



Variação do CO₂ atmosférico e do efluxo de CO₂ do solo em iPF na Amazônia

Caio dos Anjos Pantoja¹, Alessandro Carioca de Araújo^{2(*)}, Emanuely Melo de Oliveira Mendes³, Cleo Marcelo de Araujo Souza², Alailson Venceslau Santiago², Julie Andrews de França e Silva⁴, Wander Luiz da Silva Ataíde⁴, Célia Maria Braga Calandrini de Azevedo², Giselle Nerino Brito de Souza⁵ e Joberta Cardoso Pastana Yakuwa⁴

¹Universidade do Estado Pará. Travessa Dr Éneas Pinheiro, Marco, CEP 66095-015 Belém, PA. E-mail: pantojacaio1@gmail.com(*)

²Embrapa Amazônia Oriental. Travessa Dr Éneas Pinheiro, Curió Utinga, CEP 66095-903 Belém, PA. E-mails: alessandro.araujo@embrapa.br, cleo.souza@embrapa.br, alailson.santiago@embrapa.br e celia.azevedo@embrapa.br

³Universidade Federal do Pará. Rua Augusto Corrêa, Guamá, CEP 66073-040 Belém, PA. E-mail: emanuellymelo@yahoo.com.br

⁴Universidade Federal Rural da Amazônia. Avenida Perimetral, Terra Firme, CEP 66077-830 Belém, PA. E-mail: julie_franca@hotmail.com, wander_luiz7@yahoo.com.br e jopastana@hotmail.com

⁵Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Avenida André Araújo, Petrópolis, CEP 69067-375 Manaus, AM. E-mail: gisellenerino@gmail.com

(*)Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 5 de novembro de 2019

Aceito em 4 de março de 2020

Termos para indexação:

mogno

teca

pastagem

respiração do solo

velocidade do vento

RESUMO

O estudo teve como objetivo quantificar a concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera ([CO₂]) e estimar o efluxo de CO₂ do solo (E_{solo}) em um sistema de integração pecuária-floresta (iPF) no leste da Amazônia. Campanhas intensivas de 24 horas de medidas foram conduzidas nos períodos: (i) menos chuvoso de 2016, 2017 e 2018; (ii) chuvoso de 2017 e 2018, e, (iii) transição do chuvoso para menos chuvoso de 2017 e 2018, no município de Terra Alta, nordeste do Pará. Sistema de medição da [CO₂] foram instalados em espécies florestais e na pastagem, e pontos no renque florestal e pastagem foram selecionados para a medição do E_{solo}. Uma torre meteorológica automática foi instalada na área para a obtenção de dados ancilares. A [CO₂] apresentou variação temporal com menores valores durante o dia e maiores durante a noite. Houve maior [CO₂] no período chuvoso e na transição do período chuvoso para menos chuvoso comparado ao menos chuvoso. O E_{solo} foi maior no interior do renque florestal e apresentou as maiores medidas no mesmo período que a [CO₂]. A velocidade do vento e E_{solo} atuam de maneira diferente sobre a [CO₂] a depender do período.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

As atividades humanas vêm alterando o uso e a cobertura da terra – resultando em intenso desflorestamento, acarretando no aumento dos gases de efeito estufa (GEE) que produzem impactos climáticos regionais e globais

(Cordeiro et al, 2011). No ano de 2010, no Brasil, a conversão de florestas para outros usos da terra, principalmente para uso agrícola, foi responsável pela emissão de 40,6% de CO₂ deste período (MCTI, 2016). Com o aumento dos GEE na atmosfera, prevê-se um aumento de 1,8°C a 4°C na temperatura média do planeta até 2100 (IPCC, 2014).

O setor agrícola tem sido confrontado para diminuir os impactos das suas atividades no ambiente. Dentre esses, destacam-se a degradação das pastagens, a queda na produtividade de lavouras, decorrente do empobrecimento do solo e da cobertura vegetal, e o aumento da incidência de pragas, como consequência do manejo inadequado das culturas (Kichel et al., 2011). Com a finalidade de minimizar esses impactos, têm-se investido na associação de espécies florestais com pastagens e lavouras, sobretudo em regiões agropastoris com grande fragmentação e afastamento de remanescentes florestais naturais ou com pastagens degradadas (Porfírio-da-Silva, 2006).

O sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) é uma estratégia ambiental sustentável que se apresenta como viável para o desenvolvimento agrícola, pastoril e silvicultor. Este tipo de sistema contempla quatro modalidades: integração lavoura-pecuária (iLP); integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF); integração pecuária-floresta (iPF); integração lavoura-floresta (iLF) (Balbino et al., 2011). De acordo com esses autores alguns dos benefícios que o sistema iLPF proporciona são: 1) fixação de carbono; 2) redução dos GEE; 3) biorremediação do solo; 4) melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo devido ao aumento da matéria orgânica do solo; 5) redução de perdas de produtividade; 6) aumento do bem-estar animal em decorrência do maior conforto térmico e 7) ampliação do balanço positivo de energia.

Com relação aos GEE, especificamente o CO₂, sabe-se que os ecossistemas vegetados o absorvem durante a fotossíntese, e o liberam durante a respiração autotrófica e heterotrófica. As taxas de fotossíntese, respiração e decomposição do ecossistema variam diariamente e sazonalmente, em resposta às interações entre o ambiente físico (e.g., irradiância, temperatura, vento) e fisiologia da biota (e.g., fenologia vegetal e metabolismo basal microbiano) (Goulden et al., 2004). Ao diversificar as atividades da agricultura e pecuária em consórcio com o componente arbóreo ou florestal, são promovidas alterações no microclima, no uso da água e do solo. Por exemplo, a introdução de árvores em altera o balanço de radiação e a velocidade do vento (Lulu et al., 2019). Atenuação da radiação incidente sobre o solo e diminuição da temperatura são efeitos dessas alterações. Por essa razão, também são esperadas mudanças no efluxo de CO₂ do solo (E_{solo}) e na concentração do CO₂ atmosférico ([CO₂]).

Nesse contexto, medir a [CO₂] e o E_{solo} é importante para o estabelecimento de parâmetros mínimos que permitam corroborar os benefícios ambientais do sistema iLPF. Esse estudo teve por objetivo quantificar a [CO₂] em várias alturas acima do solo no componente arbóreo e da pastagem, e estimar E_{solo} em um sistema iPF no leste da Amazônia.

