

# Caracterização da variação diária e sazonal do CO<sub>2</sub> atmosférico em cultivo da palma de óleo com híbridos interespecíficos (*Elaeis guineensis* X *Elaeis oleifera*) no leste da Amazônia

Characterization of diel and seasonal variation of atmospheric CO<sub>2</sub> in oil palm cultivation with interspecific hybrids (*Elaeis guineensis* X *Elaeis oleifera*) in the east Amazon

Bárbara Cristina Santos de Oliveira<sup>1</sup>, Alessandro Carioca de Araújo<sup>2</sup>, Leonardo Ramos de Oliveira<sup>3</sup>, Antonio Ocimar Manzi<sup>4</sup>

Graduanda em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia<sup>1</sup>, Pesquisador A da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Amazônia Oriental<sup>2</sup>, Tecnólogo em Eletrônica no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA<sup>3</sup>, Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA<sup>4</sup>

## Resumo

Estudos acerca das mudanças climáticas constataram que o aumento da concentração de gases do efeito estufa na atmosfera (GEE), como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), poderá causar consequências ao meio ambiente e aos seres vivos em diversos aspectos, sobretudo em regiões de grande biodiversidade, como a Amazônia. A região possui uma grande extensão de áreas degradadas oriundas principalmente de desmatamentos. Atualmente têm-se investido no cultivo de espécies perenes como a palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) visando recuperar estas áreas. Medidas contínuas do perfil vertical da concentração do CO<sub>2</sub> atmosférico ([CO<sub>2</sub>]) foram obtidas no período de abril de 2014 a maio de 2015, em um plantio com híbridos interespecíficos da palma de óleo, na empresa Marborges Agroindústria S.A., Moju, Pará. Estes meses compreenderam quatro períodos: mais chuvoso em 2014, transição, menos chuvoso e mais chuvoso em 2015. Durante o período noturno, a [CO<sub>2</sub>] aumentou nos níveis próximos do solo. E, durante o diurno, a menor [CO<sub>2</sub>] foi observada à altura média da copa (~6 m). A curva média da variação diária da [CO<sub>2</sub>] mostrou um decréscimo próximo às 08:00 horas. No período menos chuvoso, onde houve a maior amplitude da [CO<sub>2</sub>], o valor mínimo foi atingido às 16:00 horas (~380 ppm), e voltou a aumentar às 17:00 horas, atingindo o máximo pouco depois das 6:00 horas da manhã (~620 ppm).

**Palavras-chave:** dendê, dióxido de carbono, dossel, perfil vertical, sazonalidade.

## Abstract

Studies on climate change found that the concentration of greenhouse gases in the atmosphere (GHG) such as carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), may cause consequences to the environment and living beings in many ways, particularly in large regions biodiversity as Amazon. The region has a large area of degraded areas derived mainly from deforestation. Currently we have been invested in the cultivation of perennial species such as oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) in order to recover these areas. Continuous measurements of the vertical profile of the concentration of atmospheric CO<sub>2</sub> ([CO<sub>2</sub>]) were obtained in April 2014 to May 2015 on a plantation with interspecific hybrids of oil palm, in the company Marborges Agroindústria SA, Moju, Pará. These months comprised four periods: rainier in 2014, transition, less rainy and wettest in 2015. During the nighttime, the [CO<sub>2</sub>] increase in the coming soil levels. And during the day, the lowest [CO<sub>2</sub>] was observed the average height of the canopy (~6 m). The average curve of daily variation of [CO<sub>2</sub>] showed a near fall at 08:00 hours. In the less rainy period, where there was the greatest range of [CO<sub>2</sub>], minimum value reached at 16:00 hours (~ 380 ppm) and increased again at 17:00 hours, peaking shortly after 6:00 hours (~ 620 ppm).

**Keywords:** oil palm, carbon dioxide, canopy, vertical profile, seasonality.

---

## 1 Introdução

No contexto das mudanças climáticas, estudos conduzidos pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) têm apontado os riscos do aumento da concentração de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, tais como CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e NO<sub>2</sub>. As consequências desse aumento incluem tanto eventos curtos, como tempestades severas, quanto grandes impactos ambientais, como as secas e o aumento do nível do mar. Por conseguinte, ambos os efeitos podem influenciar a vida na terra, expondo as pessoas, os bens e os ecossistemas a um futuro de risco (IPCC, 2014). Levando-se em consideração essas consequências, a Amazônia brasileira seria uma das mais afetadas pela mudança do clima, com impactos na hidrologia e na biodiversidade. (MALHI et al., 2008).

