influenced by P (1.00) and CTC (0.62) .It is observed that the study of stability of carbon is very complex, because depending on the processes that are taking place in the soil, one can choose agricultural practices, mainly those that are linked to soil preparation, the use of agricultural inputs, the accumulation of OM in the form of straw, the water management and soil moisture, which can bring greater conservation and carbon sequestration in the soil.

Keywords: Greenhouse gases, CO₂ emissions, carbon stock, factor analysis, soil attributes.

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta grande destaque na produção mundial de alimentos, sendo um dos maiores produtores do mundo nas mais diferentes culturas. Quando analisa-se a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), o país é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar e o segundo maior produtor de etanol (FAO, 2017). Na safra 2018/2019, a área plantada foi cerca de 8,59 milhões hectares e a produção esperada era de 620,44 milhões de toneladas. Conforme previsão da Companhia Nacional de Abastecimento CONAB (2019), o Estado de São Paulo é o maior produtor do país, com 4,43 milhões de hectares e 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, representando 7,98 % da produção brasileira (CONAB, 2019). Visto isto, o estudo das práticas de manejo do solo ligadas a essa cultura é de suma importância na área da mitigação das 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, devido 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). Além disso, quando os campos de cana são queimados, resulta na perda de toda a palha e na liberação de uma grande quantidade de gases aerossóis para a atmosfera (DA SILVA et al., 2020). Por outro lado, no manejo ecológico, a colheita mecânica proporciona o retorno dos resíduos da cultura à superfície do solo, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica e a redução de emissão de gases, quando comparado ao sistema de cana queimada. Awe et al. (2015) investigaram o efeito residual do preparo do solo e a introdução de cobertura morta sobre as estruturas de variabilidade temporal e covariância da temperatura do solo de um canavial no sul do Brasil durante o período 2011/2012 e observaram que a cobertura da palha influenciou significativamente o regime térmico de solo, durante as fases críticas do inverno e do verão. Observaram também que a umidade do solo foi maior nas parcelas com palha, quando comparado aos demais tratamentos sem a camada superficial.

Diversos resultados científicos apresentados no quinto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change - IPCC) mostraram que as emissões de gases de efeito estufa (GEE's) vêm aumentando no século XXI, principalmente devido ao uso de carvão como fonte de energia. Atualmente, a concentração dos gases na atmosfera é a mais alta desde os últimos 800 mil anos, cuja a previsão é que até 2100 a temperatura média global aumente 5°C (IPCC, 2014). Em 2020, a concentração

INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS-QUÍMICOS DO SOLO NOS PROCESSOS DO FLUXO

equivalente de CO₂ na atmosfera registrada foi de aproximadamente 413 ppm (NOAA, 2020), mostrando que desde a era pré-industrial estão sendo observados grandes aumentos nos seus níveis de emissão. O CO₂ pode armazenar energia térmica oriunda da radiação solar, resultando no aumento da temperatura do planeta, intensificando a atividade microbiana e aumentando a intensidade da respiração das raízes, causando a maior produção de CO₂ nos solos agrícolas (SCHLÖMER et al., 2013; XIE et al., 2015). Diversos atributos do solo impactam na produção e transferência de CO₂ no solo, como por exemplo a densidade do solo, a textura do solo, a porosidade livre de água, a temperatura do solo e a 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 trazem informações importantes sobre a distribuição espacial, colaborando com a compreensão da dinâmica do CO₂ entre o solo e a atmosfera e suas relações com os atributos do solo. Da Silva et al. (2020), pesquisaram a variação espaçotemporal do fluxo de CO₂ em áreas de cana-de-açúcar e observaram que a umidade do solo, a temperatura do solo, capacidade de troca de cátions teor de fósforo disponível no solo, porosidade livre de água, macroporosidade, microporosidade e a densidade do solo explicaram as variações espaçotemporais do fluxo de CO₂, concluindo que o fluxo, a difusão e a taxa de produção de CO₂ interferem diretamente na estabilidade do carbono no solo.