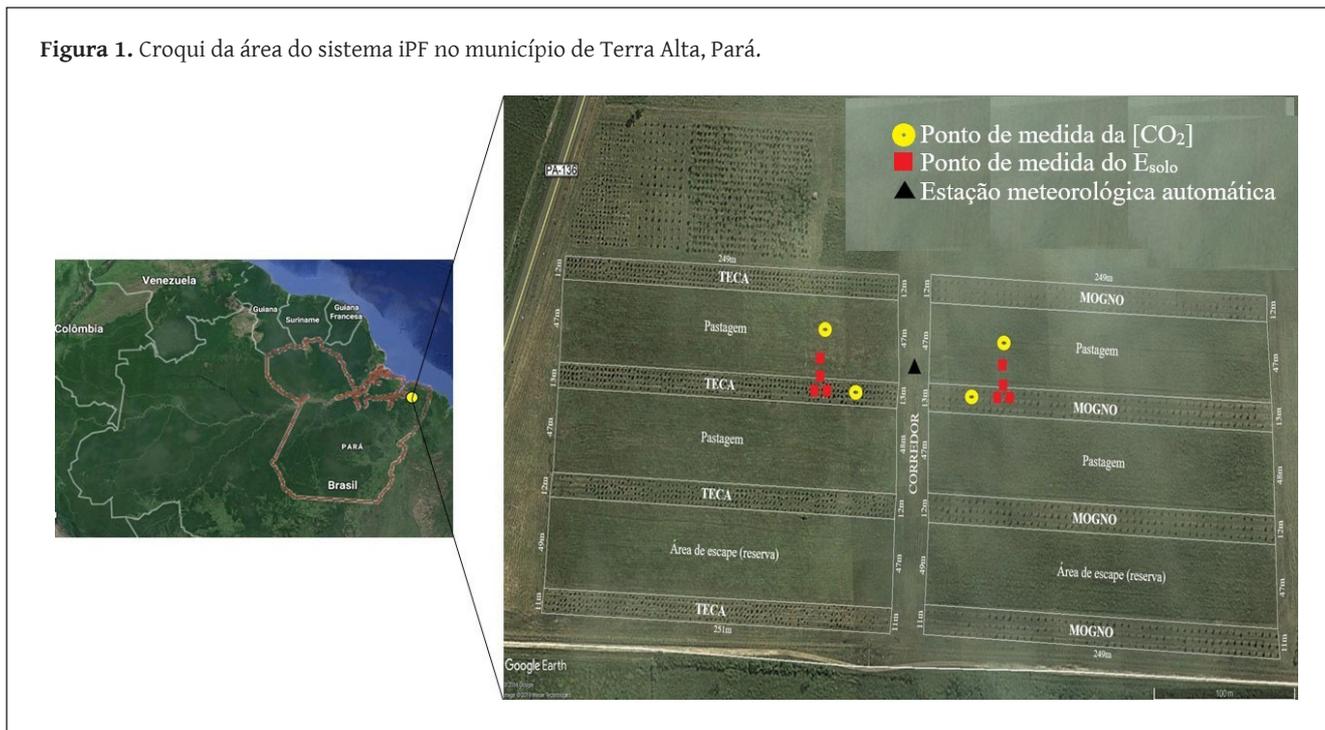
Material e métodos

O local de estudo pertence à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que fica localizada no km 33 da rodovia estadual Castanhal-Curuçá (PA-136), no município de Terra Alta, Pará. A altitude média do local é de 47 m, e as coordenadas geográficas são: 01° 01' 36,60" S e 047° 53' 58" O. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Am (clima tropical úmido), caracterizado por temperatura e precipitação anuais elevadas, com período de escassez de chuva relativamente curto (BASTOS, 1972). O solo da área de estudo foi classificado como Argissolo Amarelo Distrófico, textura arenosa/média (Gama et al., 2000).

Em fevereiro de 2009, dois sistemas iLPF foram instalados nessa área. Um sistema foi implantado com mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.), como componente florestal, e o outro com teca (*Tectona grandis* L. f.) (Luz, 2019). Ambas as espécies foram estabelecidas em quatro faixas (renques) com espaçamento de 50 m entre as mesmas (Figura 1). Os renques de teca são compostos por quatro linhas de plantio, com espaçamento de 3 x 3 m. E, os de mogno africano, são compostos por três linhas de plantio com espaçamento 5 x 5 m. Desde de 2013, a componente lavoura não faz mais parte desses sistemas. Por esta razão, tratam-se agora de iPF, compostos por quatro renques de espécies arbóreas, cada, sendo um com mogno (iPF-M) e o outro com teca (iPF-T). Entre os renques das espécies florestais, foram implantadas seis parcelas de pastagem de aproximadamente 1.2 ha cada (Luz, 2019). A pastagem foi formada com a gramínea forrageira *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) R. Webster cv. BRS Piatã [syn. 125 *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. BRS Piatã].

As medidas do perfil vertical da [CO₂] foram realizadas de acordo com Araújo et al (2008). Os perfis foram instalados em um único exemplar de cada espécie florestal, escolhido de maneira sistematizada. Ou seja, escolheu-se uma árvore do terceiro renque de cada iPF, localizado na linha central e distante cerca de 20 m da faixa que separa os dois sistemas (Figura 1). O ar foi amostrado a partir de quatro níveis acima do solo no iPF-T (7.7, 4.4, 2.4, 0.5 m) e iPF-M (9.1, 6.1, 2.2, 0.5 m). A [CO₂] foi medida por um sistema que consistia de: quatro tubos de poliuretano de comprimentos variáveis, para cada exemplar de espécie florestal; um analisador de gás por infravermelho (IRGA, na sigla inglês) (LI-820, LI-COR Inc., Lincoln, NE, EUA); uma micro bomba de ar (NMP850KNCDB, KNF Neuberger, Freiburg, Alemanha), utilizada para trazer as amostras de ar da altura de coleta até o IRGA; um filtro de ar (ACRO 50 PTFE 1 µm; Gelman, Ann Arbor, Michigan, EUA) instalado antes da entrada de ar do IRGA para evitar a entrada de micropartículas; e, um microcomputador portátil para realizar

Figura 1. Croqui da área do sistema iPF no município de Terra Alta, Pará.



as leituras e registro dos dados. As medições duravam cerca de 120 segundos, dos quais 60 segundos eram utilizados para expurgo, e os 60 segundos restantes para o registro dos valores das $[CO_2]$, que era realizado a cada 10 segundos ($n=6$). As medidas ocorreram a intervalos de aproximadamente 1 hora, exceto nos períodos das 17:30 – 21:00 e 05:30 – 09:00 horas, que ocorreram a cada 30 minutos, para se obter maior densidade de observações da $[CO_2]$ ao anoitecer e amanhecer.

Para a obtenção de dados ancilares foi instalada uma estação meteorológica automática no corredor que separa os dois sistemas iPF, composta por: um conjunto de anemômetro e anemoscópio (Wind Sentry Anemometer, R.M. Young Company, Traverse City, Michigan, EUA) para medição da velocidade e direção do vento; um piranômetro (SP-110, Apogee Instruments Inc., Logan, Utah, EUA) para medição da radiação solar; um termohigrômetro (CS215, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, EUA) para medição da temperatura e umidade do ar; um pluviômetro (TB4, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, EUA) para medição da quantidade de chuva e um microcontrolador eletrônico (CR300, Campbell Scientific Inc., Logan, Utah, EUA) para realizar as leituras dos instrumentos e registrá-las a cada 1 minuto, a partir dessas leituras, médias foram obtidas na base de tempo de 30 minutos.

As medições do E_{solo} foram realizadas em quatro pontos no iPF-M e iPF-T: (i) base da planta no renque (BP); (ii) entre plantas no renque (EP); (iii) transição do renque florestal para pastagem (T); e, (iv) pastagem (P). Utilizou-se um sistema dinâmico fechado (EGM-4, PP Systems, Amesbury, Massachusetts, EUA) conectado a uma câmara de respiração do solo (SRC-1, PP Systems, Amesbury, Massachuset-

ts, EUA) e a uma sonda de temperatura do solo (STP-1, PP Systems, Amesbury, Massachusetts, EUA). Em cada ponto amostral, foi inserido no solo, a cerca de 60 dias antes de iniciar a pesquisa, um tubo de PVC com dimensões de 0,1 x 0,05 m para promover um selo entre a câmara de respiração do solo e o solo. Estimou-se E_{solo} a partir da equação estabelecida por Metcalfe et al. (2007) (equação 1):

$$E_{solo} = \frac{\Delta C}{\Delta T} \times \frac{P}{1000} \times \frac{273}{t + 273} \times \frac{44.01}{22.41} \times \frac{V_{ch}}{A} \quad (1)$$

onde, E_{solo} é o efluxo de CO_2 do solo em $g CO_2 m^{-2} h^{-1}$ que multiplicada pelo fator de conversão 6.312 foi transformada para $\mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$; $\Delta C/\Delta T$ é a variação da $[CO_2]$ no interior da câmara (ppm) por unidade de tempo (s); P é a pressão atmosférica (Pa); t é a temperatura do solo ($^{\circ}C$); V_{ch} é o volume total do interior da câmara (m^3); e, A é a área do solo coberto pela câmara (m^2).