Adicionalmente, o uso intensivo e indiscriminado dos ecossistemas na região amazônica, incluindo a perda de cerca de 20% de sua cobertura vegetal pelo desflorestamento no século passado, foi um dos fatores antrópicos de liberação de CO<sub>2</sub> para a atmosfera. Esse cenário instigou políticas governamentais de incentivo às iniciativas que pudessem tanto ajudar na recuperação das áreas degradadas quanto incluir a possibilidade de mitigação do CO<sub>2</sub> atmosférico. Para atender esse último, há cada vez mais projetos sendo conduzidos com base no plantio de cultivos perenes, o que possibilita a cobertura do solo por um longo intervalo de tempo e cria uma alternativa econômica, com o rendimento das espécies agrícolas cultivadas (REIJNDERS et al., 2008)

Nesse contexto, a palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) tem sido muito utilizada, por ser perene e de porte arbóreo, além de apresentar um potencial considerável para imobilizar o carbono atmosférico (LAMADE et al. 2005). No Brasil, particularmente na região amazônica, essa cultura também representa uma alternativa viável à diminuição do uso de combustíveis fósseis, através do investimento na produção de biocombustíveis com o óleo de palma (CARVALHO, 2011).

O Pará possui mais de 90% da área plantada com palma de óleo no Brasil. A espécie africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) é a mais plantada no estado por ser a mais produtiva entre todas as oleaginosas (8 a 10 t de óleo ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). No entanto, a anomalia denominada amarelecimento fatal do dendezeiro (AF), dizimou boa parte dos plantios no Pará, devido à susceptibilidade da espécie (Cunha et al., 2010). Após trabalhos de pesquisa em melhoramento genético conduzidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Amazônia Oriental, que realizaram cruzamentos entre a palma de óleo africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) e a de origem americana (*Elaeis oleífera* (Kunth), Cortés), obteve-se um híbrido interespecífico (HIE) viável, resistente ao AF e tão produtivo quanto a palma de óleo africana (Cunha et al., 2005).

Face à expansão dos plantios com o HIE nas áreas que foram atingidas pelo AF, faz-se necessário estudos micrometeorológicos que permitam descrever, por exemplo, o comportamento diário e sazonal do CO<sub>2</sub> atmosférico. A compreensão das interações biofísicas entre a atmosfera e o plantio da palma de óleo no leste da Amazônia é extremamente importante para subsidiar a formulação de políticas públicas e programas de financiamento, como por exemplo, os programas Produção Sustentável de Óleo de Palma no Brasil e ABC, respectivamente.

## 2 Metodologia

O experimento foi conduzido na empresa Marborges Agroindústria S.A., localizada no município de Moju, Pará, em uma área de replantio com HIE de palma de óleo (*Elaeis guineensis* x *Elaeis oleífera*) com idade de oito anos. Um sistema de medição do CO<sub>2</sub> atmosférico foi instalado em uma torre de alumínio (altura de 23 m e seção de 1.83 x 1 m). Esse, foi construído para realizar medidas contínuas do perfil vertical da [CO<sub>2</sub>] (concentração de dióxido de carbono atmosférico) de acordo com Xu et al. (1999) e Molder et al. (2000). O perfil continha seis níveis (0.5, 2.1, 5.8, 9.9, 15.4, e 22.2 m), e o ar

atmosférico de cada um desses níveis era amostrado a uma vazão de  $\sim 1$  litro  $\text{min}^{-1}$  durante 150 segundos. Um ciclo completo ao longo do perfil vertical era realizado a cada 15 minutos e, ao final, este era o tempo utilizado para o registro das médias daquele intervalo.

