

# Fluxos de CO<sub>2</sub> do solo num espaço verde urbano: um estudo de caso durante a estação de primavera no norte de Portugal

## Soil CO<sub>2</sub> Fluxes in an Urban Green Space: A Case Study during the Northern Portuguese Spring Season

Alan Victor da Silva<sup>1,\*</sup>, Manuel Feliciano<sup>2,3</sup> & Maria Sameiro Patricio<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

<sup>2</sup> Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

<sup>3</sup> Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

(\*E-mail: alanvisi@gmail.com)

<https://doi.org/10.19084/rca.33467>

Recebido/received: 2023.07.31

Aceite/accepted: 2023.10.16

### R E S U M O

Globalmente as cidades representam mais de 70% das emissões de CO<sub>2</sub>. O potencial dos espaços verdes urbanos (EVU) como uma biotecnologia para reduzir as emissões líquidas é influenciado pelo tipo de vegetação e gestão do solo. Assim, a gestão adequada dos solos urbanos desempenha um papel importante na mitigação das alterações climáticas, uma vez que afeta os processos biológicos responsáveis pela perda ou ganho de carbono no solo. O conhecimento sobre a capacidade de sequestro de carbono (C) dos solos relvados em espaços verdes urbanos ainda é incipiente. O estudo dos fluxos de CO<sub>2</sub> do solo é fundamental para implementar formas mais adequadas de mitigação na gestão dos espaços com este tipo de cobertura. Este estudo teve por objetivo estudar os fluxos de CO<sub>2</sub> de um relvado de um espaço verde urbano localizado na cidade de Bragança. Os fluxos de CO<sub>2</sub> foram medidos em contínuo com um intervalo amostral de 30 minutos (número total de amostras: 5523) com recurso ao sistema LI-8100A da LI-COR Biosciences®, juntamente com a monitorização de parâmetros edafoclimáticos e vegetativos, durante o último mês de inverno e os três meses da primavera. Os resultados mostraram a importância da vegetação herbácea na redução das emissões de CO<sub>2</sub> em comparação com as que resultariam em solo nu. Ainda assim, ao longo do período de observação, a superfície relvada atuou como fonte emissora com uma magnitude média de  $1,25 \pm 5,31 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . O estudo permitiu identificar o fitovolume e a disponibilidade de água no solo como os fatores mais determinantes deste processo complexo que está subjacente aos fluxos verticais que ocorrem através da interface superfície/atmosfera. Neste sentido, as práticas de gestão relacionadas com a frequência e quantidade de água usada na rega, bem como a frequência e a altura de corte da vegetação exerceram uma influência considerável na transferência líquida de CO<sub>2</sub> nestas superfícies relvadas.

**Palavras-chave:** Dinâmica de CO<sub>2</sub>, Variação temporal, Carbono, Gestão do solo, Relvado urbano.

### A B S T R A C T

Globally cities account for more than 70% of CO<sub>2</sub> emissions. The potential of urban green spaces as a biotechnology to reduce the net emissions is influenced by the type of vegetation and soil management. Thus, appropriate management of urban soils plays an important role in mitigating climate change, as it affects the biological processes responsible for carbon loss or gain in the soil. The knowledge about the carbon (C) sequestration capacity of grass soils in urban green spaces is still incipient. The study of soil CO<sub>2</sub> fluxes is essential to implement more appropriate forms of mitigation in the management of areas with this type of ground vegetation cover. Therefore, this study aimed at investigating CO<sub>2</sub> fluxes in a lawn area located in the city of Bragança. CO<sub>2</sub> fluxes were measured continuously at a sampling interval of 30 minutes (total number of samples 5523) using the LI-8100A system from LI-COR Biosciences®, together with monitoring of edaphoclimatic and vegetative parameters, during the last month of winter and the tree months of spring. The results showed the importance of herbaceous vegetation in reducing CO<sub>2</sub> emissions compared to those that would result from bare soil. However, throughout the observation period, the lawn surface acted as an emitting source with an average magnitude of  $1.25 \pm 5.31 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . The study allowed the identification of phytovolume and soil water availability as the most determining factors in this complex process that underlies the vertical fluxes that occurring at the surface/atmosphere interface. In this sense, management practices related to the frequency and amount of water used in irrigation, as well as the height and frequency of vegetation cutting were identified as key factors on the net exchange of CO<sub>2</sub> on these lawn surfaces.