As campanhas intensivas tiveram a duração de aproximadamente 24 horas, durante os períodos: (i) menos chuvoso (17-18/11/2016; 16-17/11/2017 e 8-9/11/2018); (ii) chuvoso (12-13/04/2017 e 5-6/04/2018); e, (iii) transição do chuvoso para menos chuvoso (06-07/07/2017 e 05-06/07/2018). Para a interpretação dos dados e elaboração dos gráficos foram utilizados os programas Excel 14.0 (Office 2010, Microsoft, Redmond, WA, EUA) e SigmaPlot 11.0 (SYSTAT Inc., San Jose, CA, EUA).

Resultados e discussão

A $[CO_2]$ apresentou uma variação temporal bem distinta. Por exemplo, menores valores foram observados duran-

te o dia, e maiores durante à noite, em ambos os renques florestais e em todas as campanhas (Figuras 2, 3 e 4). Foi observada a ausência de um gradiente entre os diferentes níveis durante o dia, e os valores da $[CO_2]$ variaram na faixa de 360-380 ppm. Diferentemente, durante à noite foi observada uma estratificação, na qual os níveis mais próximos da superfície (0.5 – 2.0 m) apresentaram maiores valores da $[CO_2]$ do que os demais. Durante as campanhas de abril e julho (Figuras 2 e 3), a partir das 18:00 horas, a $[CO_2]$ começou a aumentar em todos os níveis. Excetuando a campanha de abril de 2017 (Figura 2a, c), ao amanhecer (entre 05:00 e 06:00 horas), foram registrados os valores máximos da $[CO_2]$, que foram próximos e até superiores a 800 ppm. Adicionalmente, as maiores variações da $[CO_2]$ foram observadas no perfil do mogno africano, e em al-

guns casos, notadamente nos níveis mais próximos da superfície. Nas campanhas de novembro (Figura 4), a $[CO_2]$ começou a aumentar em todos os níveis no intervalo entre 20:00 e 22:00 horas. As maiores $[CO_2]$ foram registradas novamente ao amanhecer, e os valores atingiram cerca de 600 ppm. Novamente, as maiores variações foram observadas no perfil do mogno africano. Logo após o amanhecer, as $[CO_2]$ decresceram rapidamente até atingirem os menores valores e uma uniformidade foi estabelecida nos perfis verticais. Nas campanhas de abril e julho, a ausência de um gradiente entre os vários níveis ocorreu entre as 08:30 e 09:30 horas (Figuras 2 e 3). E, nas campanhas de novembro, isso foi observado um pouco mais cedo, entre 06:30 e 08:30 horas (Figura 4).

Assim como a $[CO_2]$, a radiação solar e a velocidade do

Figura 2. Variação temporal do perfil vertical da $[CO_2]$ durante as campanhas realizadas nos meses de abril (no período chuvoso) de 2017 e 2018 em renques de mogno africano (A, B) e teca (C, D).

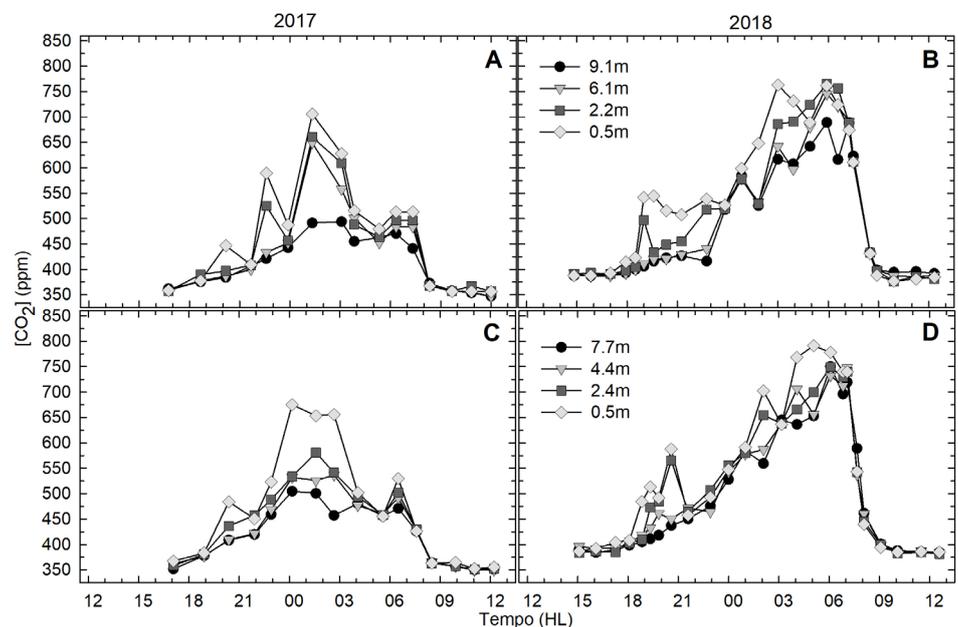


Figura 3. Variação temporal do perfil vertical da $[CO_2]$ durante as campanhas realizadas nos meses de julho (no período entre chuvoso e menos chuvoso) de 2017 e 2018 em renques de mogno africano (A, B) e teca (C, D).

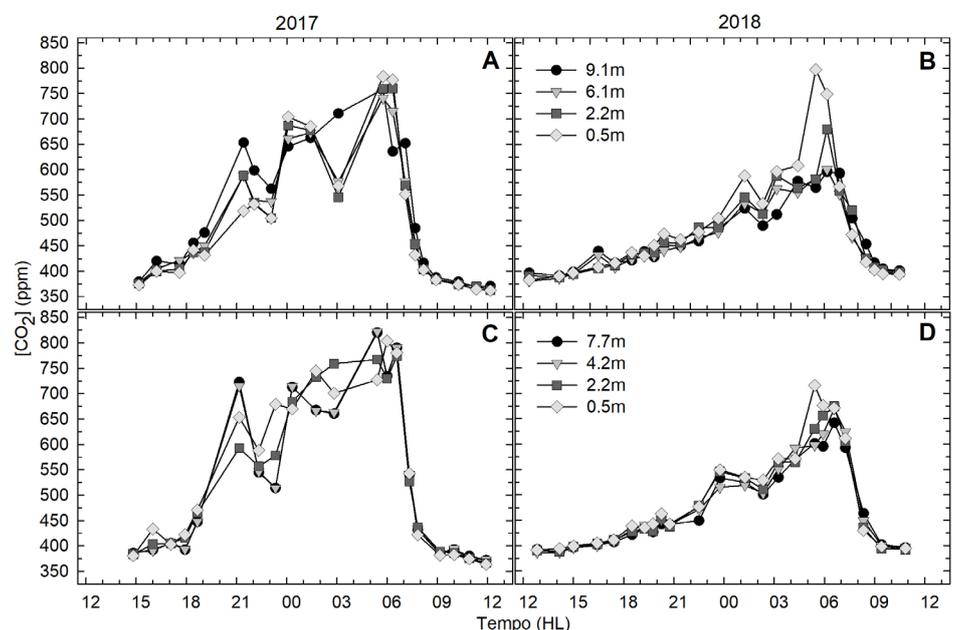
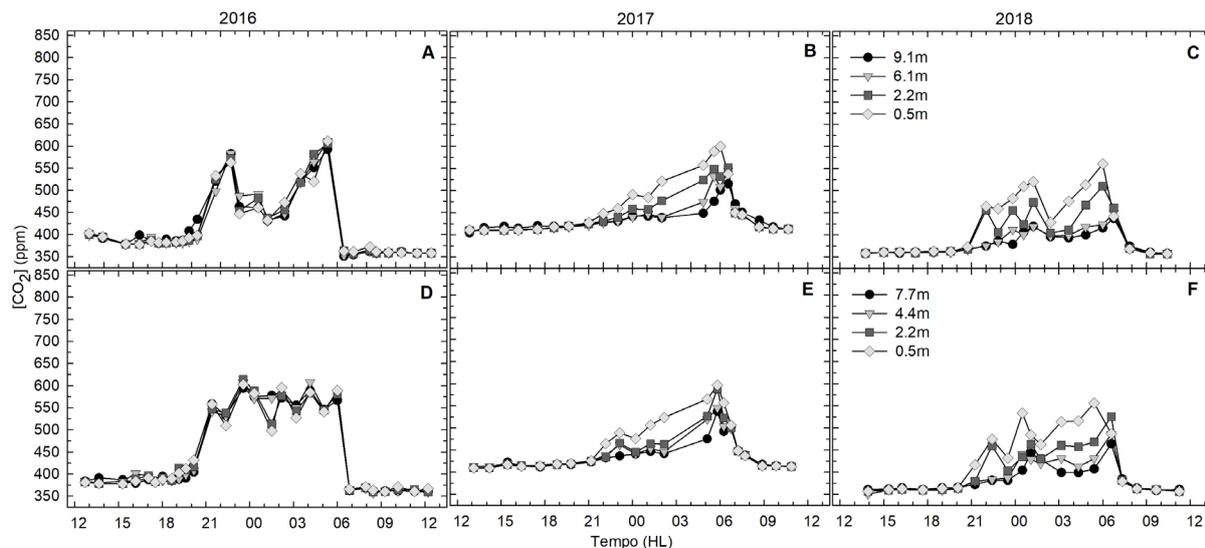