O sistema era composto de: um conjunto de seis válvulas solenoides (EVO-3-12, Clippard, Cincinatti, OH, EUA); um conjunto de seis tubos de poliuretano, com comprimento variado para cada um dos níveis e com tela de proteção nas extremidades para evitar a entrada de insetos e material sólido maiores do que 0,3 mm; um analisador de gás por infravermelho (IRGA, na sigla em inglês) (LI-820, LI-COR Inc., Lincoln, NE, EUA); uma microbomba de ar (NMP850KNDCB, KNF Neuberger, Freiburg, Alemanha) para coletar o ar do nível que está sendo amostrado até o IRGA; um filtro de ar (ACRO 50 PTFE 1  $\mu\text{m}$ ; Gelman, Ann Arbor, Michigan, EUA) antes da entrada de ar do IRGA para evitar a entrada de micropartículas; um dispositivo síncrono de medidas (SDM-CD8S, Campbell Scientific Inc., Logan UT, EUA) para controlar o acionamento das válvulas solenoides e um microcontrolador eletrônico (CR1000, Campbell Scientific Inc., Logan UT, EUA) para controlar o sistema e registrar os dados.

Visitas quinzenais foram realizadas para realizar a troca dos cartões de memória (CFV-2GB-TSI-3522, Campbell Scientific Inc., Logan UT, EUA) dos microcontroladores eletrônicos que registravam os dados. Os processos de organização, controle de qualidade e garantia dos dados seguiram o protocolo utilizado nas torres de fluxo do Programa de Larga Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA). Os programas que auxiliaram na conversão, organização, análise de dados e na elaboração dos gráficos, foram: LoggerNet 4.2 (Campbell Scientific Inc., Logan, UT, EUA); Excel 14.0 - Office 2010 (Microsoft, Redmond, WA, EUA); MATLAB R2009a (MathWorks Inc., Natick, MA, EUA) e SigmaPlot 8.0 (SYSTAT Inc., San Jose, CA, EUA).

### 3 Resultados e Discussão

A figura 1 apresenta a precipitação mensal para os anos de 2014, figura 1(a) e 2015, figura

2(b), na qual baseado na distribuição de chuvas para a região, podem ser destacados quatro períodos: (1) de abril a junho, mais chuvoso de 2014; (2) de julho a setembro, menos chuvoso; (3) de outubro a janeiro, transição do menos chuvoso para o mais chuvoso; e, (4) de fevereiro a maio, o mais chuvoso de 2015. Não há dados de precipitação para os meses de dezembro de 2014 e janeiro de 2015 porque eles estão subestimados, devido às falhas técnicas que ocorreram com o microcontrolador de dados.

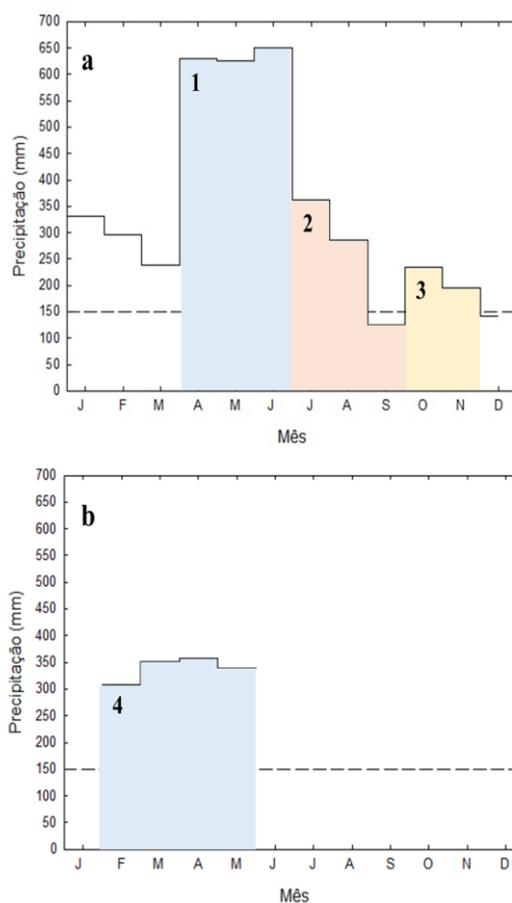


Figura 1: Precipitação acumulada mensal do ano de 2014 (a) e 2015 (b) no município de Moju/PA. Linha tracejada representa o limite de precipitação que causa déficit hídrico para o dendezeiro