**Keywords:** CO<sub>2</sub> Exchange, Temporal variation, Carbon, Soil management, Urban lawn.

## INTRODUÇÃO

O solo desempenha diversas funções ecológicas, incluindo a capacidade de sequestrar carbono e constituir o principal reservatório terrestre de carbono (C). Estudos sugerem que a respiração do solo é um dos principais processos de emissão de carbono para a atmosfera, sendo estimada uma emissão superior a 10 vezes em comparação à resultante da queima de combustíveis fósseis (Phillips and Nickerson, 2015; Yue *et al.*, 2018). Pequenas alterações no solo podem afetar o fluxo natural de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera, o que, por sua vez, tem influência nas mudanças climáticas. Tais mudanças, caracterizadas pelo aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, impactam negativamente a qualidade de vida nas áreas urbanas (Lee *et al.*, 2021). A urbanização tem como principal consequência a alteração da tipologia do solo para acomodar as infraestruturas urbanas, conduzindo à impermeabilização do solo e a alterações das suas características físico-químicas e biológicas (Hulley, 2012). Além disso, estima-se que as áreas urbanas contribuem com mais de 70% do CO<sub>2</sub> emitido globalmente (Li *et al.*, 2018). Assim, um dos desafios ambientais relacionado com esta temática prende-se com a pesquisa de formas de mitigar os efeitos da urbanização. Nesse contexto, o estímulo à criação de espaços verdes urbanos (EVUs) pode desempenhar um papel fundamental. Aos EVUs são atribuídos vários benefícios ambientais e sociais. Contudo, relativamente aos relvados, permanecem muitas incertezas quanto à sua capacidade como sumidouro de CO<sub>2</sub>. Embora a temperatura e o teor de água no solo (SWC) sejam frequentemente mencionados como fatores-chave na dinâmica dos fluxos de CO<sub>2</sub> (Brito *et al.*, 2009; Ball and Virginia, 2015; Moitinho, 2017), em alguns estudos, a sua significância não está bem evidenciada devido às influências indiretas causadas por outros fatores bioclimáticos, que geralmente não são considerados nos estudos, como a precipitação e o fitovolume (Craine *et al.*, 1999; Ng *et al.*, 2015). A respiração autotrófica que ocorre na rizosfera, a zona de interação entre o solo/raízes e os microrganismos, tem sido identificada como sendo um processo mais sensível às alterações ambientais do que a fotossíntese realizada pelas plantas. Consequentemente, a taxa de respiração do solo pode aumentar mais rapidamente do que a taxa de fotossíntese de acordo com as condições ambientais