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 multivariada exploratória de Fatores.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A análise multivariada exploratória de fatores é uma técnica que tem como intuito avaliar a estrutura das variáveis por meio das suas correlações, a partir de um grupo específico em que suas variáveis sejam entre si fortemente correlacionadas, e sejam minimamente correlacionadas as demais variáveis dos diferentes grupos, sendo assim, cada grupo de variáveis forma um único fator que é formado pelas correlações observadas (JOHNSON e WICHERN, 1998).

As variâncias das variáveis observadas são explicadas pelos fatores, que são reveladas pelas correlações das variáveis que são analisadas. Existem diversos métodos usados para a

extração dos fatores, o mais conhecido e aplicado é o da análise de componentes principais, que se baseia na pressuposição da definição dos vetores estatisticamente não correlacionados por meio das combinações lineares das variáveis originais. As combinações lineares dos fatores comuns são originadas das variáveis, que por sua vez, explicarão a unidade da variância de cada variável, atrelado ao desvio que sintetiza a unidade da variância total que não pode ser explicada por estes fatores. A unidade explicada pelos fatores é denominada de comunalidade, e a parcela não explicada de especificidade (HAIR et al, 2005).

Existem diversos processos que definem a extração da quantidade de fatores, um dos mais usados são o critério de Kaiser (1958), que sugere rejeitar aqueles fatores que os autovalores (variância explicada) sejam menores do que um. Além desse, outro critério também é bastante utilizado e recebe o nome de scree plot, que por sua vez é a representação gráfica do autovalor com relação ao percentual da variância explicada, onde iremos desprezar aqueles que estejam paralelos ao eixo das componentes (REIS, 2001).

Para uma visão mais assertiva sobre os resultados obtidos, deseja-se que o pesquisador tenha experiência sobre o assunto, pois assim conseguirá interpretar o poder da explicação das variáveis e suas relações. Geralmente, a primeira solução fatorial mostra um fator bastante correlacionado com diversas variáveis, fornecendo informações complexas de se interpretar e relacionar. Para facilitar essa interpretação são realizadas a rotação das matrizes com o intuito de redistribuir e facilitar a interpretação da variância dos fatores, visando promover uma conclusão mais clara dos processos. Segundo Hair et al. (2005), o método de rotação ortogonal mais comumente utilizado é o varimax.

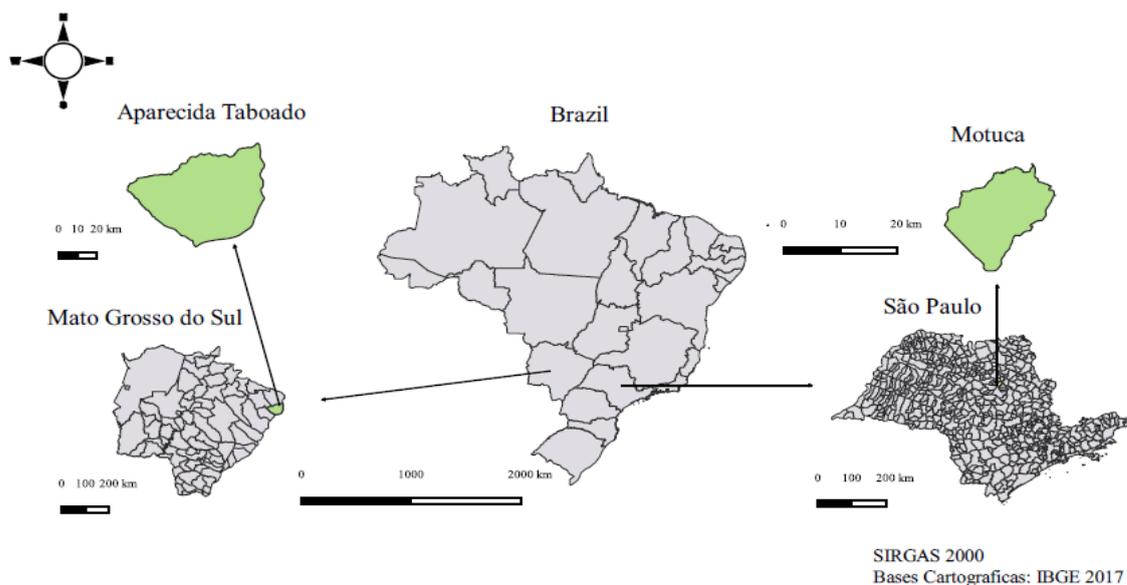
METODOLOGIA

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

INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS-QUÍMICOS DO SOLO NOS PROCESSOS DO FLUXO

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.



