



CIEEMAT`19

The 5th Ibero-American Congress on
Entrepreneurship, Energy, Environment
and Technology

PROCEEDINGS



POLITÉCNICO
DE PORTALEGRE

5th Ibero-American Congress on

Entrepreneurship, Energy, Environment and Technology

11th – 13th September 2019

Portalegre, Portugal

ISBN 978-84-17934-30-9



Portugal, September 2019

Avaliação de fluxos de CO₂ do solo de um sistema agroflorestal do Nordeste de Portugal

Lucilélia Reis, Maria Patrício, Samuel Diegues, Giovanna Poggere, Manuel Feliciano

(1) Lucilélia Barbosa Reis
Instituto Politécnico de
Bragança Bragança,
Portugal
lubreis@gmail.com

(2) Maria do Sameiro Patrício
Centro de Investigação de
Montanha (CIMO), Instituto
Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
sambat@ipb.pt

(3) Samuel Diegues

Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
samucas04@hotmail.com

(4) Giovana Poggere
Universidade Tecnológica
Federal do Paraná, Campus de
Medianeira, Brasil

gcpoggere@utfpr.edu.br

(5) Manuel Feliciano
Centro de Investigação de Montanha (CIMO),
Instituto Politécnico de Bragança
Bragança, Portugal
msabenca@ipb.pt

Resumo— No âmbito das alterações climáticas, mitigar as emissões de dióxido de carbono (CO₂) é de fundamental importância para conter uma gama de fenómenos que vêm perturbando o equilíbrio natural do planeta Terra nas últimas décadas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os fluxos de CO₂ do solo num sistema agroflorestal do Norte de Portugal, utilizando o método da caixa em diferentes condições de gestão do solo, nomeadamente com solo nu (efeito mobilização) e solo erva (efeito não mobilização), em função de variáveis meteorológicas e edafoclimáticas. Neste contexto, foram avaliadas a variação temporal e espacial dos fluxos de CO₂ de uma plantação de castanheiros em sistema agroflorestal para produção de castanha, estudando os fatores que influenciam e ou interferem no processo de trocas de carbono entre o solo e a atmosfera, em inter-relação com a gestão praticada. O Estudo abrangeu duas áreas distintas, uma não mobilizada com subcoberto vegetal permanente e uma outra área, contígua, cujo controlo da vegetação é efetuado por ação de mobilização frequentes (manutenção de solo nu). O procedimento experimental consistiu em selecionar 10 pontos de amostragem, 6 na área não mobilizada (Área A) e 4 na área mobilizada (Área B), e efetuar medições em triplicado, em cada ponto, em três momentos distintos do dia, entre março e junho de 2019. Os Fluxos de CO₂ do solo foram obtidos através de um sistema portátil CO₂, o LI-8100A, que integra uma unidade de controlo e análise de CO₂ e vapor de água acoplado a uma câmara transparente. A humidade, a temperatura do solo e a radiação fotossinteticamente ativa foram também medidas em simultâneo, através de uma Sonda de

humidade 8100-202, de um Termistor 8100-203 e de um Sensor Quântico LI-190R. Os principais resultados apontam para um valor médio do Fluxo de CO₂ de -1,86 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para a área A e 1,93 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para a área B, durante o mesmo período de tempo. Conclui-se que durante o período de avaliação, a área A (cobertura permanente do solo) foi um sumidouro de carbono, enquanto a área B (solo nu) atuou como fonte emissora de carbono do solo.

Palavras chave— carbono, variação temporal, variação espacial, alterações climáticas.

INTRODUÇÃO

As emissões excessivas dos gases de efeito de estufa (GEE) da superfície para a atmosfera interferem nas alterações climáticas globais. Estes gases de efeito estufa têm a particularidade de absorver uma parte da energia solar que é reemitida na forma de energia de elevado comprimento de onda para a atmosfera, após atingir a superfície terrestre. Esta interação energética foi durante muitos anos responsável pela manutenção de uma temperatura adequada para a existência de vida no planeta Terra. Porém, nos últimos anos, temos assistido a uma agudização deste fenómeno, traduzido no aumento da temperatura média global, que está a causar desequilíbrios significativos a nível planetário. O dióxido de carbono (CO₂), o óxido nitroso (N₂O) e o metano (CH₄) são alguns dos principais gases que contribuem de forma indelével para o efeito estufa [1].

De entre esses gases, o CO₂ tem aumentado significativamente e de forma muito acelerada a sua

contribuição para esse processo. Segundo registros dos últimos 800 anos não se relatavam emissões tão elevadas de dióxido de carbono advindas das atividades humanas como as que ocorreram entre os anos de 2000 a 2010 [2]. O aumento da concentração dos GEE, em particular do CO₂, está relacionado principalmente com a queima de combustíveis fósseis, indústrias, transportes e modificações no uso e cobertura do solo, especialmente na agricultura [3].