loais (Zhou *et al.*, 2012; Arca *et al.*, 2021). Sarzhanov *et al.* (2017) demonstraram que solos ervados naturais têm maior potencial como sumidouros de CO<sub>2</sub> quando comparados com solos relvados urbanos, devido a diferenças nas características e funções causadas por influências antropogénicas. Assim, fatores climáticos associados a práticas de gestão do solo influenciam o balanço da troca de carbono neste ecossistema (Fang *et al.*, 2020). Desta forma, é essencial investigar os fluxos verticais de CO<sub>2</sub> nos relvados urbanos submetidos a práticas de gestão e manutenção, considerando, nomeadamente, o comportamento sazonal dos fluxos em relação ao clima urbano local, bem como os principais fatores, naturais ou antropogénicos, que afetam o seu potencial enquanto sumidouro de CO<sub>2</sub>. Só assim será possível implementar formas mais sustentáveis na gestão dos EVUs. Nesse sentido, foi implementado um estudo com o objetivo de estudar os fluxos de CO<sub>2</sub> de um relvado de um EVU localizado na cidade de Bragança cujos resultados para o período compreendido entre fevereiro e junho são apresentados neste trabalho.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio de campo foi instalado no relvado de um EVU do Complexo Desportivo de Bragança (CDB), localizado na malha urbana da cidade de Bragança, região de Trás-os-Montes, no norte de Portugal (41°48'20,18" N, 6°46'17,60" W). Trata-se de um complexo de aproximadamente de 29.000 m<sup>2</sup>, sendo 78% de solos permeáveis, com acesso controlado, consistindo de áreas relvadas, com algumas árvores, campos de ténis e piscinas. De um modo geral, o relvado estudado apresentou sempre um desenvolvimento homogéneo, sendo submetido a cortes com uma frequência aproximada de 15 dias. Além disso, a rega regular do mesmo é uma prática comum durante os períodos mais quentes, com o objetivo de evitar o stress hídrico do relvado.

No período de 22-fev-2021 a 17-jun-2021, foram analisadas duas áreas dentro do mesmo EVU (Figura 1), as quais foram demarcadas por colares de PVC, com um diâmetro de 21 cm. Uma das áreas delimitada apresentava uma cobertura herbácea completa (relva) e outra área consistia em solo totalmente exposto, com vista a avaliar a contribuição relativa do relvado para as taxas de transferência



**Figura 1** - Sistema de Medição LI-8100A (A); Câmara móvel de fluxos (B); Demarcação do solo relvado (C) e do solo nu (D).

de  $\text{CO}_2$ . Os fluxos de  $\text{CO}_2$  foram medidos continuamente na área com relvado e, quinzenalmente, durante 24 horas, no solo nu.

### Monitorização dos Parâmetros Edafoclimáticos

A monitorização dos parâmetros edafoclimáticos foi efetuada com recurso aos sensores integrados no sistema de medição de fluxos  $\text{CO}_2$ , o LI-8100A, e uma estação meteorológica instalada no local. O LI-8100A integra um sensor de radiação fotosinteticamente ativa (PAR) (LI-190R), um sensor de teor de água no solo (SWC) (GS1 8150-205) e um sensor de temperatura do solo (5 cm). Adicionalmente, a estação meteorológica integra um sensor de temperatura e humidade relativa do ar (CS215), um piranómetro (PYR-S) e um pluviómetro (ARG100), além de um anemómetro de copos e de um catavento.

### Monitorização da Componente Vegetativa

Foi efetuada a monitorização da relva na região demarcada pelo colar destinado à análise dos fluxos de  $\text{CO}_2$  ( $A_{\text{colar}}$ ;  $0,0346 \text{ m}^2$ ). Adicionalmente, foram executadas três recolhas aleatórias de amostras da relva circundante, abrangendo uma área igual à do colar mencionado. As análises vegetativas eram conduzidas a cada duas semanas, buscando coincidir com o dia anterior ao corte realizado pelo zelador do CDB.

Para monitorizar o crescimento da vegetação herbácea, foi calculado o fitovolume e a biomassa produzida por meio de amostragens quinzenais. O fitovolume ( $FV_{\text{colar}}$ ;  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) foi calculado (Eq. 1) multiplicando a altura do estrato vegetal ( $h_{\text{veg}}$ ; m)

pela percentagem de cobertura vegetal (%veg; %) e respetiva área analisada. A altura vegetal, em cada parcela, corresponde à média de 3 medições aleatórias.

$$FV_{\text{colar}}(\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}) = h_{\text{veg}}(\text{m}) \times \frac{\%_{\text{veg}}}{100} \times \frac{10.000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}} \quad (\text{Eq. 1})$$