Fonte: Própria (2020)

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). Segundo DA SILVA et al. (2020) no município de Motuca foi observado que a FCO₂ ficou entre 0,95 e 4,01 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, apresentando uma média de 2,12 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Já os valores calculados do EstC ficaram entre 6,83 a 9,03 Mg ha^{-1} , cujo o valor de estocagem média de carbono foi de 7,81 Mg ha^{-1} . No município de Aparecida do Taboado – MS, a FCO₂ variou de 1,06 a 5,18 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e apresentou uma emissão média de 1,80 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Para o EstC a variação observada foi de 2,62 a 12,08 Mg ha^{-1} , sendo o estoque médio da área 6,21 Mg ha^{-1} . Motuca - SP apresentou maior potencial médio de emissão (FCO₂) e maior estoque (EstC) de carbono no solo, quando comparado com o município de Aparecida do Taboado -MS. Além disso Motuca também apresentou maior umidade do solo (Um), temperatura do solo (Ts), teor de Fósforo disponível no solo (P) e capacidade de troca de cátions do solo (CTC), como pode ser observado, conforme pode ser observado na Tabela 01.

Tabela 01: 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	2,12	0,88	0,95 / 4,01	41,24
Ts	25,24	0,93	22,93 / 26,48	3,68
Us	31,36	10,54	22,60 / 57,80	33,60
Ds	1,17	0,07	1,04 / 1,28	5,76
Micro	36,05	1,67	32,28 / 38,22	4,64
P	16,47	4,11	10,00 / 25,00	24,95
CTC	102,87	9,57	92,10 / 124,60	9,31
EstC	7,81	0,60	6,83 / 9,03	7,67
APARECIDA DO TABOADO – MS				
FCO ₂	1,80	0,92	1,06 / 5,18	51,29
Ts	21,73	1,12	20,07 / 24,23	5,13
Us	9,35	0,98	7,20 / 10,80	10,45
Ds	1,47	0,11	1,33 / 1,69	7,65
Micro	32,19	2,58	28,63 / 37,22	8,02
P	7,97	1,04	6,69 / 10,26	13,01
CTC	57,43	4,35	49,69 / 66,19	7,58
EstC	6,21	1,80	2,62 / 12,08	28,98

DP = desvio padrão; Máx = Máximo; Mín = Mínimo; CV = coeficiente de variação (%); FCO₂ = Fator de emissão de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); Ts = temperatura do solo (°C); Us = umidade do solo (%); Ds = densidade do solo (kg dm^{-3}); Micro = microporosidade (%); P = fósforo disponível (mg dm^{-3}); CTC = capacidade de troca de cátions (mmolc dm^{-3}); Estc = estoque de carbono no solo (Mg ha^{-1}).

Fonte: Própria (2020)

INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS-QUÍMICOS DO SOLO NOS PROCESSOS DO FLUXO

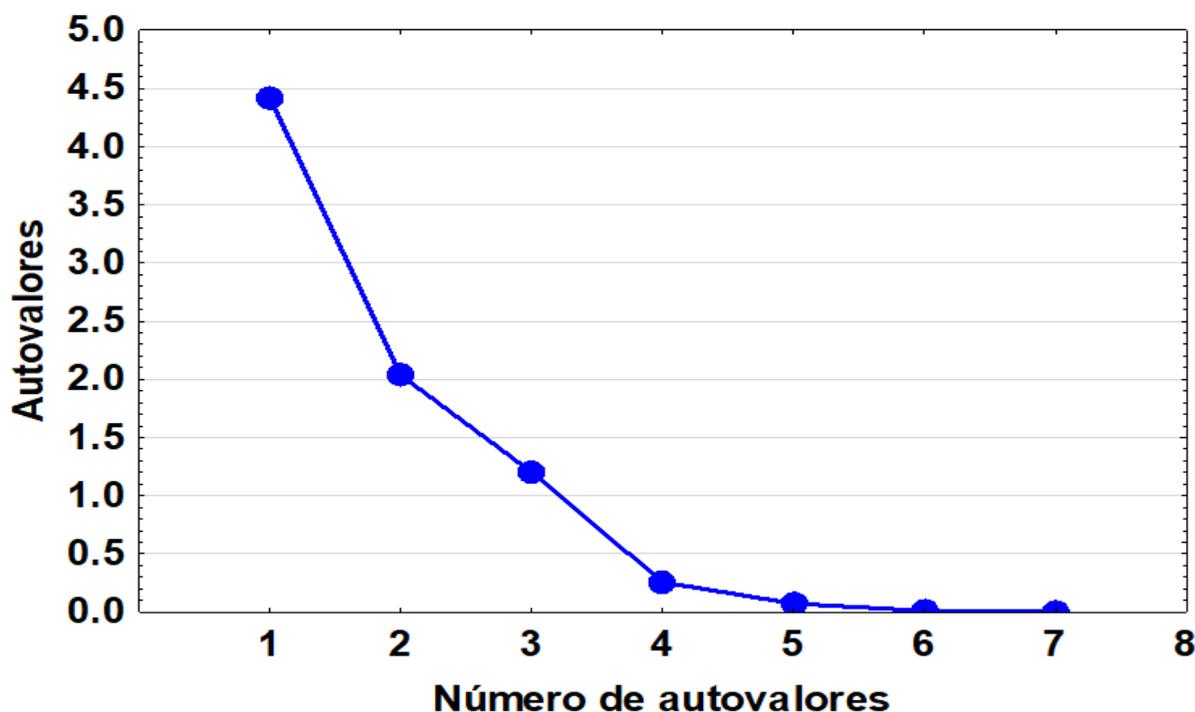
Foi realizado o teste de Teste de Shapiro-Wilk ao nível de 5% de probabilidade para verificação da normalidade dos dados. Em seguida foi realizada uma análise exploratória multivariada dos dados por meio do método estatístico da análise de fatores com rotação varimax que teve como objetivo determinar os processos de emissão de CO₂ e o estoque do carbono do solo, em função dos atributos físico-químicos do solo. Neste trabalho, o critério que determinou a seleção das componentes principais foi aquele que mostrou autovalor igual ou maior que 1, que nada mais é do que a quantidade relevante de informação captada (KAISER, 1958). A análise multivariada foi realizada após a padronização das variáveis em que cada uma ficou com média 0 e variância 1. Para essa análise foram avaliados os seguintes conjuntos dos atributos do solo: umidade do solo (Um), temperatura do solo (Ts), microporosidade do solo (Micro), densidade do solo (Ds), teor de Fósforo disponível no solo (P), capacidade de troca de cátions do solo (CTC). Emissão de CO₂ do solo (FCO₂) e estoque do carbono do solo (EstC).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de Fatores

Para identificar os processos originados das relações de interdependência dos atributos do solo foi realizada a análise de fatores, pois através da mesma é possível observar os processos de estoque do carbono e a emissão de CO₂ do solo, que por sua vez apresentam grande complexidade com relação às condições edafoclimáticas. A análise de fatores foi realizada por meio do método das componentes principais que utiliza a matriz de correlação. No gráfico scree plot (Figura 2) e na Tabela 2, são observados os números de fatores obtidos e suas cargas fatoriais (variância a eles atribuídas), em que foi possível identificar a existência de três processos independentes no solo. Os três fatores somados explicaram aproximadamente 95,77 % da variação total dos dados. O primeiro processo (Fator 1) representou 55,28 %, o segundo processo (Fator 2) 25,46 % e o terceiro processo (Fator 3) 15,03 % da variação total. Para obtermos uma interpretação mais assertiva dos fatores foi aplicado o método de rotação ortogonal varimax, cujos os seus valores podem ser observados na Tabela 3. De maneira geral, ocorreu uma nova distribuição que repercutiu nas contribuições dos fatores, porém a explicação da variação total dos dados, por meio dos autovalores permaneceram constantes, sendo estes os novos percentuais para os fatores: Fator 1 = 39,38 %, Fator 2 = 35,21 % e Fator 3 = 21,18 %.