Figura 4. Variação temporal do perfil vertical da $[CO_2]$ durante as campanhas realizadas nos meses de novembro (no período menos chuvoso) de 2017 e 2018 em renques de mogno africano (A, B, C) e teca (D, E, F).



vento também apresentaram variação temporal. Os maiores valores de radiação solar foram observados próximo às 12:00 horas. E, durante as campanhas de abril (Figura 5a, b) e novembro de 2016 (Figura 6a), atingiram cerca de $900-1200 W m^{-2}$. No período diurno, a velocidade do vento foi maior durante as campanhas de novembro de 2017 e 2018 (Figura 6b, c), com valores médios superiores a $2 m s^{-1}$. Durante o período noturno, a velocidade do vento apresentou valores muito baixos e na maioria das vezes, constante e próximo a $0 m s^{-1}$. Isso se deve ao fato do limiar ou valor de entrada do anemômetro ser alto (cerca de $0.5 m s^{-1}$). Entretanto, foram observados ventos intermitentes com velocidades variando entre $0-2 m s^{-1}$ (Figuras 5 e 6). Particularmente nas campanhas de novembro, a velocidade do vento apresentou valores médios próximos de, e superiores a $2 m s^{-1}$ no intervalo entre as 18:00 e 22:00 horas (Figura 6).

O E_{solo} apresentou uma variação espacial e temporal. Os valores observados próximos à BP e EP foram consistentemente maiores do que àqueles em P e T, nessa ordem (Figuras 7, 8 e 9). Entretanto, houve campanhas durante as quais essa ordem não foi observada. Por exemplo, nas campanhas de novembro, observou-se que E_{solo} em P apresentou valores superiores a T, e até mesmo similares à BP (Figura 9). Na média geral, os maiores valores de E_{solo} foram observados no iPF-M. O E_{solo} apresentou características distintas para os períodos diurnos e noturnos. Durante à noite, os valores de E_{solo} apresentaram uma grande variação, particularmente no intervalo de 18:30 – 20:00 horas. Após esse intervalo, E_{solo} ou manteve-se muito estável ou decresceu uniformemente, até atingir um mínimo próximo ao amanhecer (Figuras 7, 8 e 9). Em função da variação observada no período diurno, os resultados são apresentados em dois intervalos de tempo: tarde (12:30 – 18:00

horas) e manhã (06:30 – 12:00 horas). Durante a parte da tarde, foi observado um decréscimo de E_{solo} (Figuras 7, 8 e 9). Entretanto, na campanha de novembro de 2017, durante a qual ocorreu um evento de precipitação próximo às 15:00 horas, houve um aumento de E_{solo} (Figura 9b, e). Pela manhã, houve um incremento dos valores de E_{solo} , notadamente durante as campanhas de abril e julho (Figuras 7, 8 e 9). Sazonalmente, E_{solo} foi maior nas campanhas de abril e julho. E, dependendo do ano, os valores observados nessas campanhas foram cerca de 2-3 vezes maiores do que aqueles das campanhas de novembro.

A radiação solar e a velocidade do vento aumentaram pela manhã e diminuíram pela tarde. Concomitantemente, durante o dia, os valores da $[CO_2]$ diminuíram atingindo os seus valores mínimos. Esse comportamento é esperado nesse período em função, principalmente, do desenvolvimento de dois processos (físico e biótico), a turbulência e a fotossíntese, que concorrem para a diminuição da $[CO_2]$ (Araújo et al., 2008, 2010). Portanto, indicativo de que há uma interconectividade entre vetor e escalar, e que neste caso, trata-se de uma relação inversa entre a $[CO_2]$ e a velocidade do vento. Isso foi reportado para área de pastagem no estado de Rondônia, onde, de acordo com Silva Jr. et al. (2004), durante o dia ocorreu uma mistura no interior da camada limite convectiva, implicando na diminuição da $[CO_2]$. Os perfis obtidos nas pastagens entre os renques de mogno e teca desse estudo, exibiram comportamento similar ao descrito por esses autores (Figura 10). Além disso, a $[CO_2]$ também diminui durante o dia, em função da produção de CO_2 (e.g., respiração) ser suplantada pela atividade fotossintética, que consome o CO_2 presente na atmosfera (Dos Santos, 1999). De modo similar, esse processo já foi descrito para área de floresta (Buchmann et al., 1997; Araújo et al., 2008).

Figura 5. Variação temporal da velocidade do vento (linha contínua) e radiação solar (linha tracejada) durante as campanhas realizadas nos meses abril (A, B) e julho (C, D) de 2017 e 2018. As medidas foram obtidas em um corredor que separa os dois sistemas iPF (Figura 1).