A produção de biomassa ( $P_{\text{he}}$ ;  $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ) foi estimada utilizando a Equação 2. O material vegetal foi coletado e seco em estufa a  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  por 48 horas. Em seguida, foi pesado, e com base no valor da biomassa seca (BM; g), estimou-se a produção diária considerando a área da amostra ( $A_{\text{colar}}$ ) e o intervalo quinzenal (d; 15 dias), período em que a relva era normalmente cortada.

$$P_{\text{he}} = \frac{BM}{d \times A_{\text{colar}}} \quad (\text{Eq. 2})$$

### Monitorização dos Fluxos de $\text{CO}_2$

A monitorização foi realizada com recurso ao sistema de medição de transferência líquida de carbono, o LI-8100A, da LI-COR Biosciences®. Este sistema automatizado é composto por uma câmara de fluxos equipada por uma campânula móvel e transparente (Figura 1 (B)) que permite a entrada de luz solar para o seu interior e por um analisador de  $\text{CO}_2$  e de vapor de água assente no princípio do infravermelho não-dispersivo (NDIR). O NDIR fundamenta-se na absorção seletiva de radiação infravermelha pela amostra em análise. A magnitude da radiação não absorvida pela amostra e detetada pelo dispositivo é diretamente proporcional à concentração do gás presente na amostra. Este sistema foi configurado de modo a assegurar medições sequenciais dos fluxos de  $\text{CO}_2$  de 1 minuto cada, em ciclos de 15 minutos.

## Tratamento de Dados

Os dados foram organizados e processados no software EXCEL 2016™. Este software foi também utilizado para calcular e analisar estatísticas descritivas, como média e desvio padrão, bem como para elaborar gráficos. Para a realização das análises de variância (ANOVA) e o cálculo do coeficiente de correlação de Spearman, empregou-se o software OriginPro 2021. A escolha do coeficiente de correlação de Spearman foi fundamentada na existência de dados com distribuição não normais, especialmente em relação à variável de precipitação. Esta matriz de correlação é particularmente útil em estudos ambientais, nos quais as variáveis podem ser influenciadas por múltiplos fatores.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