Figura 01: Scree plot da análise dos componentes principais com relação aos atributos do solo e emissão de CO₂ e estoque de carbono do solo.



Fonte: Própria (2020)

Tabela 02: Autovalores dos 3 componentes principais definidos em função das relações entre os atributos do solo, emissão de CO₂ e estoque de carbono do solo.

Fator	Autovalores	Variância Total (%)	Autovalores acumulados	Variância total acumulada (%)
1	4.42	55.28	4.42	55.28
2	2.04	25.46	6.46	80.74
3	1.20	15.03	7.66	95.77

Fonte: Própria (2020)

Tabela 03: Autovalores dos 3 componentes principais extraídos pelo método de rotação ortogonal varimax com relação aos atributos do solo, emissão de CO₂ e estoque de carbono do solo.

Fator	Autovalores	Variância Total (%)	Autovalores acumulados	Variância total acumulada (%)
1	3.15	39.38	3.15	39.38
2	2.82	35.21	5.97	74.59
3	1.69	21.18	7.66	95.77

Fonte: Própria (2020)

O processo representado pelo Fator 1 foi o que apresentou maior importância para este estudo, pois possui a maior porcentagem de explicação (39,28%), sendo assim o maior autovalor. Analisando as variáveis que mais contribuem com esse Fator 1: EstC (0,91), Micro

INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS-QUÍMICOS DO SOLO NOS PROCESSOS DO FLUXO

(0.89) e Ts (-0,85) (Tabela 4). Conforme os variam sinais das cargas fatoriais, observa-se no Fator 1 uma relação positiva e fortemente correlacionadas entre o EstC e a Micro. No entanto, para a Ts apresentou uma correlação fortemente negativa. Interpretando essas associações podemos dizer que o Fator 1 é o processo que está relacionado com o armazenamento do carbono no solo. A Micro armazena água nos seus poros, que por sua vez podem deixar as temperaturas do solo (Ts) mais amenas, propiciando um ambiente favorável para a microbiota do solo e propiciando a manutenção da matéria orgânica no solo, principalmente aquela oriunda da palhada da cana de açúcar. A temperatura do solo é determinante para os processos microbianos. Atividade microbiana é intensificada quando são observadas elevadas temperaturas, praticamente essa atividade mais do que dobram a cada 10 °C de aumento da temperatura. O teor de água do solo também pode influenciar na decomposição da matéria orgânica, dependendo da quantidade de água presente no solo pode ocorrer uma rápida decomposição, principalmente quando são observados elevadas porcentagens de umidade do solo (em torno de 60% do espaço poroso do solo preenchido com água) (BRADY; WEIL, 2013).

Tabela 04: Resultado da análise de fatores contendo os três primeiros fatores (processos) com suas respectivas cargas fatoriais que representam os coeficientes de correlação entre os atributos do solo e cada Fator.

Atributos	Fator 1	Fator 2	Fator 3
	39.38%*	35.21%*	21.18%*
FCO ₂	0.33	0.93	0.05
Ts	-0.85	0.15	-0.29
Us	0.50	0.81	0.25
Ds	0.32	-0.92	0.05
Micro	0.89	0.37	-0.21
CTC	0.58	0.53	0.62
EstC	0.91	0.10	0.36
P	0.08	0.02	1.00
Interpretação	Armazenamento do carbono no solo	Transporte e emissão do CO ₂ no solo	Atividade da microbiota do solo

*Valor referente à porcentagem da variação do conjunto original dos dados retida pelos respectivos fatores. Valores das cargas em negrito (>0,70 em valor absoluto) foram considerados na interpretação do fator. FCO₂ = Fator de emissão de CO₂ (μmol m⁻²s⁻¹); Ts = temperatura do solo (°C); Us = umidade do solo (%); Ds = densidade do solo (kg dm⁻³); Micro = microporosidade (%); P = fósforo disponível (mg dm⁻³); CTC = capacidade de troca de cátions (mmolc dm⁻³); Estc = estoque de carbono no solo (Mg ha⁻¹).

