

## VARIABILIDADE SAZONAL DO CO<sub>2</sub> ATMOSFÉRICO NO ESTADO DE SÃO PAULO-BRASIL

Luis Miguel da Costa, Gustavo André de Araújo Santos, Alan Rodrigo Panosso, Newton La Scala Jr.

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias  
(UNESP)(luism.costa00@gmail.com)

### RESUMO

Atualmente a média da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> ultrapassou os 400 ppm, gás este o principal responsável pelo efeito estufa, causando um aumento na temperatura média da Terra. O Painel Intergovernamental de Sobre Mudança Climática (IPCC) aponta que as mudanças no clima da terra serão irreversíveis quando a temperatura aumentar em média cerca de 1.5 °C. Diante disso o monitoramento de gases de efeito estufa é indispensável, e para isso, o sensoriamento tem se mostrado uma ótima ferramenta para auxiliar na obtenção de informações acerca de processos terrestres. Portanto, utilizando dados do satélite OCO-2 e do sensor MODIS, buscamos entender a dinâmica da coluna média de CO<sub>2</sub> atmosférico (Xco<sub>2</sub>) no estado de São Paulo, em diferentes regimes hídricos, seco e úmido, utilizando como variáveis auxiliares a Fluorescência da clorofila Induzida pelo Sol (SIF) e a Evapotranspiração (ET). Para isso submetemos os dados a estatística descritiva e regressão linear simples. A média máxima de Xco<sub>2</sub> (392,24 ± 0,06 ppm) foi registrada no período seco e a média mínima (391,14 ± 0,08 ppm) foi registrada no período chuvoso de, já para SIF a média máxima (0,65 ± 0,02 W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> μm<sup>-1</sup>) foi registrada no período úmido e a mínima (0,45 ± 0,01 W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> μm<sup>-1</sup>) foi observada no período seco. Esses resultados sugerem que nos períodos chuvosos a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico é menor devido a maior atividade fotossintética das plantas, e captura do CO<sub>2</sub> atmosférico através de produtividade primária líquida.

**Palavras-chave:** OCO-2; Ciclo do Carbono; SIF; MODIS

### ABSTRACT

Currently the average concentration of CO<sub>2</sub> has exceeded 400ppm, this gas in is the main reason to the greenhouse effect, leading to an increase of the average temperature of the Earth. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indicates that changes in the earth's climate will be irreversible when the average temperature increases by about 1.5°C. In view of this, the monitoring of greenhouse gases is indispensable, and for this, remote sensing has proven to be a great tool to help obtain information about terrestrial processes. Therefore, using data from the OCO-2 satellite and the MODIS sensor, we aimed to understand the dynamics of the average column of atmospheric CO<sub>2</sub> (Xco<sub>2</sub>) in the state of São Paulo, in different hydric systems, dry and wet, using as auxiliary variables the Sun

Induced chlorophyll Fluorescence (SIF) and Evapotranspiration (ET). For this we submitted the data to descriptive statistics and simple linear regression. The maximum mean  $X_{CO_2}$  ( $392.24 \pm 0.06$  ppm) was recorded in the dry period from and the minimum mean ( $391.14 \pm 0.08$  ppm) was recorded in the rainy period from, for SIF the maximum mean ( $0.65 \pm 0.02$  W  $m^{-2}$   $sr^{-1}$   $\mu m^{-1}$ ) was recorded in the wet period and the minimum ( $0.45 \pm 0.01$  W  $m^{-2}$   $sr^{-1}$   $\mu m^{-1}$ ) was observed in the dry period. These results suggest that in the rainy periods the concentration of atmospheric  $CO_2$  is lower due to the higher photosynthetic activity of the plants, and capture of atmospheric  $CO_2$  through net primary productivity.

**Keywords:** OCO-2; Carbon Cycle; SIF; MODIS.

## Introdução

A concentração de  $CO_2$  na atmosfera vem aumentando a cada ano, de acordo com DUNN et al. (2020) a média global de  $CO_2$  na superfície da Terra atingiu  $409,8 \pm 0,1$  ppm em 2019, um aumento de  $2,5 \pm 0,1$  ppm a partir de 2018. Observações globais de satélites sensíveis às variações de  $CO_2$  atmosférico vêm contribuindo significativamente para a melhor compreensão das fontes de emissão de dióxido de carbono e sua concentração na atmosfera (FISCHER et al., 2017; MORAIS FILHO et al., 2021).