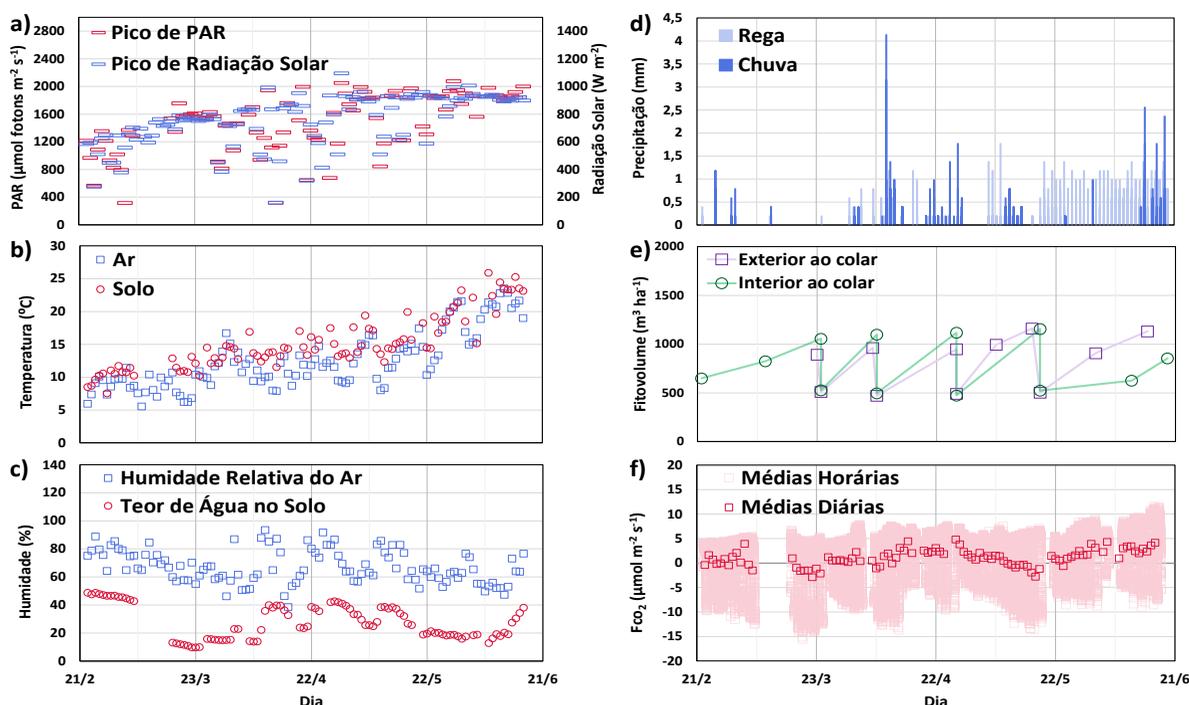
### Condições Edafoclimáticas

Foi observado uma elevação gradual da radiação solar (Figura 2(a)) e da temperatura (Figura 2 (b)). A radiação solar atingiu picos diários médios de

$760,98 \pm 180,07 \text{ W m}^{-2}$ , equivalente a  $1498,26 \pm 413,35 \text{ } \mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  de PAR. A temperatura do solo apresentou uma média de  $15,0 \pm 5,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ , enquanto a temperatura do ar foi de  $12,6 \pm 6,2 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Destaca-se também que durante os períodos chuvosos (Figura 2 (d)), verificou-se um aumento no SWC (Figura 2 (c)), alcançando valores próximos a 40%. Por outro lado, a rega, que se tornou frequente após o término do terceiro mês, não afetou o SWC na camada superficial (10 cm) com a mesma magnitude observada nos períodos chuvosos, atingindo valores próximos a 20%.

### Dinâmica do Relvado

O relvado (Figura 2 (e)) apresentou um crescimento mais lento no primeiro mês, devido às temperaturas abaixo do ideal para o crescimento vegetativo de relvados ( $15\text{--}22 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), a que se seguiram um segundo e terceiro mês com maiores taxas de crescimento foliar. O quarto mês foi considerado atípico, uma vez que, existindo, aparentemente, condições ambientais adequadas para o seu desenvolvimento, apresentou uma desaceleração do



**Figura 2** - Variação Temporal: Pico diário de radiação solar (azul) e PAR (vermelho) (a); Média diária de temperatura do ar (azul) e do solo (vermelho) (b), Humidade relativa do ar (azul) e SWC (vermelho) (c); Acúmulo diário da precipitação da chuva (azul claro) e da rega (azul escuro) (d); Fitovolume no interior ao colar (verde) e no exterior do colar (roxo) (e) e Média diária (vermelho) e horária (rosa) de Fluxo líquido de  $\text{CO}_2$  (f).

crescimento da relva no interior do colar. Nesse período, houve uma mudança na metodologia de corte do relvado, o que pode ter danificado o sistema radicular e, conseqüentemente, ter afetado o crescimento da relva. Quando analisada de forma abrangente, a biomassa foi o único parâmetro discrepante ( $p < 0,05$ ), entre os parâmetros vegetativos analisados no interior do colar de amostragem dos fluxos, relativamente ao relvado envolvente. A área de medição do fluxo de  $\text{CO}_2$  apresentou uma produção herbácea de  $3,1 \pm 0,6 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , enquanto as amostragens do relvado fora dessa área apresentaram uma produção herbácea de  $4,9 \pm 1,0 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . No entanto, a permanência do colar não conferiu nenhum prejuízo para o metabolismo natural da relva, apenas foi constatado que a delimitação do colar impediu que a relva no interior se entrelaçasse com a relva ao seu redor, devido à barreira provocada pela estrutura do colar. Relativamente ao fitovolume, não foram detetadas diferenças no crescimento da relva entre o interior e o exterior do colar ( $p < 0,05$ ) e o mesmo se observou no que diz respeito ao teor de água na biomassa, tanto nas amostras internas quanto ao redor do colar.