De acordo com [4], os usos intensivos do solo têm contribuído igualmente para o aumento da libertação de CO₂ armazenado sob a forma de matéria orgânica nos solos, e, conseqüentemente, para diminuir a disponibilidade de carbono orgânico das reservas terrestres. Sendo assim, o recurso a práticas agronómicas mais conservativas da matéria orgânica, consideradas ambientalmente mais adequadas para permitir elevar o potencial de sequestro e armazenamento de carbono por parte dos solos, é absolutamente necessário. Em geral, estima-se que o carbono orgânico nas reservas dos solos corresponda a duas vezes mais do que toda a biomassa vegetal existente no planeta, sendo considerado de suma importância no ciclo do carbono [5]. Contudo, as práticas culturais podem contribuir para uma maior ou menor conservação da matéria orgânica no solo e conseqüente maior ou menor libertação de gases de efeito de estufa para a atmosfera.

E como bem nos assegura [6], os ecossistemas florestais são capazes de minimizar o aquecimento global, devido à elevada taxa de sequestro de carbono, sendo capazes de atenuar as emissões dos gases de efeito estufa como o metano e o dióxido de carbono. Assim como as florestas, os sistemas agroflorestais são suscetíveis de desempenhar um papel de sumidouro de dióxido de carbono, devido às suas práticas mais adequadas de gestão do solo [7]. Em Portugal, por exemplo, cerca de mais de um terço do território é coberto por sistemas florestais e agroflorestais [8].

A avaliação da influência das diferentes práticas de gestão na transferência líquida de CO₂ dos ecossistemas (*Net Ecosystem (CO₂) Exchange, NEE*) é de importância crítica para as decisões políticas no âmbito das alterações climáticas e do setor agrícola [9]. A NEE, também designada por produção líquida dos ecossistemas, corresponde à quantidade de carbono que é colocado na atmosfera em comparação com a quantidade que é removida, ou seja, uma NEE positiva indica que o ecossistema atua como uma fonte de CO₂, enquanto uma NEE negativa indica que é um sumidouro de CO₂ [10]. Neste contexto, estudos capazes de quantificar os fluxos de CO₂, por diferentes abordagens metodológicas, têm sido e continuarão a ser imprescindíveis [11].

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os fluxos de CO₂ do solo num sistema agroflorestal do Norte de Portugal, utilizando o método da caixa, em diferentes condições de gestão do solo, nomeadamente com solo nu (efeito mobilização) e solo ervaado com subcoberto permanente (efeito não mobilização). A relação da cobertura vegetal/mobilização do solo com variáveis meteorológicas e edafoclimáticas que influenciam a dinâmica do carbono no solo, permitirá definir técnicas de manejo mais amigas do ambiente. Além disso, procura-se determinar a variação temporal e espacial em função de fatores influenciadores como a radiação fotossintética ativa, a temperatura e a humidade do solo, com as práticas de gestão agroflorestal utilizadas na área de estudo.

METODOLOGIA

a. Localização e características da área de estudo

2. O presente estudo foi realizado num sistema agroflorestal situado na freguesia de Parada, na região de Trás-os-Montes, Nordeste de Portugal. A área fica situada a 740 m de altitude e localiza-se nas coordenadas geográficas 41°38'12.53"N; 6°42'42.94"W (Fig.1) com exposição S-SE. De acordo com a classificação de Köppen- Geiger [12] o clima da região é Csb, mediterrâneo com verões quentes. A precipitação média anual é de aproximadamente 821mm, correspondendo à distribuição típica mediterrânica sazonal, com verões secos, e com chuvas concentradas no outono e inverno. A temperatura média anual é de 11,6° C [13]. O solo é do tipo leptossolo de xisto de baixa espessura e elevada pedregosidade e relativamente pobre em matéria orgânica.

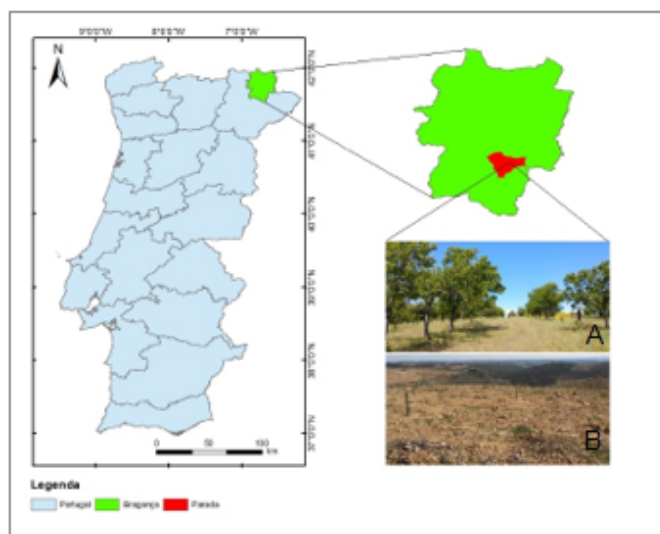


Fig. 1. Localização e características gerais da área de estudo A e B.