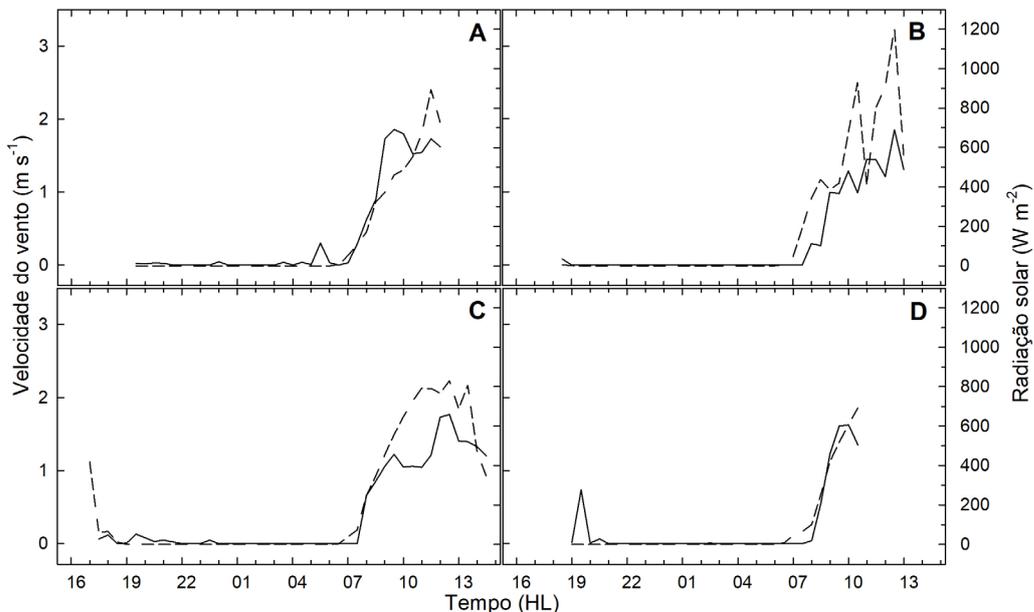


Figura 6. Variação temporal da velocidade do vento (—) e radiação solar (---) durante as campanhas realizadas nos meses de novembro de 2016 (a), 2017 (b) e 2018 (c). As medidas foram obtidas em um corredor que separa os dois sistemas iPF (Figura 1).

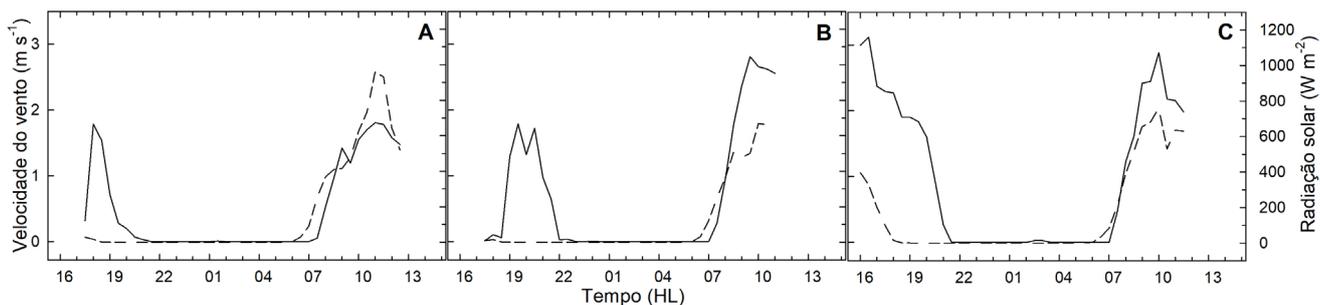


Figura 7. Variação temporal do E_{solo} durante as campanhas realizadas nos meses de abril de 2017 e 2018 no iPF-M (A, B) e iPF-T (C, D). Legenda: BP (base da planta); EP (entre plantas); T (transição); P (pastagem).

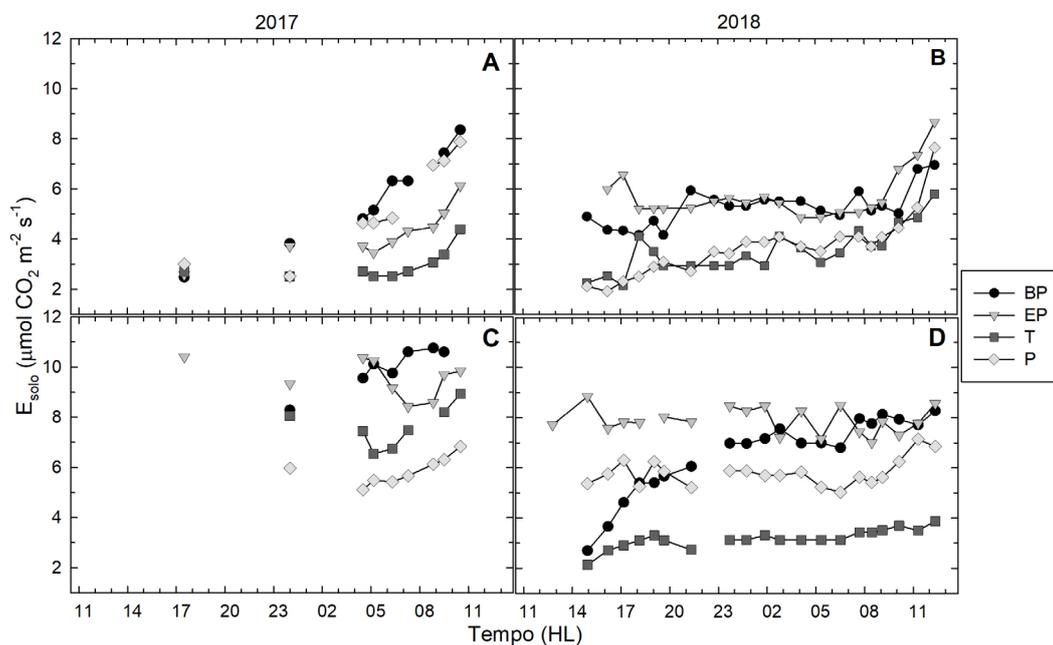


Figura 8. Variação temporal do E_{solo} durante as campanhas realizadas nos meses de julho 2017 e 2018 no iPF-M (A, B) e iPF-T (C, D). Legenda: BP (base da planta); EP (entre plantas); T (transição); P (pastagem).

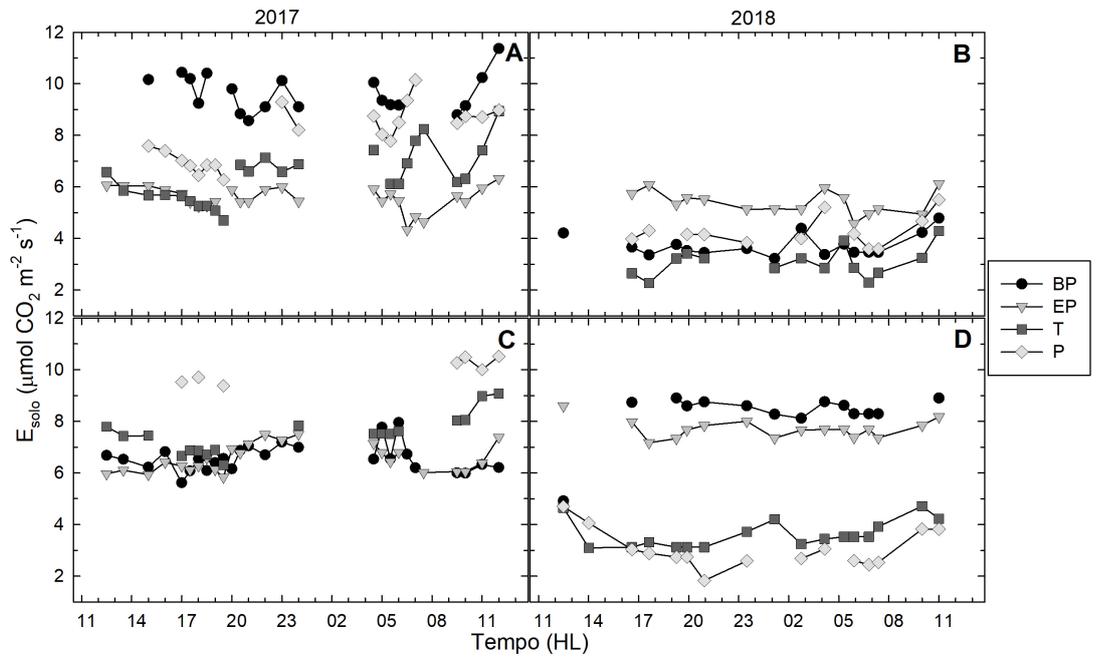


Figura 9. Variação temporal do E_{solo} durante as campanhas realizadas nos meses de novembro de 2016, 2017 e 2018 no iPF-M (A, B, C) e iPF-T (D, E, F). Legenda: BP (base da planta); EP (entre plantas); T (transição); P (pastagem).