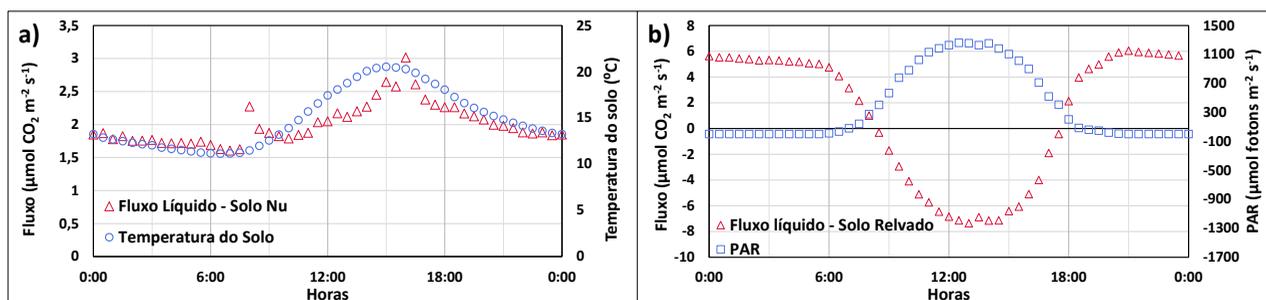
### Variação dos Fluxos de $\text{CO}_2$

A Figura 3 (a) ilustra o perfil médio diário das taxas de fluxo de  $\text{CO}_2$ , juntamente com as temperaturas, provenientes da superfície do solo nu. Nesta representação gráfica, é evidenciado que o solo nu apresentou um comportamento de emissões médias positivas ao longo de todo o período em análise. Em média, o solo nu emitiu  $1,94 \pm 0,90 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , equivalente a  $2,01 \pm 0,93 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Foi observado que os picos de emissão estavam sincronizados com os momentos de evaporação do orvalho,

e posteriormente com a irrigação (geralmente às 7h), bem como com os picos de temperaturas mais elevadas do solo durante o dia (geralmente às 15h). O solo com cobertura vegetal apresentou um perfil diário com um ciclo típico para esta tipologia de solo (Figura 3 (b)) caracterizado por emissões noturnas e absorção durante o período diurno. No período diurno, o parâmetro climático mais influente é a PAR. Assim, é visível que durante o período diurno, o relvado se comporta como sumidouro de  $\text{CO}_2$  à medida que o índice de radiação solar varia. Na ausência da luz solar, o relvado comporta-se como uma fonte de  $\text{CO}_2$ , devido à respiração realizada pela própria planta e à atividade microbiana do solo. O solo relvado apresentou uma emissão média de  $1,08 \pm 5,70 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , equivalente a  $1,12 \pm 5,51 \text{ g C m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Neste estudo, os fluxos de absorção diurnos, registados nas condições observadas, não foram suficientes para compensar os valores de emissão noturnos. Essa característica apresentou uma tendência crescente ao longo do período de observação (Figura 2 (f)). Este fenómeno também foi observado no estudo do Sarzhanov *et al.* (2017), no qual se observou que os solos urbanos, em comparação com os solos naturais, podem experimentar uma perda significativa na sua capacidade de atuar como sumidouro, podendo comporta-se como fonte de  $\text{CO}_2$ . No entanto, os fatores que levam a estes resultados ainda são pouco compreendidos. Ainda assim, foi possível constatar uma redução média de emissões de 44% relativamente ao solo nu ao longo do tempo.

