

**RELAÇÕES ENTRE A X<sub>CO2</sub> COM ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E VARIÁVEIS CLIMÁTICAS PARA A REGIÃO METROPOLITANA DE RIBEIRÃO PRETO, SÃO PAULO: UMA ABORDAGEM MULTIVARIADA****LUIS MIGUEL DA COSTA<sup>1</sup>, GUSTAVO ANDRÉ DE ARAÚJO SANTOS<sup>1</sup>, GABRIEL BONETTI SCARABEL<sup>1</sup>, WANDERSON BENERVAL DE LUCENA<sup>1</sup>, GLAUCO DE SOUZA ROLIM<sup>1</sup>, NEWTON LA SCALA<sup>1</sup>**<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias

Apresentado no  
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020  
23 a 25 de novembro de 2020 – Congresso on-line

**RESUMO:** A Ribeirão Preto é responsável por cerca de 60% da produção de cana-de-açúcar no estado de São Paulo, o que apresenta grande impacto na dinâmica do carbono dentro do setor sucroenergético. Dito isso, objetivamos com esse estudo, caracterizar as relações da X<sub>CO2</sub> com índices de vegetação e variáveis climáticas para a região metropolitana de ribeirão preto, são paulo por meio de análise multivariada. A área em estudo situasse no estado de São Paulo e abrange 34 municípios. A série temporal consiste em janeiro de 2015 a dezembro de 2018. Os dados foram obtidos a partir das plataformas OCO-2, NasaPower e AppEEARS. Os dois primeiros componentes principais, Dim1 e Dim2, conseguiram reter, em conjunto, 70,6% da variabilidade total dos dados. A primeira componente principal, CP1, representou 43,5% variância total dos dados originais, enquanto 26,7% foram explicados pela componente principal 2 (Dim2). Para a região metropolitana de Ribeirão Preto, São Paulo a X<sub>CO2</sub> apresenta relação direta com a umidade relativa do ar, índice de área foliar e evapotranspiração e de forma análoga, têm-se a temperatura média do ar a 2 m, índice de realce da vegetação, índice de vegetação da diferença normalizada e a fluorescência da clorofila induzida pelo Sol.

**PALAVRAS-CHAVE:** OCO-2, Índice de vegetação, Sensoriamento remoto.

**RELATIONSHIP BETWEEN X<sub>CO2</sub> WITH VEGETATION INDICES AND CLIMATE VARIABLES FOR THE METROPOLITAN REGION OF RIBEIRÃO PRETO, SÃO PAULO: A MULTIVARIATE APPROACH**

**ABSTRACT:** Ribeirão Preto is responsible for about 60% of sugar cane production in the state of São Paulo, which has a major impact on carbon dynamics within the sugar-energy sector. That said, with this study, we aim to characterize the relationship of X<sub>CO2</sub> with vegetation indices and climatic variables for the metropolitan region of Ribeirão Preto, São Paulo through multivariate analysis. The study area was in the state of São Paulo and covers 34 municipalities. The time series consists of January 2015 to December 2018. The data were obtained from the OCO-2, NasaPower and AppEEARS platforms. The first two main components, Dim1 and Dim2, managed to retain, together, 70.6% of the total data variability. The first main component, Dim1, represented 43.5% total variance of the original data, while 26.7% was explained by main component 2 (Dim2). For the metropolitan region of Ribeirão Preto, São Paulo, X<sub>CO2</sub> has a direct relationship with the relative humidity of the air, leaf area index and evapotranspiration and in a similar way, the average air temperature is 2 m, vegetation enhancement index, vegetation index of the normalized difference and the solar induced fluorescence of chlorophyll.