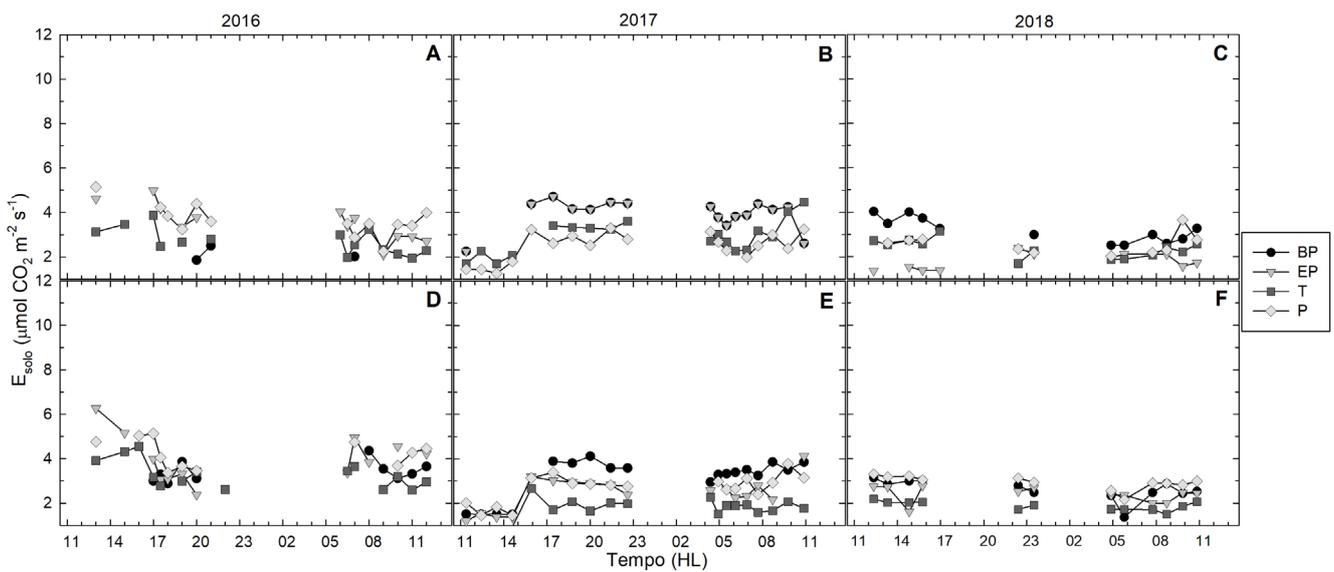
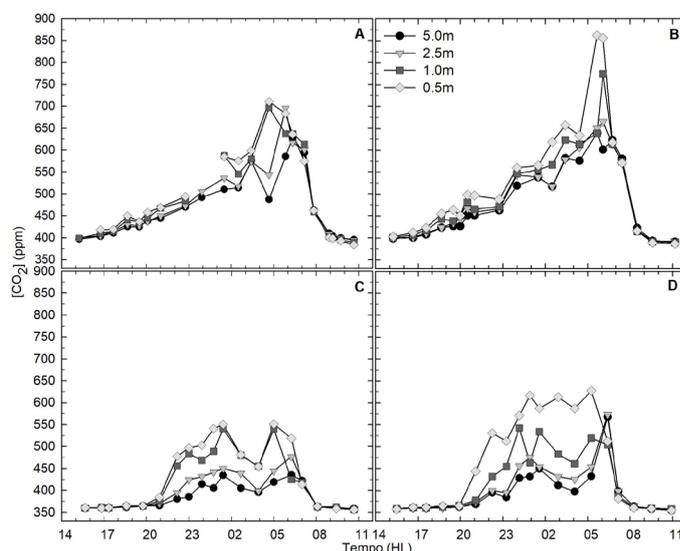


Figura 10. Variação temporal do perfil vertical da $[CO_2]$ durante as campanhas realizadas nos meses de julho (A, B) e novembro (C, D) de 2018 na pastagem de iPF-M e iPF-T.



Durante à noite, a velocidade do vento diminuiu, e o processo que concorre pelo CO_2 atmosférico, a fotossíntese, deixa de ocorrer. Por esta razão, o processo biótico da respiração (autotrófica e heterotrófica) passa a ter uma contribuição significativa para o aumento da $[\text{CO}_2]$. Em áreas de floresta e de pastagem, a camada de inversão que é formada a partir do resfriamento térmico da superfície, suprime as trocas entre esta e o ar acima (Silva Jr. et al., 2004; Araújo et al., 2008). Ou seja, a redução significativa da atividade convectiva, combinada com o domínio do processo de respiração dos vários compartimentos do ecossistema (e.g., folha, tronco, galho, solo, raízes, liteira) implica em maiores valores da $[\text{CO}_2]$ durante à noite. As $[\text{CO}_2]$ registradas nos níveis mais baixos e próximos da superfície do solo foram predominantemente maiores do que as demais. Isso pode ser explicado através dos seguintes fatores: i) o solo pode ser o compartimento que mais contribui (cerca de 50%) com a emissão de CO_2 do ecossistema (Chambers et al., 2004); ii) mistura turbulenta fraca ou inexistente; e, iii) desacoplamento dessa camada de ar com aquela imediatamente acima (Kruijt, 1996; Gallon et al., 2006).

Nas campanhas em que durante à noite foi registrada a ocorrência de vento, os incrementos da $[\text{CO}_2]$ iniciaram mais tarde e os valores máximos foram os menores quando comparados aos das outras campanhas. Particularmente, isso foi observado nas campanhas conduzidas em novembro, quando a velocidade do vento no início da noite foi maior e influenciou a $[\text{CO}_2]$ (Figuras 4 e 6). A maior velocidade do vento está relacionada com a instabilidade atmosférica, e em noites menos estáveis o CO_2 não é armazenado sob o dossel, sendo então liberado (Malhi et al., 1998). Como mencionado anteriormente, o solo pode contribuir com cerca de 50% da emissão de CO_2 do ecossistema. Ou seja, E_{solo} é uma fonte extremamente importante para a $[\text{CO}_2]$ durante à noite. Adicionalmente, os menores valores de E_{solo} também foram observados durante essas campanhas, que ocorreram nos períodos menos chuvosos (Figura 9). Diferentemente, Buchmann et al. (1997) e Araújo et al. (2008, 2010) encontraram maiores $[\text{CO}_2]$ no período menos chuvoso em área de floresta nas partes central e setentrional da Amazônia, respectivamente. Para Buchmann et al. (1997), maior E_{solo} nesse período estaria relacionado com a não saturação do espaço poroso do solo por água, que facilita a difusão de CO_2 no solo e a aumenta a atividade microbiana. Em contrapartida, Araújo et al. (2008, 2010), argumentam que camadas de inversão mais fortes e menores velocidades do vento nesse período seriam a explicação. Segundo Pacheco e Bastos (2001), a velocidade média do vento foi maior no período menos chuvoso em estudo conduzido no município de Capitão Poço, no nordeste paraense. Resultado similar foi obtido por Oliveira et al. (2015) e Fonseca et al. (2018), no município de Mojú, distante cerca de 130 km ao sul do local desse estudo.