O OCO-2 surgiu com o objetivo de coletar as medidas espaciais necessárias para quantificar as variações na concentração atmosférica de  $CO_2$  ( $X_{CO_2}$ ), com precisão, resolução e cobertura necessárias para melhorar nosso entendimento sobre fontes e sumidouros de  $CO_2$  (ELDERING et al., 2017). Além do objetivo de medir a  $X_{CO_2}$ , esse satélite também mede a Fluorescência da clorofila Induzida pelo Sol (SIF), variável intimamente interligada a fotossíntese e que vem auxiliando no entendimento do ciclo natural do  $CO_2$  (MOHAMMED et al., 2019).

Diante disso o objetivo do trabalho foi estudar a variabilidade temporal da  $X_{CO_2}$  no estado de São Paulo utilizando como variável auxiliar a SIF e evapotranspiração (ET), durante os anos de 2015 a 2019 considerando a sazonalidade, seco e chuvoso, característica em boa parte do Estado.

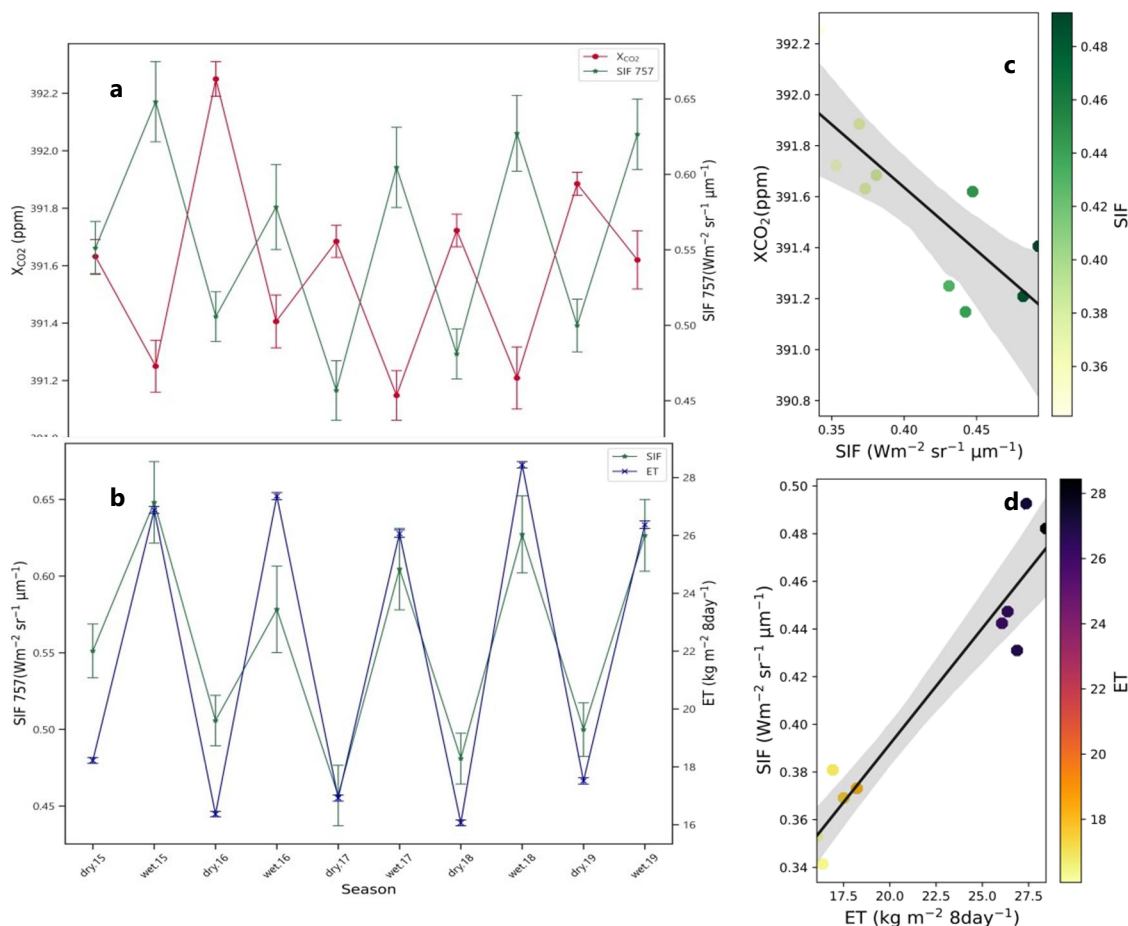
## Metodologia

O estudo foi conduzido para o estado de São Paulo (~240000 km<sup>2</sup>). A série temporal foi de janeiro de 2015 a dezembro de 2019. Os dados foram obtidos a partir das plataformas OCO-2 e AppEEARS. Do OCO-2 foram utilizadas as variáveis Xco<sub>2</sub> e SIF, da plataforma AppEEARS as variáveis evapotranspiração (ET) (MOD16A2.006). Afim de diminuir a diferença entre as observações dos diferentes satélites utilizados, foi utilizada as coordenadas obtidas pelo OCO-2 para as demais plataformas, além disso foi retirada a tendência mundial dos dados de Xco<sub>2</sub> por meio de uma regressão (DA COSTA et al., 2021; MORAIS FILHO et al., 2021). O banco de dados foi agrupado e apresentado em estação chuvosa (*wet*) e seca (*dry*), sendo submetido a análises de estatística descritiva e de regressão linear simples.

## Resultados e discussão

As médias mínima e máxima para o estado de São Paulo da coluna média de CO<sub>2</sub> (Xco<sub>2</sub>) para o período estudado foram de 391,14 ± 0,08 ppm e 392,24 ± 0,06 ppm para o período chuvoso de 2017 (Wet.17) e para o período seco de abril a setembro de 2016 (Dry.16), respectivamente. As médias da