b. Material e métodos

No âmbito do projeto GO_ClimCast, financiado pelo PDR2020 e cofinanciado pelo FEADER, no âmbito do Portugal 2020, instalou-se uma área de castanheiro em sistema agroflorestal com aproximadamente 0,5 ha (souto demonstração), em abril de 2018. Esta plantação cujo controlo da vegetação é efetuado por ação de mobilizações frequentes (manutenção de solo nu), serviu de base ao presente estudo juntamente com uma outra área de castanheiro adulto, contígua, não mobilizada com subcoberto vegetal permanente. Assim, foram selecionadas duas áreas distintas entre si em relação a prática de gestão e cobertura do solo, designadas a partir de agora por área A e área B, e que juntas equivalem a 1,5 ha. A área A apresenta o solo não mobilizado, ervado e com plantação de castanheiros adultos com cerca de 25 anos. A área B (plantação nova) apresenta o solo exposto, devido às mobilizações frequente para controlo da vegetação. O delineamento experimental consistiu em 10 pontos de amostragem, 6 na área A e 4 na área B. Na área A, três colares foram localizados debaixo da copa dos castanheiros adultos (A1, A2 e A3) e três entre as suas copas (A4, A5, A6), ficando estes mais expostos à radiação. Em cada um dos pontos foram fixados colares de PVC com 21 cm de diâmetro por 11,5 cm de altura. Os colares foram colocados umas semanas antes do início das medições, com o objetivo de diminuir as perturbações no solo e na vegetação no seu entorno e causar eventuais alterações na emissão/absorção de CO₂.

As medições ocorreram em triplicado, em cada ponto, em três momentos distintos do dia (no período das 8:00 às 18:00 horas), entre março e julho de 2019 (neste artigo não foram integrados os dados de julho). Os Fluxos de CO₂ (F_{CO2}) foram obtidos com recurso a um sistema portátil da marca LI-COR Biosciences (LI-8100A), que integra uma unidade de controlo e análise de CO₂ e vapor de água acoplado a uma câmara transparente. A Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR), a Temperatura (T_{solo}) e a Humidade do Solo (H_{solo}) foram medidas em paralelo, fazendo uso de um Sensor Quântico LI-190R, da Sonda Termistor 8100-203 e Sonda de humidade 8100-202, repetivamente.

c. Processamento de dados

Os dados recolhidos foram processados pelo software SoilFluxPro e tratados estatisticamente, envolvendo o cálculo de parâmetros de estatística descritiva (e.g média, mediana, máximo, mínimo, erro padrão) das variáveis F_{CO2} (μmol m⁻² s⁻¹), PAR (μmol s⁻¹ m⁻²), T_{solo} (°C) e H_{solo} (%). Além disso, as diferenças das médias para as variáveis referidas anteriormente, entre áreas, entre pontos de amostragem e entre momentos distintos para cada uma das áreas, foram avaliadas através de uma ANOVA e o teste de Tukey, após verificação dos

respectivos pressupostos estatísticos (i.e. a normalidade dos resíduos e homogeneidade da variância). A análise estatística foi efectuada com recurso aos softwares Excel 2010 e Origin 8.5. Finalmente, construiu-se uma matriz de correlação de Pearson e de p-valores para avaliar a interdependência entre variáveis.

RESULTADOS

a. Variação Espacial dos Fluxos de CO₂ e de Outras Variáveis Ambientais

Numa primeira análise, procurou-se avaliar as diferenças globais entre as áreas A e B, em termos de PAR (μmol s⁻¹ m⁻²), T_{solo} (°C) e H_{solo} (%) e F_{CO2} (μmol m⁻² s⁻¹), cujos principais parâmetros estatísticos se encontram apresentados na Tabela I.

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS PARA AS VARIÁVEIS EM ANÁLISE REGISTADAS PARA A ÁREA A E B, NO PERÍODO DE MARÇO A JUNHO, EM PARADA, BRAGANÇA, PORTUGAL.

	Área A			
	PAR (μmol s ⁻¹ m ⁻²)	T _{solo} (°C)	H _{solo} (%)	F _{CO2} (μmol m ⁻² s ⁻¹)
Média	960,5 b	20,2 b	13,75 a	-1,86 b
Mediana	1112,8	18,3	11,50	-1,96
Erro.Padrão	37,6	0,4	0,45	0,32
Variância	406847,7	45,8	59,30	28,60
Máximo	2091,07	44,42	34,5	16,8
Mínimo	1,02	11,28	1,4	-19,08
	Área B			
	PAR (μmol s ⁻¹ m ⁻²)	T _{solo} (°C)	H _{solo} (%)	F _{CO2} (μmol m ⁻² s ⁻¹)
Média	1307,8 a	23,9 a	10,75 b	1,93 a
Mediana	1514,1	21,2	9,20	1,84
Erro.Padrão	42	0,66	0,47	0,06
Variância	338765,1	83,6	41,9	0,73
Máximo	2091,07	44,04	31	4,2
Mínimo	58,53	7,07	1,3	0,35

Obs. Letras diferentes por coluna entre as áreas A e B indicam diferenças significativa p<0,05 pelo teste de Tukey.