Menores valores de E_{solo} , observados nas campanhas do mês de novembro, podem estar relacionados com a menor taxa de decomposição de matéria orgânica. Essa é uma característica para períodos mais secos que influencia E_{solo} (Gallon et al., 2006). Nessas campanhas, foi observado que o dossel dos renques de teca estava em processo de senescência das folhas. Notadamente, havia sobre o solo uma camada espessa formada pelo acúmulo das folhas caídas. No estado do Acre, nos meses de menor precipitação, foi observado que os plantios de teca se encontravam em plena senescência (Figueiredo, 2001). As campanhas realizadas nos meses de abril (período chuvoso) e julho (transição de período chuvoso para menos chuvoso) obtiveram os maiores valores de E_{solo} . Isso pode estar relacionado com o acúmulo de serapilheira do período seco, que combinado com a maior umidade favorece o processo de decomposição da matéria orgânica, contribuindo dessa maneira para o aumento de E_{solo} (Silva et al., 2016; Zanchi et al., 2014).

Conclusão

As maiores $[\text{CO}_2]$ foram observadas durante a noite (próximo ao amanhecer), e as menores durante o dia (próximo do final da manhã). O perfil instalado no renque de mogno apresentou as maiores variações e também os maiores valores da $[\text{CO}_2]$. As campanhas que ocorreram nos períodos chuvosos, e de transição entre chuvoso e menos chuvoso, registraram as maiores $[\text{CO}_2]$.

E_{solo} foi maior no interior do renque florestal (BP e EP) do que na borda (T) e na pastagem entre renques (P). Entre as posições investigadas, os maiores valores de E_{solo} foram registrados no iPF-M. Assim como para a $[\text{CO}_2]$, as campanhas que ocorreram nos períodos chuvoso, e de transição entre chuvoso e menos chuvoso, tiveram os maiores valores de E_{solo} .

E_{solo} e velocidade do vento foram variáveis que contribuíram de maneira diferente para a $[\text{CO}_2]$. No período menos chuvoso, houve uma redução de E_{solo} e aumento da velocidade do vento, e menores valores da $[\text{CO}_2]$. Nesse período, há uma predominância do processo físico sobre o biótico. O contrário foi observado nas demais campanhas, quando E_{solo} aumentou, a velocidade do vento diminuiu, e $[\text{CO}_2]$ aumentou.

A compreensão das variabilidades temporal e espacial dos processos e fatores que controlam e modulam as emissões dos GEE em sistemas integrados, particularmente, o iPF, contribui com a construção de uma base de conhecimentos básicos, necessária para propor mudanças ao manejo que é adotado tradicionalmente. Finalmente, colabora para mitigar essas emissões, na busca pela sustentabilidade ambiental do modelo agrícola que está sendo proposto para recuperar áreas degradadas na Amazônia.

Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa de iniciação científica e à Embrapa Amazônia Oriental pelo suporte logístico, instrumental, técnico e científico.

Referências

- ARAÚJO, A. C. de; DOLMAN, A. J.; WATERLOO, M. J.; GASH, J. H. C.; KRUIJT, B.; ZANCHI, F. B.; LANGE, J. M. E. de; STOEVELAAR, R.; MANZI, A. O.; NOBRE, A. D.; LOOTENS, R. N.; BACKER, J. The spatial variability of CO₂ storage and the interpretation of eddy covariance fluxes in central Amazonia. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 150, n. 2, p. 226-237, 2010.
- ARAÚJO, A. C. de; KRUIJT, B.; NOBRE, A. D.; DOLMAN, A. J.; WATERLOO, M. J.; MOORS, E. J.; SOUZA, J. S. de. Nocturnal accumulation of CO₂ underneath a tropical forest canopy along a topographical gradient. *Ecological Applications*, v. 18, n. 6, p. 1406-1419, 2008.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. de; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1-12, 2011.
- BASTOS, T. X. **O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazônia brasileira.** In: Instituto de Pesquisa Agropecuária do Norte (org). Zoneamento agrícola da Amazônia - 1ª aproximação. Belém, 1972. p.68-122.
- BUCHMANN, N.; GUEHL, J. M.; BARIGAH, T. S.; EHLERINGER, J. R. Interseasonal comparison of CO₂ concentrations, isotopic composition, and carbon dynamics in an Amazonian rainforest (French Guiana). *Oecologia*, v. 110, n. 1, p. 120-131, 1997.
- CHAMBERS, J. Q.; TRIBUZY, E. S.; TOLEDO, L. C.; CRISPIM, B. F.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J. D.; ARAÚJO, A. C. de; KRUIJT, B.; NOBRE, A. D.; TRUMBORE, S. E. Respiration from a tropical forest ecosystem: partitioning of sources and low carbon use efficiency. *Ecological Applications*, v. 14, n. sp4, p. 72 - 88, 2004.
- CORDEIRO, L. A. M.; ASSAD, E. D.; FRANCHINI, J. C.; SÁ, J. C. de M.; LANDERS, J. N.; AMADO, T. J. C.; RODRIGUES, R. de A. R.; ROLOFF, G.; BLEY JÚNIOR, C.; ALMEIDA, H. G.; MOZZER, G. B.; BALBINO, L. C.; GALERANI, P. R.; EVANGELISTA, B. A.; PELLEGRINO, G. Q.; MENDES, T. de A.; AMARAL, D. D. do; RAMOS, E.; MELLO, I.; RALISCH, R. **O Aquecimento Global e a Agricultura de Baixa Emissão de Carbono.** Brasília: MAPA/EMBRAPA/FEBRAPDP, v. 1, p. 75, 2011.
- DOS SANTOS, E. O. **Contribuição ao estudo do fluxo de dióxido de carbono dentro da floresta amazônica.** 1999. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) -Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- FIGUEIREDO, E. O. **Reflorestamento com teca (*Tectona grandis* LF) no estado do Acre.** Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 28 p. (Embrapa Acre. Documentos: 65).
- FONSECA, L. C. N.; ARAÚJO, A. C. de; MANZI, A. O.; CARVALHO, C. J. R. de. OLIVEIRA, L. R. de. Fluxos de CO₂ em plantio de palma de óleo no leste da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 33, n. 1, p. 181 - 192, 2018.
- GALLON, M. M. P.; SANCHES, L.; PAULO, S. R. de. Fluxo e perfil de dióxido de carbono no dossel uma floresta tropical de transição amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3, p. 79-88, 2006.
- GAMA, J. R. N. F.; RODRIGUES, T. E.; CARDOSO JUNIOR, E. Q. **Levantamento dos solos e uso atual do Campo Experimental de Terra Alta, Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 34p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos: 45).
- GOULDEN, M. L.; MILLER, S. D.; da ROCHA, H. R.; MENTON, M. C.; FREITAS, H. C.; FIGUEIRA, A. M. S.; SOUSA, C. A. D. Diel and seasonal patterns of tropical forest CO₂ exchange. *Ecological Applications*, v.14, n.4 Supplement, p.S42-S54, 2004.
- 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.** Suíça, 2014.
- KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G.; COSTA, J. A. A. Pecuária sustentável com base na produção e manejo de forragem. In: CONGRESSO SOBRE MANEJO E NUTRIÇÃO DE BOVINOS DE CORTE, 10., 2011, Campo Grande, MS. **Anais...** Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 2011.
- KRUIJT, B.; Lloyd J.; Grace, J.; McINTYRE, J.A.; FARQUHAR, GRAHAM D.; MIRANDA, A. C.; McCracken, P. Sources and sinks of CO₂ in Rondonia tropical rainforest. In: GASH, J.H.C; NOBRE, CARLOS ALFONSO; ROBERT, J.M; VICTORIA, R.L. (Org.). **Amazonian deforestation and climate.** Chichester: John Wiley & Sons, 1996, cap. 19, p. 331-351.
- LULU, J.; MAGALHÃES, C.A.S.; ZOLIN, C.A. Microclima em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com foco em gado de leite no norte de Mato Grosso. In: FARIAS NETO, A.L. et al (Org.). **Embrapa Agrossilvipastoril: primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma Agropecuária Sustentável.** Brasília: Embrapa, 2019, cap. 27, p. 327-331.
- LUZ, S. M. **Produtividade, qualidade e nutrição nitrogenada de *Urochloa Brizantha* em pastagens sob lotação contínua em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta.** 2019. 86f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém.
- MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J.; KRUIJT, B.; PEREIRA, M. G. P.; CULF, A.; SCOTT, S.. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 103, n. D24, p. 31593-31612, 1998.
- METCALFE, D. B.; MEIR, P.; ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; COSTA, A. C. L. da; BRAGA, A.; GONÇALVES, P. H. L.; ATHAYDES, J. de; ALMEIDA, S. S. de; WILLIAMS, M. Factors controlling spatio-temporal variation in carbon dioxide efflux from surface litter, roots, and soil organic matter at four rain forest sites in the eastern Amazon. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, v. 112, n. G4, 2007.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INFORMAÇÃO. **Third National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change - Volume III.** Brasília, 2016.
- OLIVEIRA, B. C. S de; ARAÚJO, A. C. de; OLIVEIRA, L. R. de; MANZI, A. C. Caracterização da variação diária e sazonal do CO₂ atmosférico em cultivo da palma de óleo com híbridos interespecíficos (*Elaeis guineensis* X *Elaeis oleifera*) no leste da Amazônia. In: WORKSHOP BRASILEIRO DE MICROMETEOROLOGIA, 9. 2015, Santa Maria, RS. **Anais..** Santa Maria, RS: UFSM, 2015.
- PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. **Caracterização climática do município de Capitão Poço-PA.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 17p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos: 79).
- PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Arborização de pastagens: 1-procedimentos para introdução de árvores em pastagens convencionais.** Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 8 p. Comunicado técnico 155.
- SILVA, C. M. da; VASCONCELOS, S. S.; MOURÃO JÚNIOR, M.; BISPO, C. J. C.; KATO, O. R.; SILVA JÚNIOR, A. C. da; CASTELLANI, D. C.. Temporal variation of soil CO₂ efflux in oil palm-based agroforestry systems in eastern Amazon. *Acta Amazonica*, v. 46, n. 1, p. 1-12, 2016.
- SILVA JÚNIOR, R. S. da; MOURA, M. A. L.; MEIXNER, F. X.; KORMANN, R.; LYRA, R. F. da F.; NASCIMENTO FILHO, M. F. do. Estudo da concentração do CO₂ atmosférico em área de pastagem na região amazônica. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 22, n. 3, p. 259-270, 2004.
- ZANCHI, F. B.; MEESTERS, A. G.; WATERLOO, M. J.; KRUIJT, B.; KESSELMEIER, J.; LUIZÃO, F. J.; DOLMAN, A. J. Soil CO₂ exchange in seven pristine Amazonian rain forest sites in relation to soil temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.192-193, p. 96-107, 2014.