SIF variaram de 0,45 ± 0,01 a 0,65 ± 0,02 (W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> μm<sup>-1</sup>) entre 2015 e 2019, respectivamente. O valor médio máximo (0,65 ± 0,02 W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> μm<sup>-1</sup>) foi observado no período úmido de 2015 (Wet.15), já o mínimo (0,45 ± 0,01 W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> μm<sup>-1</sup>) foi observado entre abril a setembro de 2017 (Dry.17). A ET variou entre 16 ± 0,1 a 28,4 ± 0,11 (kg m<sup>-2</sup> 8day<sup>-1</sup>), nos períodos de abril a setembro de 2018 (Dry.18) e estação chuvosa de 2018 (Wet.18), respectivamente. A análise de regressão linear foi realizada para compreender a dependência do Xco<sub>2</sub> com a SIF e, da SIF com a evapotranspiração. Neste sentido, os respectivos coeficientes de determinação ajustados (R<sup>2</sup>adj) foram de 0,58 e 0,89, com coeficientes angulares de -4,94 e 0,01 sendo a relação entre SIF e Xco<sub>2</sub> negativa (p < 0,01), e a relação entre da SIF com ET positiva.

Figure 01 – Variação temporal da  $X_{CO_2}$  com SIF (a); SIF com ET (b) e regressão linear entre  $X_{CO_2}$  com SIF (c) e SIF com ET (d).



Fonte: OCO-2 e MODIS/Autores.

As maiores concentrações de CO<sub>2</sub> ocorrem no período seco e as médias mais baixas no período chuvoso. Isso devido ao processo fotossintético que aumenta consideravelmente na estação chuvosa no hemisfério sul (TAIZ; ZEIGER, 2006). Portanto, a partir da variabilidade da SIF podemos identificar a variabilidade da fotossíntese para o período de estudo, já que essa variável é relacionada diretamente com a atividade fotossintética (SUN et al., 2018; MOHAMMED et al., 2019). Da COSTA et al. (2021) ao estudar a variabilidade temporal do CO<sub>2</sub> atmosférico na região de Ribeirão Preto – São Paulo, também observou essa relação inversa, tendo registrado um  $R^2_{adj}$  de 0.68 entre 2015 a 2018. Outros estudos também relatam essa relação inversa entre essas variáveis (PARAZOO et al., 2013; SIABI et al., 2019; MORAIS FILHO et al., 2021).