Em termos gerais, constata-se que todas as variáveis analisadas diferem significativamente entre a área A e a área B, para o período de avaliação, que abrangeu o período diurno entre março e junho de 2019. A PAR foi superior na área B, por não apresentar uma barreira física aérea capaz de bloquear a luz solar, tendo-se registado um valor médio global de aproximadamente 1300 (μmol s⁻¹ m⁻²). Na área A, a PAR média foi inferior a 1000 (μmol s⁻¹ m⁻²), devido ao efeito sombra do copado.

A T_{solo} apresentou o mesmo comportamento, sendo globalmente superior na área B (solo nu) em comparação com o registado na área A (solo ervado). Na área B, a T_{solo} média global foi de aproximadamente 24 °C, variando entre uma mínima de 7°C e uma máxima de 44 °C. Na área A, a T_{solo} média global foi de 20 °C, oscilando entre

uma mínima de cerca de 11 °C e uma temperatura máxima de aproximadamente 44°C.

Relativamente à H_{solo} da camada superficial (até $\cong 8$ cm de profundidade), a magnitude dos valores foi baixa para ambas as áreas, devido ao facto de ter havido pouca precipitação no local, entre 1 de março e 30 junho de 2019 (213 mm, de acordo com registos meteorológicos locais). Apesar dos baixos valores, registaram-se diferenças significativas entre a área A e a área B, com valores médios de 13,75% e 10,75%, respetivamente. A amplitude registada em ambas as áreas foi, no entanto, bastante similar, tendo variado entre mínimos de 1,3% e máximos de 34,5%.

Por fim, relativamente aos fluxos de CO_2 , a área A (ervada) apresentou-se como sumidouro de CO_2 , com um fluxo médio de $-1,86 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e a área B como emissora de carbono com um fluxo médio de $1,93 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Estas diferenças resultam do facto de a área A apresentar, durante o período de avaliação, vegetação ativa do ponto de vista fisiológico, contribuindo, através do processo de fotossíntese, para fixar CO_2 em quantidades superiores às libertadas pelos processos de respiração autotrófica (respiração das raízes das plantas do solo), e de respiração heterotrófica resultante da atividade microbiana.

Quando estendemos a análise da variabilidade espacial a cada uma das áreas (variabilidade intra-áreas) (Fig. 2 e 3), constatamos igualmente que há diferenças significativas, entre alguns pontos de amostragem, para todas as variáveis analisadas anteriormente, em particular na área A. Na área B, as diferenças espaciais também foram uma realidade, mas apenas foram significativas para a variável FCO_2 , onde os pontos B2 e B3 apresentaram emissões de CO_2 mais elevadas do que os pontos B1 e B4.

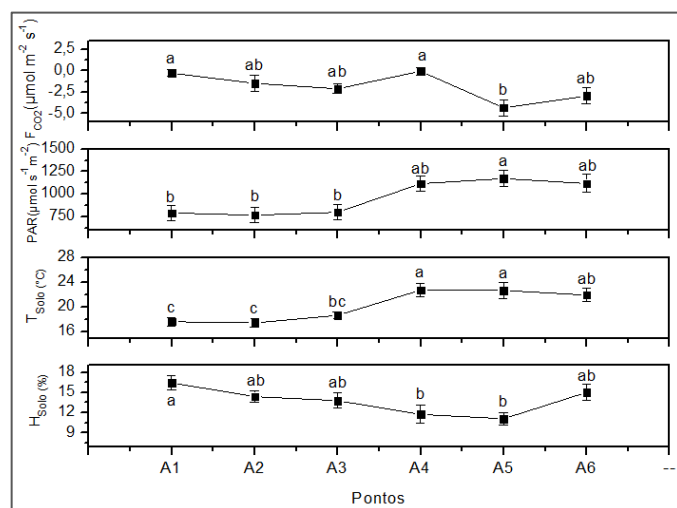


Fig. 2. Variação espacial dos $\text{FCO}_2 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$, $\text{PAR} (\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2})$, $T_{\text{solo}} (^\circ\text{C})$ e da $H_{\text{solo}} (\%)$ entre os pontos da área A. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre pontos de amostragem avaliadas pelo teste de Tukey, para $p < 0.05$.

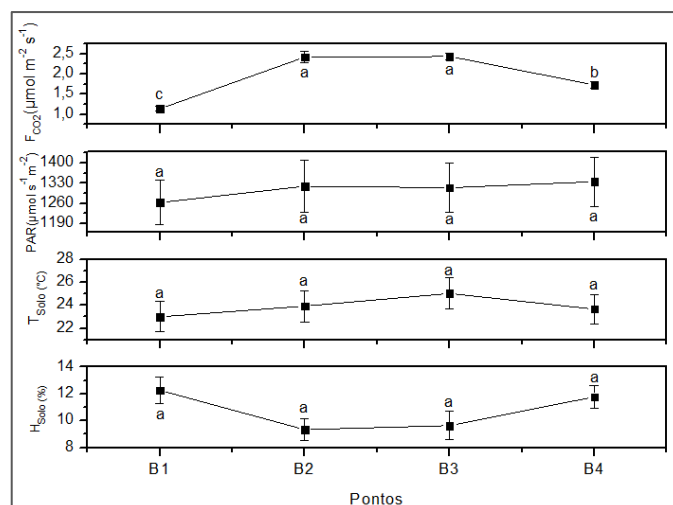


Fig. 3. Variação espacial dos $\text{FCO}_2 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$, $\text{PAR} (\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2})$, $T_{\text{solo}} (^\circ\text{C})$ e da $H_{\text{solo}} (\%)$ entre os pontos da área A e B. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre pontos de amostragem avaliadas pelo teste de Tukey, para $p < 0.05$.