### Influência dos Parâmetros nos Fluxos de $\text{CO}_2$

De acordo com a análise da matriz de Spearman, a PAR (-0,88), a radiação solar (-0,79), a temperatura do solo (-0,16), a temperatura do ar ambiente (-0,27)



**Figura 3** - Variação intradiária média: Fluxos de  $\text{CO}_2$  no solo nu (azul) vs temperatura do solo (vermelho) (a); Fluxos de  $\text{CO}_2$  no solo relvado (vermelho) vs PAR (azul)(b).

e o fitovolume (-0,09) mostraram-se determinantes nas taxas dos fluxos de absorção. Por sua vez, a precipitação (0,44), a humidade relativa do ar (0,46) e o SWC (0,03) surgem como os fatores que mais influenciam os fluxos de emissão do solo. Por se tratar de um processo complexo, que envolve múltiplas variáveis com influências diretas e indiretas (Moitinho, 2017; Sarzhanov *et al.*, 2017; Delgado-Baquerizo *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2018; Fang *et al.*, 2020), variáveis como o fitovolume, mesmo apresentando valor absoluto considerado baixo, surge como um parâmetro que influencia a dinâmica do carbono, como se observa através da análise gráfica da Figura 2, sugerindo que métodos matemáticos podem não ser capazes de interpretar com precisão a principal influência desse parâmetro em questão. As análises gráficas da Figura 2 sugerem igualmente que a diminuição do fitovolume e o aumento do SWC, através de irrigação por aspersão, podem favorecer um balanço líquido de emissões de CO<sub>2</sub>, devido à redução da área fotossintética e ao aumento das condições ideais para a respiração do solo.