Com relação a ET, sua variabilidade também se deve a alterações na fotossíntese e no regime de chuva. A maior disponibilidade hídrica para planta leva ela a realizar mais fotossíntese, portanto, o aumento da SIF ocorre ao mesmo tempo que a ET, desta forma a evapotranspiração também se relaciona com o CO<sub>2</sub> atmosférico, dado que a abertura dos estômatos que ocorre durante a evapotranspiração, permite maior assimilação de CO<sub>2</sub> pelas plantas, levando a maiores taxas de fotossíntese (WU et al., 2021; SNYDER; SPANO, 2013).

### **Considerações finais**

O Xco<sub>2</sub> apresentou médias mais elevadas durante a seca, que corresponde ao inverno no Brasil, com médias menores na estação chuvosa que corresponde ao verão brasileiro. Em decorrência da estação do ano e da disponibilidade hídrica, a fotossíntese é maior nesses períodos, o que é evidenciado pela variabilidade da SIF, dessa forma há a captura de CO<sub>2</sub> da atmosfera, processo que ocorre nos estômatos das plantas que estão abertos de forma mais expressiva para realizar evapotranspiração, o que corresponde ao observado pelos dados de ET do MODIS.

### **Referências**

DA COSTA, L. M. et al. Spatiotemporal variability of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration and controlling factors over sugarcane cultivation areas in southern Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-24, 2021.

DUNN, R. J. H et al. Global climate. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 101, n. 101 (8), p. S9-S127, 2020.

ELDERING, A. et al. The Orbiting Carbon Observatory-2: First 18 months of science data products. **Atmospheric Measurement Techniques**, v. 10, n. 2, p. 549-563, 2017.

FISCHER, M. L. et al. Simulating estimation of California fossil fuel and biosphere carbon dioxide exchanges combining in situ tower and satellite column observations. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 122, n. 6, p. 3653-3671, 2017.

MOHAMMED, G. H. et al. Remote sensing of solar-induced chlorophyll fluorescence (SIF) in vegetation: 50 years of progress. **Remote sensing of environment**, v. 231, p. 111177, 2019.7

MORAIS FILHO, L. F. F. et al. xCO<sub>2</sub> temporal variability above Brazilian agroecosystems: A remote sensing approach. **Journal of Environmental Management**, v. 288, p. 112433, 2021.

PARAZOO, N. C. et al. Interpreting seasonal changes in the carbon balance of southern Amazonia using measurements of XCO<sub>2</sub> and chlorophyll fluorescence from GOSAT. **Geophysical Research Letters**, v. 40, n. 11, p. 2829-2833, 2013.

SIABI, Z.; FALAHATKAR, S.; ALAVI, S. J. Spatial distribution of XCO<sub>2</sub> using OCO-2 data in growing seasons. **Journal of environmental management**, v. 244, p. 110-118, 2019.

SNYDER, R. L.; SPANO, D. Phenology and evapotranspiration. In: **Phenology: An integrative environmental science**. Springer, Dordrecht, 2013. p. 521-538.

SUN, Y. et al. Overview of Solar-Induced chlorophyll Fluorescence (SIF) from the Orbiting Carbon Observatory-2: Retrieval, cross-mission comparison, and global monitoring for GPP. **Remote Sensing of Environment**, v. 209, p. 808-823, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Universitat Jaume I, 2006.

WU, X. et al. Estimating stomatal conductance and evapotranspiration of winter wheat using a soil-plant water relations-based stress index. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 303, p. 108393, 2021.

---

[1] Graduando, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), luism.costa00@gmail.com

[2] Dr., Instituto Chico Mendes de conservação da Biodiversidade (ICMBio), gustavo\_anndre@hotmail.com

[3] Prof. Dr., Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), alan.panosso@unesp.br

[4] Prof. Dr., Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (UNESP/FCAV), la.scalea@unesp.br