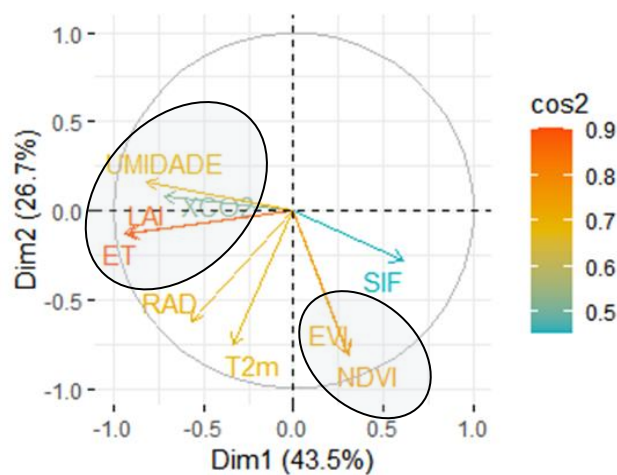
**KEYWORDS:** OCO-2, Vegetation Index, REMOTE SENSING.

**INTRODUÇÃO:** O agronegócio em São Paulo é responsável por aproximadamente 10% de toda renda gerada pelo setor no Brasil (IBGE, 2017; SEADE, 2017). A contribuição da cultura de cana-de-açúcar no estado é de 41%, destes, sendo a região sucroalcooleira de Ribeirão Preto é responsável por cerca de 60% (CEPEA/USP, 2014; MAPA, 2017). Esta cultura apresenta um alto nível de sequestro de carbono, de modo que o estado de São Paulo contribui com aproximadamente  $107 \text{ Mg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (LA SCALA JUNIOR, 2012). Apesar do potencial de sequestro da cana-de-açúcar, os manejos envolvendo o revolvimento do solo para sua produção (SOUZA et al., 2019) juntamente com a expansão das áreas de produção, causando a mudança do uso da terra (BORDONAL et al., 2015) contribuem na perda de carbono para a atmosfera. Recentemente, com o surgimento de novos instrumentos de sensoriamento remoto, tem sido possível observar a variabilidade temporal e espacial do  $\text{CO}_2$  atmosférico (LI et al., 2018). Em Júlio de 2014, a Agência Espacial Americana – NASA, deu início a missão “Orbiting Carbon Observatory” com o lançamento do satélite OCO-2 (O’DELL et al., 2012). O OCO-2 surgiu com o objetivo de coletar as medidas espaciais necessárias para quantificar as variações na concentração atmosférica de  $\text{CO}_2$  ( $X_{\text{CO}_2}$ ), com precisão, resolução e cobertura necessárias para melhorar nosso entendimento sobre fontes e sumidouros de  $\text{CO}_2$  (ELDERING et al., 2017). No que diz respeito a dados climáticos e de sensoriamento remoto, em 2010 os dados gerados em bases diversas foram próximos a 10 Peta bytes (= 1015 bytes) (FAGHMOUS & KUMAR, 2014). Este número tende a aumentar de forma exponencial para cerca de 350 Peta bytes em 2030 (OVERPACK et al., 2011). Devido ao grande volume de dados gerados, órgãos importantes como o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC vem fazendo uso de técnicas de aprendizado de máquina em seus modelos climáticos (JONES, 2017). Neste contexto, o uso de técnicas multivariadas surge como uma alternativa de método para se explorar relações entre variáveis em grandes conjuntos de dados (FAN et al., 2014). Dito isso, objetivamos com esse estudo, caracterizar as relações da  $X_{\text{CO}_2}$  com índices de vegetação e variáveis climáticas para a região metropolitana de Ribeirão Preto, São Paulo por meio de análise multivariada.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A área em estudo situasse no estado de São Paulo e abrange 34 municípios com área aproximada de  $14.790 \text{ km}^2$ . A série temporal foi de janeiro de 2015 a dezembro de 2018. Os dados foram obtidos a partir das plataformas OCO-2, NasaPower e AppEEARS. Do OCO-2 foram utilizadas as variáveis  $X_{\text{CO}_2}$  e SIF, do NasaPower Temperatura, umidade e radiação e por fim da plataforma AppEEARS as variáveis evapotranspiração (MOD16A2.006), índice de área foliar (MCD15A2H.006), EVI (MOD13A1.006) e NDVI (MOD13A1.006). Para atenuar a diferença entre as observações dos diferentes satélites utilizados, utilizamos as coordenadas obtidas (30 pontos) pelo OCO-2 para as demais plataformas (SIABI et al., 2019; GOLKAR et al., 2020). Para o tratamento dos dados, foi utilizada ferramentas de estatística descritiva, como, média, desvio padrão, erro padrão. A análise multivariada foi realizada através do software R Studio (R Development Core Team, 2017).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** As duas primeiras dimensões, Dim1 e Dim2, conseguiram reter, em conjunto, 70,6% da variabilidade total dos dados (Figura 1). A primeira dimensão (Dim1), representou 43,5% variância total dos dados originais, enquanto 26,7% foram explicados pela segunda (Dim2). Conforme critério de corte adotado ( $< |0.6|$ ), a maior parte das variáveis, incluindo a  $X_{\text{CO}_2}$ , ficaram retidas em Dim1, exceto EVI, NDVI, T2m e RAD que foram retidas na Dim2 (tabela 1). Na dimensão 1, existe uma relação de dependência direta entre UMIDADE (-0,82), ET (-0,94), LAI (-0,92), a  $X_{\text{CO}_2}$  (-0,71), enquanto a SIF (0,60) apresentou uma relação de dependência indireta (Tabela 1). Para dimensão 2, todas as variáveis retidas (T2m (-0,75), EVI (-0,80), NDVI (-0,81) e RAD (-0,61)) apresentaram relação de dependência direta entre si (Tabela 1) e localizadas no sentido inverso ao  $X_{\text{CO}_2}$