Fonte: Própria (2020)

O Fator 2 foi a segunda maior importância para este estudo, explicou 35.21 % da variação total dos dados. Também foram analisadas as variáveis que mais contribuíram com o Fator 2: FCO₂ (0,93), Us (0.81) e Ds (-0,92). Os sinais das cargas fatoriais mostraram uma correlação positiva e forte entre a FCO₂ e a Us. Entretanto, para a Ds apresentou uma correlação

fortemente negativa. Analisando essas relações podemos dizer que o Fator 2 é o processo que está relacionado com o transporte e FCO_2 , pois a U_s é uma variável física, que atrelada à D_s estão ligadas diretamente à porosidade do solo. Quando se observa grande quantidade de água no solo, os poros tendem a ficar saturados, provocando o transporte do CO_2 e em casos mais intensos, promovem a saída do solo, resultando no processo a FCO_2 para a atmosfera.

DA Silva et al. (2020) e colaboradores em um estudo semelhante determinaram a estrutura multivariada da variabilidade espacial das perdas de carbono, via emissões de CO_2 , nos solos agrícolas cultivados com cana-de-açúcar, e sua relação com os atributos físicos e químicos do solo, em áreas comerciais localizadas nos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul e concluíram que a estrutura da variabilidade espacial das perdas de carbono do solo, expressa pelo fator k, e sua relação com os atributos do solo, em áreas de cana-de-açúcar, na região Centro-Sul do Brasil e também concluíram que os atributos físicos do solo, foram os principais responsáveis pela emissão de CO_2 , por meio da perda de carbono do solo em áreas de cana-de-açúcar, no sistema de cana crua. Além disso, o transporte do CO_2 no interior do solo até chegar na sua superfície ocorre através do fluxo de massa e da difusão, e esses processos mudam em função de textura, estrutura e teor de umidade do solo (KANG et al., 2000). A junção da maior porosidade do solo (aeração) e menor densidade implica na intensificação das trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, favorecendo a respiração e, aumento nas emissões de CO_2 do solo (BRADY et al., 2012).

Já o Fator 3 foi a terceira maior importância para este estudo, explicou 21.18 % da variação total dos dados. Também foram analisadas as variáveis que mais contribuíram com o Fator 3 que foram o P (1.00) e a CTC (0.62). Analisando essas relações podemos dizer que o Fator 3 é o processo que está relacionado com a atividade da microbiota do solo, pois a fertilidade do solo interfere nas condições químicas do solo, representada pela CTC, que por sua vez, impacta na atividade da microbiota e nos processos químicos que podem acontecer no solo, indicada pelo P que é um dos elementos fundamentais para qualquer processo químico do solo. A produção de CO_2 é oriunda do processo bioquímico, que por sua vez, é influenciado pela dinâmica da microbiota e respiração de raízes, que são dependentes das condições de temperatura, umidade e estado nutricional do solo (LAL, 2009). DA Silva et al. (2020) e colaboradores também obtiveram resultados semelhantes, mostrando que a fertilidade do solo poder colaborar com a atividade microbiana, principalmente nos solos latossolos eutróféricos,

CONCLUSÕES

A estatística descritiva mostrou que a localidade de Motuca - SP apresenta maior

INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS-QUÍMICOS DO SOLO NOS PROCESSOS DO FLUXO

potencial de emissão (FCO₂) e maior estoque (EstC) de carbono no solo, quando comparado com o município de Aparecida do Taboado -MS. Também foi observado que a localidade de Motuca – SP apresentou maiores valores de CTC e de P, quando comparado com Aparecida do Taboado - MS, essas características são indicativos da fertilidade do solo, que por sua vez mostraram que solos mais férteis, apresentam maiores taxas de decomposição da matéria orgânica, resultando na maior geração de CO₂ no solo.