REFERENCIAÇÃO

PANTOJA, C. A.; ARAÚJO, A. C.; MENDES, E. M. O.; SOUZA, C. M. A.; SANTIAGO, A. V.; SILVA, J. A. F.; ATAIDE, W. L. S.; AZEVEDO, C. M. B. C.; SOUZA, G. N. B.; YAKUWA, J. C. P. Variação do CO₂ atmosférico e do efluxo de CO₂ do solo em iPF na Amazônia. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.27, n.1, p.81-91, set 2019.

Declaração: os trabalhos estão sendo publicados nesse número de AGROMETEOROS (v.27, n.1, set 2019) conforme foram aceitos pelo XXI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, realizado de 12 a 16 de agosto de 2019, em Catalão, Goiás, sem revisão editorial adicional da revista.



Variation of atmospheric CO₂ and soil CO₂ efflux in LFI in the Amazon

Caio dos Anjos Pantoja¹, Alessandro Carioca de Araújo^{2(*)}, Emanuelly Melo de Oliveira Mendes³, Cleo Marcelo de Araujo Souza², Alailson Venceslau Santiago², Julie Andrews de França e Silva⁴, Wander Luiz da Silva Ataíde⁴, Célia Maria Braga Calandrini de Azevedo², Giselle Nerino Brito de Souza⁵ and Joberta Cardoso Pastana Yakuwa⁴

¹Universidade do Estado Pará. Travessa Dr Éneas Pinheiro, Marco, CEP 66095-015 Belém, PA, Brazil. E-mail: pantojacaio1@gmail.com

²Embrapa Amazônia Oriental. Travessa Dr Éneas Pinheiro, Curió Utinga, CEP 66095-903 Belém, PA, Brazil.

E-mails: alessandro.araujo@embrapa.br, cleo.souza@embrapa.br, alailson.santiago@embrapa.br and celia.azevedo@embrapa.br

³Universidade Federal do Pará. Rua Augusto Corrêa, Guamá, CEP 66073-040 Belém, PA, Brazil. E-mail: emanuellymelo@yahoo.com.br

⁴Universidade Federal Rural da Amazônia. Avenida Perimetral, Terra Firme, CEP 66077-830 Belém, PA, Brazil.

E-mail: julie_franca@hotmail.com, wander_luiz7@yahoo.com.br e jopastana@hotmail.com

⁵Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Avenida André Araújo, Petrópolis, CEP 69067-375 Manaus, AM, Brazil.

E-mail: gisellenerino@gmail.com

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 5 November 2019

Accepted 4 March 2020

Index terms:

mahogany

teak

pasture

soil respiration

wind speed

ABSTRACT

The study aimed to quantify carbon dioxide (CO₂) concentration in atmospheric ([CO₂]) and estimate soil CO₂ efflux (E_{soil}) in the livestock-forest integration system (LFI). Intensive campaigns of 24 hours of measurements were performed in the periods: (i) dry season of 2016, 2017 and 2018; (ii) rainy season of 2017 and 2018 (iii) and transition period from rainy to dry season in 2017 and 2018 in Terra Alta, northeast of Pará. [CO₂] measuring system was installed in forest species and pasture, and points in the forest row and pasture were selected for E_{soil} measurement. An automatic weather tower was installed in the area to obtain ancillary data. The [CO₂] presented temporal variation with lower values during the day and higher at night. There was higher [CO₂] in the rainy season and in the transition from rainy to dry season compared to dry season. E_{soil} was larger inside the forest row and presented the highest measurements in the same period as [CO₂]. Wind speed and E_{soil} act differently on [CO₂] depending on the period.

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

PANTOJA, C. A.; ARAÚJO, A. C.; MENDES, E. M. O.; SOUZA, C. M. A.; SANTIAGO, A. V.; SILVA, J. A. F.; ATAÍDE, W. L. S.; AZEVEDO, C. M. B. C.; SOUZA, G. N. B.; YAKUWA, J. C. P. Variação do CO₂ atmosférico e do fluxo de CO₂ do solo em iPF na Amazônia. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.27, n.1, p.81-91, set 2019.

Disclaimer: papers are published in this issue of AGROMETEOROS (v. 27, n.1, set 2019) as accepted by the XXI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, held August 12-16, 2019 in Catalão, Goiás State, Brazil, without further revision by editorial board.