nesta dimensão. A concentração de CO<sub>2</sub> é afetada diretamente pela dinâmica da cobertura vegetal, uma vez que, a fotossíntese é uma das principais responsáveis pela dinâmica do carbono na biosfera (Exbrayat et al., 2019). Dessa forma, todos os fatores climáticos que interferem na fotossíntese, tem potencial para afetar de forma direta ou indireta na concentração atmosférica de CO<sub>2</sub>. Tal influência, é facilmente observada em estudos que relacionam fatores climáticos com índices de vegetação, como o NDVI (SCHULTZ et al., 1993; MURADYAN et al., 2019). SIABI et al., (2019) também encontrou relações entre X<sub>CO2</sub> usando dados do OCO-2 com NDVI, LAI e temperatura da superfície da terra. Outros autores também observaram relações entre o X<sub>CO2</sub> com índices de vegetação e variáveis climáticas como umidade relativa do ar e precipitação, mas utilizando dados do satélite GOSAT (MOUSAVI et al., 2017; FALAHATKAR et al., 2017). No Brasil, MENEZES (2018) e MORAIS FILHO (2018) encontraram relação inversa entre o X<sub>CO2</sub> e a SIF sob regiões de cultivo de cana-de-açúcar. Além da SIF e do NDVI, o índice de área foliar (LAI) é uma variável bastante eficaz na estimativa de fluxo de CO<sub>2</sub> devido à sua relação direta com o balanço energético do dossel e a taxa de troca de gases feita pelas plantas (GUO et al., 2012).



**Figura 1.** Gráfico Biplot dos componentes principais CP1 e CP2 da análise de componentes principais com todas as variáveis estudadas para a região metropolitana de Ribeirão Preto. Umidade relativa do ar = UMIDADE; Coluna média de CO<sub>2</sub> = X<sub>CO2</sub>; Evapotranspiração= ET; Índice de área foliar =LAI; Radiação incidente= RAD; Temperatura média do ar a 2 m = T2m; Índice de Realce da Vegetação = EVI; Índice de Vegetação da Diferença Normalizada = NDVI e Fluorescência da clorofila induzida pelo sol = SIF.

**Tabela 1.** Coeficientes de correlação linear entre a X<sub>CO2</sub> com índices de vegetação e variáveis climáticas para a região metropolitana de Ribeirão Preto.