As diferenças encontradas em ambas as áreas resultam de uma interação complexa de vários processos e de vários fatores ambientais. Todavia, enquanto na área A, o índice de área foliar, o estado fisiológico da vegetação do subcoberto e as variáveis ambientais com influência nas taxas fotossintéticas (e.g. PAR , T_{solo}) surgem aparentemente como as mais determinantes da variabilidade espacial encontrada para a NEE, na área B, a falta de homogeneidade espacial dos FCO_2 é explicada pela variabilidade espacial natural dos parâmetros físicos (T_{solo}), químicos (e.g. H_{solo} , matéria orgânica, pH) e biológicos (e.g. microorganismos) do solo com influência na respiração heterotrófica.

b. Variação Temporal dos Fluxos de CO_2 e de Outras Variáveis Ambientais

A análise da evolução temporal das variáveis $\text{FCO}_2 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1})$, $\text{PAR} (\mu\text{mol s}^{-1} \text{ m}^{-2})$, $T_{\text{solo}} (^\circ\text{C})$ e $H_{\text{solo}} (\%)$ apresentada na fig. 4, para a área A, e na Fig. 5, para a área B, registada de forma descontínua entre março e junho, ajuda-nos a compreender um pouco melhor a interação entre os vários fatores ambientais estudados e a dinâmica da transferência líquida de CO_2 , ao longo de um período de quatro meses, em condições de temperaturas moderadas e conteúdo baixo de água no solo.

Atentando na Fig. 4, é possível observar que a área A sequestrou carbono da atmosfera no período de observação, entre março e maio, com valores de NEE máximos de $-5,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Em junho, o solo coberto com vegetação converteu-se numa fonte de CO_2 com um valor de NEE de $5,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

A variação temporal da NEE exibida na área A reflete a evolução das diferentes etapas de crescimento da

vegetação, desde o período inicial da fase vegetativa e de crescimento até ao período de aparecimento de sinais claros de senescência da vegetação existente no local, como demonstram os valores positivos de NEE medidos em junho. Embora não fosse crível que as taxas de fotossíntese estivessem totalmente reduzidas a zero, é evidente que as taxas de respiração as superaram largamente, em resultado da decomposição de carbono orgânico e da atividade biológica das raízes das plantas [14].

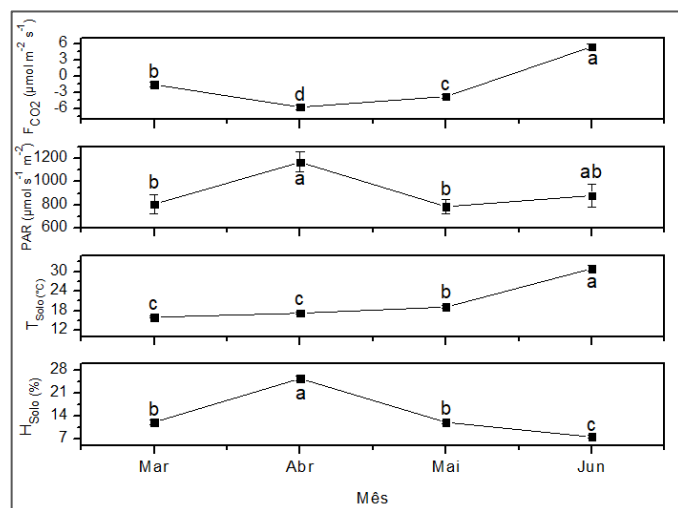


Fig. 4. Comparação das médias globais dos F_{CO_2} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), PAR ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$), T_{solo} ($^{\circ}\text{C}$) e da H_{solo} (%) para a área A ao longo do tempo. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre amostragens efetuadas ao longo do tempo, para os parâmetros em análise, avaliadas pelo teste de Tukey, para $p < 0.05$.

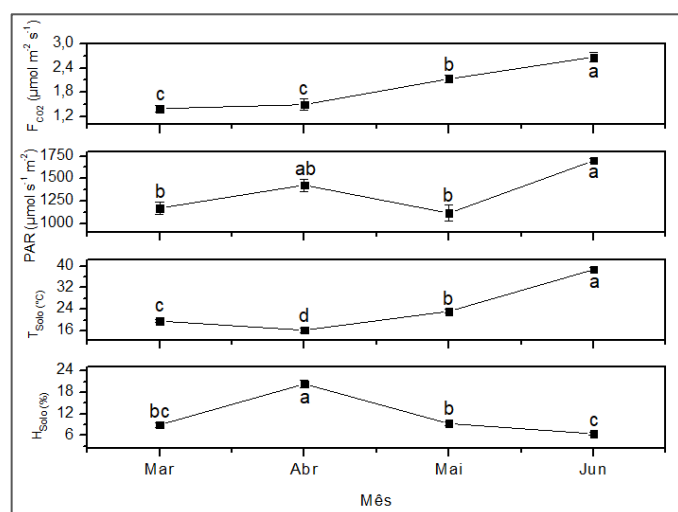


Fig. 5. Comparação das médias globais dos F_{CO_2} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), PAR ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$), T_{solo} ($^{\circ}\text{C}$) e da H_{solo} (%) para a área B ao longo do tempo. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre amostragens efetuadas ao longo do tempo, para os parâmetros em análise, avaliadas pelo teste de Tukey, para $p < 0.05$.