Já com relação a análise de fatores, todos os atributos do solo interferiram significativamente nos processos de formação dos fatores. Foram formados 3 fatores. De maneira geral, a explicação da variação total dos dados por meio dos autovalores foram:

- Fator 1 (39,38 % da variação total dos dados): armazenamento do carbono no solo, sendo fortemente influenciados pelo EstC (0,91), Micro (0,89) e Ts (-0,85);
- Fator 2 (35,21 % da variação total dos dados): transporte e emissão do CO₂ no solo, influenciados fortemente pela FCO₂ (0,93), Us (0,81) e Ds (-0,92);
- Fator 3 (21,18 % da variação total dos dados): atividade da microbiota do solo, influenciada pelo P (1,00) e a CTC (0,62).

Dessa forma, observa-se que o estudo da estabilidade de carbono é muito complexo, mostrando que seria possível determinar zonas de manejo específico dentro da área, pois dependendo dos processos que estão ocorrendo no solo, pode-se escolher as práticas agrícolas, principalmente aquelas ligadas ao preparo do solo, ao uso de insumos agrícolas, ao acúmulo de matéria orgânica na forma de palhada, ao manejo hídrico e à umidade do solo, podendo trazer a maior conservação e sequestro de carbono no solo.

REFERÊNCIAS

AWE, G.O.; REICHERT, J.M.; WENDROTH, O.O. Temporal variability and covariance structures of soil temperature in a sugarcane field under different management practices in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v.150, p.93-106, 2015.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN NETO, L.; FERNANDES, S. A. Organic matter storage in a sandy loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. *Amsterdam, Soil and Tillage Research* 54, 101-109, 2000.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. 3. ed. São Paulo: Bookman, 2012. 720 p.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. 3.ed. Porto Alegre-RS: Bookman, 2013. 704p.

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: 10 julho, 2019.

DA SILVA, P. A.; DE LIMA, B. H.; LA SCALA JR, N.; PERUZZI, N. J.; CHAVARETTE, F. R.; PANOSSO, A. R. Spatial variation of soil carbon stability in sugarcane crops, central-south of Brazil. *Soil and Tillage Research*, 202, 104667, 2020.

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).

FAO, 2017. *The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges*.

HAIR JR.; ANDERSON, R.; TATHAM, R.; BLACK, W. *Análise multivariada de dados*. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 593 p.

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]*. IPCC, Geneva, Switzerland, p. 151, 2014.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. *Applied multivariate statistical analysis*. 4 ed. New Jersey: Prattice Hall, 1998. 816 p.

Kaiser, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *New York, Psychometrika*, 23:187-200, 1958.

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*, Amsterdam, v. 136, n. 1–3, p. 173–184, 2000.

LAL, R. Challenges and opportunities in soil organic matter research. *European Journal of Soil Science*, Oxford, v. 60, n. 2, p. 158–169, 2009.

LA SCALA, N.; BOLONHEZI, D; PEREIRA, G,T. 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, M.R.; PADOVAN, M.P.; PANOSSO, A.R.; TEIXEIRA, D.B.; FERRAUDO, A.S.; 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>. 2020. Acesso em: 11 outubro, 2020.

PANOSSO, A.R.; MARQUES, J.; MILORI, D.M.B.P.; FERRAUDO, A.S.; BARBIERI, D.M.; PEREIRA, G.T.; 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).

INFLUÊNCIA DOS ATRIBUTOS FÍSICOS-QUÍMICOS DO SOLO NOS PROCESSOS DO FLUXO

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

REIS, E. Estatística multivariada aplicada. 2 ed. Lisboa: Sílabo, 2001. 253 p.

SMART, D.R.; 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.

TEIXEIRA, D.B.; BICALHO, E.S.; PANOSSO, A.R.; PERILLO, L.I.; IAMAGUTI, J.L.; PEREIRA, G.T., 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, A.N.; 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.

XIE, S.P.; DESER, C.; VECCHI, G.A.; COLLINS, M.; DELWORTH, T.L.; HALL, A.; WATANABE, M. Towards predictive understanding of regional climate change. *London, Nature Climate Change*, 5:921–930. (2015).