Variável	Dim.1	Dim.2
	43.5	26.7
X <sub>CO2</sub>	<b>-0.71692</b>	0.07846
SIF	<b>0.609216</b>	-0.28429
T2m	-0.3386	<b>-0.75833</b>
UMIDADE	<b>-0.82041</b>	0.161322
RAD	-0.569	<b>-0.61811</b>
ET	<b>-0.94038</b>	-0.13081
LAI	<b>-0.92384</b>	-0.12915
EVI	0.300581	<b>-0.80099</b>
NDVI	0.305648	<b>-0.81223</b>

**CONCLUSÕES:** Para a região metropolitana de Ribeirão Preto, São Paulo a  $X_{CO_2}$  apresenta relação direta com a umidade relativa do ar, índice de área foliar e evapotranspiração e de relação inversa com a fluorescência induzida pelo Sol. As demais variáveis climáticas e vegetativas apresentaram relação inversa de dependência com a  $X_{CO_2}$  na segunda dimensão. Por fim, com base nos nossos achados, concluímos que o uso de dados de sensoriamento remoto e de bases de climáticas são de extrema importância para melhor compreensão da dinâmica do carbono na atmosfera considerando todos os fatores que podem interferir positivamente ou negativamente em sua concentração sob áreas metropolitanas com grandes centros de produção agrícola.

**AGRADECIMENTOS:** Este estudo foi concedido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processo nº 2019/25812-4, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) sob o código de financiamento 001 e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

## REFERÊNCIAS:

- Bordonal, R., Lal, R., Aguiar, D. A., de Figueiredo, E. B., Perillo, L. I., Adami, M., ... & La Scala, N. **Greenhouse gas balance from cultivation and direct land use change of recently established sugarcane (*Saccharum officinarum*) plantation in south-central Brazil.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 52, p. 547-556, 2015.
- dióxido de carbono concentration using MODIS and GOSAT data.** *Sensors* 12 (12), 16368–16389.
- Exbrayat, J.F., Bloom, A.A., Carvalhais, N., Fischer, R., Huth, A., MacBean, N. and Williams, M., 2019. **Understanding the land carbon cycle with space data: current status and prospects.** *Surveys in Geophysics*, 40(4), pp.735-755.
- Falahatkar, S., Mousavi, S.M. and Farajzadeh, M., 2017. **Spatial and temporal distribution of carbon dioxide gas using GOSAT data over IRAN.** *Environmental monitoring and assessment*, 189(12), p.627.
- Fan, J., Sun, Q., Zhou, W.X. and Zhu, Z., 2014. **Principal component analysis for big data.** *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, pp.1-13.
- Guo, M., Wang, X., Li, J., Yi, K., Zhong, G., Tani, H., 2012. **Assessment of global carbon** <https://doi.org/10.3390/s121216368>.
- Jones, N. **Machine learning tapped to improve climate forecasts.** *Nature*, 548(7668), 379-380, 2017 doi:10.1038/548379a
- La Scala Júnior, N.; De Figueiredo, E. B.; Panosso, A. R. A review on soil carbon accumulation due to the management change of major Brazilian agricultural activities. v. 72, n. 3, p. 775–785, 2012.
- Meneses, K.C.D., 2018. **Fluorescência induzida pelo sol, xco2 e ndvi em cana-de-açúcar do Centro-Sul do Brasil.** Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.
- Morais Filho, L.F.F., 2018. **Variabilidade temporal da concentração atmosférica de CO2, fluorescência da clorofila induzida pelo sol e NDVI em áreas com diferentes usos agrícolas no centro-sul do brasil.** Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.
- Mousavi, S.M., Falahatkar, S. and Farajzadeh, M., 2017, May. **Assessment of seasonal variations of carbon dioxide concentration in Iran using GOSAT data.** In *Natural Resources Forum* (Vol. 41, No. 2, pp. 83-91). Oxford, UK.
- Muradyan, V., Tepanosyan, G., Asmaryan, S., Saghatelyan, A. and Dell'Acqua, F., 2019. **Relationships between NDVI and climatic factors in mountain ecosystems: A case study of Armenia.** *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14, pp.158-169.
- Overpeck, J. T., Meehl, G. A., Bony, S., & Easterling, D. R. **Climate data challenges in the 21st century.** *science*, v. 331, n. 6018, p. 700-702, 2011.,
- R. Core. "R Development Core Team. RA Lang." (2017).
- Schultz, P.A. and Halpert, M.S., 1993. **Global correlation of temperature, NDVI and precipitation.** *Advances in Space Research*, 13(5), pp.277-280.
- Siabi, Z., Falahatkar, S. and Alavi, S.J., 2019. **Spatial distribution of XCO2 using OCO-2 data in growing seasons.** *Journal of environmental management*, 244, pp.110-118.