Contrariamente ao observado para a área A, a área B apresentou-se como uma fonte emissora de CO_2 ao longo de todo o período de avaliação, dado que foi mantida sem vegetação. O valor mais elevado de fluxo de CO_2 foi

registado em junho com magnitude de $2,67 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e o menor, foi observado em março, sendo de aproximadamente $1,40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A magnitude dos efluxos de CO_2 (transferência de CO_2 do solo para a atmosfera) medidos na área B correspondem a menos de metade das taxas líquidas de emissão de CO_2 ocorridas em junho na área A. Os maiores fluxos de emissão de CO_2 do solo com vegetação (área A) eram esperados, devido às diferenças das propriedades do solo, densidade de raízes e atividade microbiana promovida pelas plantas vasculares [15].

Em relação às outras variáveis, a T_{solo} e a H_{solo} , apesar de se distinguirem em termos de magnitude em ambas as áreas, como referido anteriormente, exibiram comportamentos temporais bastante similares nas duas áreas. Verifica-se também que as temperaturas mais elevadas ocorreram para humidades do solo mais baixas e vice-versa. Em termos de PAR, o perfil temporal difere entre áreas, sendo que na área A os mais elevados foram registados em abril, com uma magnitude de $1420 (\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2})$ e os valores mais baixos de $785 (\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2})$, registados em maio. Na área B, observaram-se valores médios mais elevados de $1699 (\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2})$, no mês de junho, e valores médios mais baixos de $1144 (\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2})$, no mês de maio.

c. Relação entre Fluxos de CO_2 e Variáveis Ambientais

Para analisar com mais rigor a relação de dependência existente entre o F_{CO_2} e as variáveis PAR, T_{solo} e H_{solo} , foi efetuada uma matriz de correlação de Pearson (Tabela II).

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS PARA AS VARIÁVEIS EM ANÁLISE REGISTADAS PARA A ÁREA A E B, NO PERÍODO DE MARÇO A JUNHO, EM PARADA, BRAGANÇA, PORTUGAL.

	Área A			
	F_{CO_2} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	PAR ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$)	T_{solo} ($^{\circ}\text{C}$)	H_{solo} (%)
F_{CO_2}	1	-0,38 s	0,36 s	-0,44 s
PAR		1	0,34 s	0,21 s
T_{solo}			1	-0,44 s
H_{solo}				1
	Área B			
	F_{CO_2}	PAR	T_{solo}	H_{solo}
F_{CO_2}	1	0,13 ns	0,51 s	-0,36 s
PAR		1	0,57 s	-0,17 ns
T_{solo}			1	-0,56 s
H_{solo}				1

ns: não significativo ($p > 0,001$); s: significativo ($p < 0,001$)

De acordo com os principais resultados, o grau de dependência linear entre F_{CO_2} e as restantes variáveis ambientais foi baixo, mas com um nível de significância

elevado para $p < 0,001$, com exceção da PAR e H_{solo} no solo nu, devido à ausência de vegetação.

Como já fora referido anteriormente, a interação complexa entre estes fatores e os fluxos de CO_2 dificulta a análise dos valores de correlação obtidos. Além disso, muitos autores mencionam as dificuldades que existem em investigar a influência isolada de qualquer parâmetro edafoclimático, a partir das medições de campo, por apresentarem interdependência entre si [16].

Todavia, com base numa leitura direta e simplista dos coeficientes de correlação, pode afirmar-se que: 1) o aumento da PAR contribuiu para o aumento das taxas fotossintéticas e, conseqüentemente, para o aumento da absorção líquida de CO_2 pelas plantas (valores mais negativos de NEE); 2) o aumento da T_{solo} aparece associado a uma redução da absorção líquida de CO_2 , justificável pelo efeito positivo que a T_{solo} tem nos efluxos de CO_2 , desde que outros fatores não sejam limitantes; 3) o aumento da H_{solo} conduziu ao aumento da absorção líquida de CO_2 (área A), muito provavelmente por contribuir para a diminuição do stress hídrico da vegetação e, conseqüentemente, aumentar as trocas gasosas entre as plantas e a atmosfera; 4) as maiores emissões de CO_2 do solo (sem vegetação) estiveram associadas aos valores mais elevados de T_{solo} e aos mais baixos de H_{solo} .