## CONCLUSÕES

Para as condições e período de observação, este estudo permitiu observar o papel fundamental da relva como sequestrador de CO<sub>2</sub> durante o período diurno, apresentando uma redução de 44% nas emissões globais relativamente ao solo nu. No entanto, dependendo das práticas de gestão do relvado e das condições ambientais, o desempenho da componente vegetativa como sumidouro pode ser afetado a ponto da sua capacidade de sequestro poder ser inferior à capacidade de emissão. Neste estudo, a capacidade de sequestro de carbono do relvado foi fortemente afetada, essencialmente pelos cortes frequentes da relva cuja consequência direta foi a redução drástica da capacidade de absorver CO<sub>2</sub> através do processo de fotossíntese. Importa, todavia, realçar que devido à complexidade da dinâmica dos fluxos de carbono, através da interface atmosfera/superfície, neste tipo de ecossistema urbano, é importante obter séries temporais mais longas e balanços anuais completos, de forma a podermos identificar com maior rigor as práticas de gestão mais adequadas para tornar estes ecossistemas numa biotecnologia sustentável.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arca, V.; Power, S.A.; Delgado-Baquerizo, M.; Pendall, E. and Ochoa-Hueso, R. (2021) - Seasonal effects of altered precipitation regimes on ecosystem-level CO<sub>2</sub> fluxes and their drivers in a grassland from Eastern Australia. *Plant and Soil*, vol. 460, p. 435–451. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04811-x>
- Ball, B.A. and Virginia, R.A. (2015) - Controls on diel soil CO<sub>2</sub> flux across moisture gradients in a polar desert. *Antarctic Science*, vol. 27, n. 6, p. 527–534. <https://doi.org/10.1017/S0954102015000255>
- Brito, L. de F.; Marques, J.; Pereira, G.T.; Souza, Z.M. and Júnior, N.L.S. (2009) - Soil CO<sub>2</sub> emission of sugarcane fields as affected by topography, *Scientia Agricola*, vol. 66, n. 1, p. 77–83. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162009000100011>
- Craine, J.M.; Wedin, D.A. and Chapin, F.S. (1999) - Predominance of ecophysiological controls on soil CO<sub>2</sub> flux in a Minnesota grassland. *Plant and Soil*, vol. 207, p. 77–86. <https://doi.org/10.1023/A:1004417419288>
- Delgado-Baquerizo, M.; Karunaratne, S.B.; Trivedi, P. & Singh, B.K. (2018) - Climate, geography, and soil abiotic properties as modulators of soil carbon storage. In: *Soil Carbon Storage: Modulators, Mechanisms and Modeling*. Elsevier Inc., pp. 137–165. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812766-7.00005-6>
- Fang, F.; Han, X.; Liu, W. and Tang, M. (2020) - Carbon dioxide fluxes in a farmland ecosystem of the southern Chinese Loess Plateau measured using a chamber-based method. *PeerJ*, vol. 8, art. e8994. <https://doi.org/10.7717/peerj.8994>
- Hulley, M.E. (2012) - The urban heat island effect: Causes and potential solutions. In: *Metropolitan Sustainability: Understanding and Improving the Urban Environment*, Science Direct. p. 79–98. <https://doi.org/10.1533/9780857096463.1.79>
- Lee, J.-Y.; Marotzke, J.; Bala, G.; Cao, L.; Corti, S.; Dunne, J.P.; Engelbrecht, F.; Fischer, E.; Fyfe, J.C.; Jones, C.; Maycock, A.; Mutemi, J.; Ndiaye, O.; Panickal, S. and Zhou, T. (2021) - Future Global Climate: Scenario-Based Projections and Near-Term Information. In: Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A.; Connors, S.L.; Péan, C.; Berger, S.; Caud, N.; Chen, Y.; Goldfarb, L.; Gomis, M.I.; Huang, M.; Leitzell, K.; Lonnoy, E.; Matthews, J.B.R.; Maycock, T.K.; Waterfield, T.; Yelekçi, O.; Yu, R. and B. Zhou, R. (Eds.) (2021) - *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 553–672. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.006>
- Li, S.; Zhou, C.; Wang, S. and Hu, J. (2018) - Does urban landscape pattern affect CO<sub>2</sub> emission efficiency? Empirical evidence from megacities in China. *Journal of Cleaner Production*, vol. 203, p. 164–178. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.194>
- Moitinho, M.R. (2017) - *Variabilidade Da Emissão De CO<sub>2</sub> Do Solo Sob Diferentes Manejos Em Áreas De Cana-De-Açúcar*. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista – UNESP campus de Jaboticabal.
- Ng, B.J.L.; Hutyra, L.R.; Nguyen, H.; Cobb, A.R.; Kai, F.M.; Harvey, C. and Gandois, L. (2015) - Carbon fluxes from an urban tropical grassland. *Environmental Pollution*, vol. 203, p. 227–234. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.06.009>
- Phillips, C.L. and Nickerson, N. (2015) - Soil Respiration. In: *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.09442-2>
- Sarzhhanov, D.A.; Vasenev, V.I.; Vasenev, I.I.; Sotnikova, Y.L.; Ryzhkov, O. V. and Morin, T. (2017) - Carbon stocks and CO<sub>2</sub> emissions of urban and natural soils in Central Chernozemic region of Russia. *Catena*, vol. 158, p. 131–140. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.06.021>
- Yue, P.; Cui, X.; Gong, Y.; Li, K.; Goulding, K. and Liu, X. (2018) - Impact of elevated precipitation, nitrogen deposition and warming on soil respiration in a temperate desert. *Biogeosciences*, vol. 15, n. 7, p. 2007–2019. <https://doi.org/10.5194/bg-15-2007-2018>
- Zhou, X.; Wang, X.; Tong, L.; Zhang, H.; Lu, F.; Zheng, F.; Hou, P.; Song, W. and Ouyang, Z. (2012) - Soil warming effect on net ecosystem exchange of carbon dioxide during the transition from winter carbon source to spring carbon sink in a temperate urban lawn. *Journal of Environmental Sciences*, vol. 24, n. 12, p. 2104–2112. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(11\)61057-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(11)61057-7)