De um modo geral, sabe-se que a produção de CO_2 em solos não calcários surge quase inteiramente da respiração autotrófica (respiração da raiz) e heterotrófica (decomposição microbiana da matéria orgânica do solo). Como todos os produtos de reações químicas e bioquímicas, estes processos do solo são igualmente dependentes da temperatura [17] e do conteúdo de água do solo [18] e [19]. Todavia, enquanto os efeitos da temperatura do solo na respiração heterotrófica são principalmente diretos e implicam uma correlação positiva entre a temperatura e as emissões de CO_2 , desde que outros fatores não sejam limitantes [20] e [21], o efeito da humidade do solo é bem mais complexo, uma vez que a água do solo influencia a taxa de fornecimento de O_2 e, portanto, determina se são os processos aeróbios ou anaeróbios que prevalecem no solo [22] e [23]. O conteúdo de água do solo também é importante para o suprimento de substrato para microorganismos do solo [21].

Apesar de haver alguma conflitualidade relativamente à influência da H_{solo} nos F_{CO_2} , as maiores emissões de CO_2 têm sido reportadas para um teor intermédio de humidade, enquanto condições secas e húmidas conduzem a uma redução das emissões de CO_2 [24] e [19]. No entanto, se a humidade do solo se torna limitante, os fluxos de CO_2 são suprimidos independentemente das elevadas temperaturas do solo [25] e [26].

O fluxo de CO_2 do solo é frequentemente relacionado positivamente com variáveis como humidade, a temperatura, matéria orgânica do solo (MOS) e atividade microbiana [27], [28] e [29].

*CONCLUSÃO

O estudo apresentado é parte de uma investigação que ainda está em desenvolvimento, mas já permitiu obter um conjunto de dados que podem ser muito relevantes para o setor florestal e agroflorestal, num país onde o tipo de informação recolhida é bastante lacunar.

Do ponto de vista de gestão do carbono do solo, constatou-se que as práticas de gestão exercem uma influência significativa na produção líquida dos ecossistemas. Os solos mobilizados comportam-se como fontes importantes de carbono inorgânico, enquanto os solos não mobilizados, com coberto vegetal, comportam-se como sumidouros durante o período de crescimento vegetativo e como emissores no período em que a vegetação fica fisiologicamente inativa.

Os resultados mostraram ainda que existe uma variabilidade significativa nos fluxos de CO_2 entre os pontos de amostragem dentro da mesma área de análise. Esta variação pode ser devida à heterogeneidade do solo, nomeadamente o teor de matéria orgânica e a relação C/N que interfere com a atividade microbiana. Estes parâmetros serão avaliados posteriormente em estudos complementares na mesma área.

As variáveis edafoclimáticas observadas *in situ* exercem uma importante influência na magnitude dos fluxos de CO_2 . Assim, de acordo com a análise global feita nas duas áreas, verificamos que a presença da vegetação altera a dinâmica do carbono, pelo que a manutenção de um coberto vegetal permanente no subcoberto dos soutos constitui uma prática ambientalmente mais sustentável.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi suportado, em parte, pelo projeto GO ClimCast financiado pelo FEADER e pelo Estado Português, no âmbito da Ação 1.1 “Grupos Operacionais” integrado na Medida 1. Inovação do PDR 2020. Os autores agradecem ainda à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) e FEDER ao abrigo do Programa PT2020 pelo apoio financeiro ao CIMO [UID / AGR / 00690/2019].

REFERÊNCIAS

- IPCC. (2014). Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>. (2013). CLIMATE CHANGE 2013.

- IPCC. (2014). Climate Change 2013 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>. (2013). *CLIMATE CHANGE 2013*.
- Jalota, S. K., Vashisht, B. B., Sharma, S., & Kaur, S. (2018). Emission of Greenhouse Gases and Their Warming Effect. Understanding Climate Change Impacts on Crop Productivity and Water Balance, 1–53. doi:10.1016/b978-0-12-809520-1.00001-x
- Barbera, A. C. (2018). *Greenhouse Gases Formation and Emission. Encyclopedia of Ecology, 2nd Edition* (2.^a ed.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10895-4>
- Nair, P. K. R., Gordon, A. M., & Rosa Mosquera-Losada, M. (2008). *Agroforestry. Encyclopedia of Ecology, 101–110*. doi:10.1016/b978-008045405-4.00038-0
- Martins, C. S. C., Nazaries, L., Macdonald, C. A., Anderson, I. C., e Singh, B. K. (2015). Soil Biology & Biochemistry Water availability and abundance of microbial groups are key determinants of greenhouse gas fluxes in a dryland forest ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry, 86*, 5–16. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.03.012>
- Chatterjee, N., Nair, P. K. R., Chakraborty, S., e Nair, V. D. (2018). Agriculture, Ecosystems and Environment Changes in soil carbon stocks across the Forest-Agroforest-Agriculture / Pasture continuum in various agroecological regions: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 266*, 55–67. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.014>
- Ferreira, S., Monteiro, E., Brito, P., & Vilarinho, C. (2017). *Biomass resources in Portugal: Current status and prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78*, 1221–1235. doi:10.1016/j.rser.2017.03.140
- Vicente-vicente, J. L., García-ruiz, R., Francaviglia, R., Aguilera, E., e Smith, P. (2016). Agriculture, Ecosystems and Environment Soil carbon sequestration rates under Mediterranean woody crops using recommended management practices: A meta-analysis. *«Agriculture, Ecosystems and Environment», 235*, 204–214. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.024>
- K Phillips, C. L., & Nickerson, N. (2015). *Soil Respiration. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. doi:10.1016/b978-0-12-409548-9.09442-2
- Anapalli, S. S., Fisher, D. K., Reddy, K. N., Krutz, J. L., Pinnamaneni, S. R., e Sui, R. (2019). Science of the Total Environment Quantifying water and CO₂ fluxes and water use efficiencies across irrigated C3 and C4 crops in a humid climate, 663, 338–350. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.471>.
- Köppen, W. (1936). Das geographische System der Klimate. Handbuch der Klimatologie, v.1, Part C (W. Köppen & R. Geiger, eds.). Gerbrüder Bornträger, Berlin, pp. 1-44.
- IPMA. Normais Climatológicas - 1981-2010 (provisórias) - Bragança. Disponível em: <<http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais/clima/1981-2010/003/>>. Acessado em: 20 de Junho de 2019.
- Yiqi, L.; Zhou, X. Soil respiration and the environment. [S.l.]: Academic press, 2010.
- Jiang YL, Zhou GS, Zhao M et al.. Soil respiration in broad-leaved and Korean Pine forest ecosystems, Changbai Mountain, China. *Acta Phytocologica Sinica* 2005;29(3):411–4.
- Lognoul, M., Theodorakopoulos, N., Hiel, M.P., Regaert, D., Broux, F., Heinesch, B., Bodson, B., Vandenbol, M., Aubinet, M., 2017. Impact of tillage on greenhouse gas emissions by an agricultural crop and dynamics of N₂O fluxes: insights from automated closed chamber measurements. *Soil Tillage Res.* 167, 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.11.008>.
- Wu, J.T.H., Pham, T.Q., Adams, M.T. (2010). “Composite Behavior of Geosynthetic-Reinforced Soil (GRS) Mass.” Technical Report, Turner-Fairbank Highway Research Center, FHWA, US DOT.
- Davidson, E. A., & Janssens, I. A. (2006). *Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. Nature, 440(7081)*, 165–173. doi:10.1038/nature04514.
- Suseela, V., Conant, R. T., Wallenstein, M. D., & Dukes, J. S. (2011). *Effects of soil moisture on the temperature sensitivity of heterotrophic respiration vary seasonally in an old-field climate change experiment. Global Change Biology, 18(1)*, 336–348. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02516.x .
- Ferreira, A. L., Mauricio, R. M., Fernandes, F. D., Carvalho, M. A., Ramos, A. K. B., & Junior, R. G. (2012). *Ranking contrasting genotypes of forage peanut based on nutritive value and fermentation kinetics. Animal Feed Science and Technology, 175(1-2)*, 16–23. doi:10.1016/j.anifeeds.2012.03.024 .
- Meixner, F.X., Yang, W.X., 2006. Biogenic emissions of nitric oxide and nitrous oxide from arid and semi-arid land. In: D’Odorico, P., Porporato, A., (Eds.), *Dryland Ecohydrology*. Springer, Dordrecht, pp. 233–255.
- Pilegaard, K., Skiba, U., Ambus, P., Beier, C., Brüggemann, N., Butterbach-Bahl K. et al., 2006. Factors controlling regional differences in forest soil emission of nitrogen oxides (NO and N₂O). *Biogeosciences*, 3(4), 651–661.
- Schindlbacher, A. (2004). *Effects of soil moisture and temperature on NO, NO₂, and N₂O emissions from European forest soils. Journal of Geophysical Research, 109(D17)*. doi:10.1029/2004jd004590
- Schaufler, G., Kitzler, B., Schindlbacher, A., Skib, U., Sutton, M.A., Zechmeister-Boltenstern, S., 2010. Greenhouse gas emissions from European soils under different land use: effects of soil moisture and temperature. *Eur. J. Soil Sci.* 61(5), 683–696
- Davidson, E. A., Belk, E., & Boone, R. D. (1998). *Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. Global Change Biology, 4(2)*, 217–227. doi:10.1046/j.1365-2486.1998.00128.x
- Garten CT, Classen AT, Norby RJ (2009) Soil moisture surpasses elevated CO₂ and temperature as a control on soil carbon dynamics in a multi-factor climate change experiment. *Plant Soil* 319(1–2):85–94
- Conant, R. T., Paustian, K., & Elliott, E. T. (2001). *Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. Ecological Applications, 11(2)*, 343–355. doi:10.1890/1051-0761(2001)011[0343:gmagic]2.0.co;2
- Stoyan, H., De-Polli, H., Böhm, S., Robertson, G. P., & Paul, E. A. (2000). *Plant and Soil, 222(1/2)*, 203–214. doi:10.1023/a:1004757405147
- Xu, M., & Qi, Y. (2001). *Soil-surface CO₂ efflux and its spatial and temporal variations in a young ponderosa pine plantation in northern California. Global Change Biology, 7(6)*, 667–677. doi:10.1046/j.1354-1013.2001.00435.x.