Os períodos mais chuvosos de 2014 e 2015 (Figura 2(a) e 2(d)) apresentaram as menores amplitudes diárias da  $[\text{CO}_2]$  e os períodos menos chuvoso e de transição de menos para o mais chuvoso, as maiores (Figura 2(b) e 2(c)). Durante o dia, a  $[\text{CO}_2]$  tende a diminuir, com pouca ou quase nenhuma estratificação entre os níveis, atingindo os menores valores próximo às 16h. Nesse horário, a fotossíntese e a maior

atividade turbulenta corroboram para as menores  $[CO_2]$  e homogeneidade do ar atmosférico ao longo do dossel vegetal. Nos períodos da Figura 2(b) e 2(c), a  $[CO_2]$  atinge valores mais baixos do que na Figura 2(a) e 2(d). Os dias da época menos chuvosa apresentaram tais valores menores possivelmente pelo incremento da radiação direta devido à menor nebulosidade, o que possibilita uma atividade turbulenta e mistura do ar maiores do que nos períodos mais chuvoso e de transição do seco para o chuvoso.

A partir das 18:00 horas, a  $[CO_2]$  começa a aumentar, primeiro nos níveis abaixo do dossel (0,5, 2,1, e 5,8 m), provavelmente por estes estarem mais próximos das fontes de  $CO_2$  (região basal, o estipe, folhas e a própria superfície do solo) e porque abaixo da copa a mistura turbulenta diminui mais rapidamente do que acima dela. Os valores atingem seu máximo próximo às 8:00 horas da manhã do outro dia, quando então a fotossíntese reinicia e a mistura turbulenta volta a aumentar. Adicionalmente, os gradientes entre os níveis localizados abaixo e acima da copa foram maiores, sobretudo nos períodos (2) e (3), onde a inversão térmica noturna é mais forte, causando um desacoplamento do escoamento do ar atmosférico da parte de baixo do dossel da palma de óleo daquele acima dele (Figura 2).

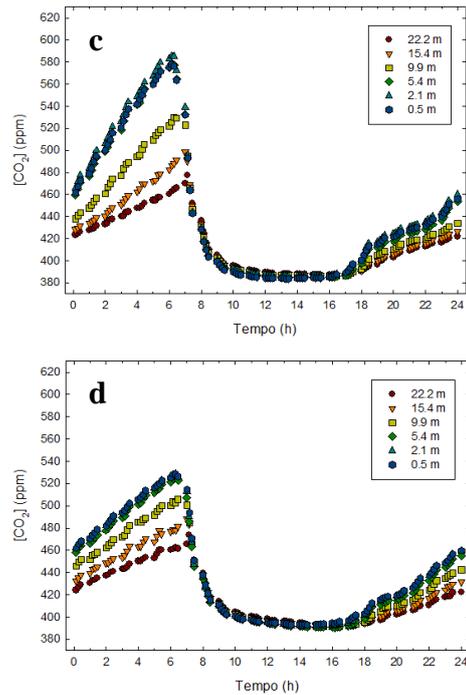
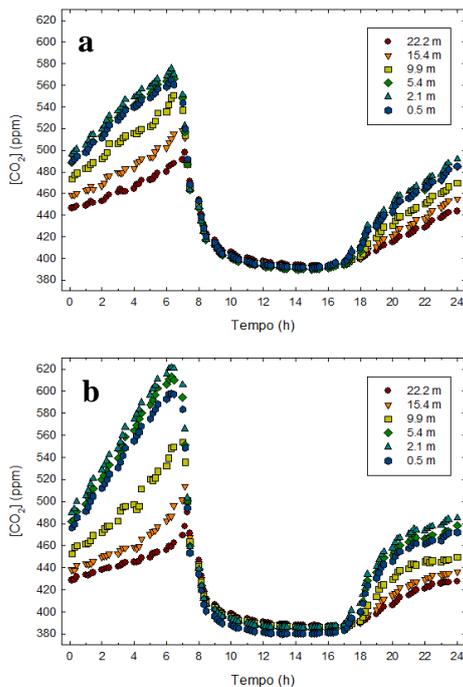
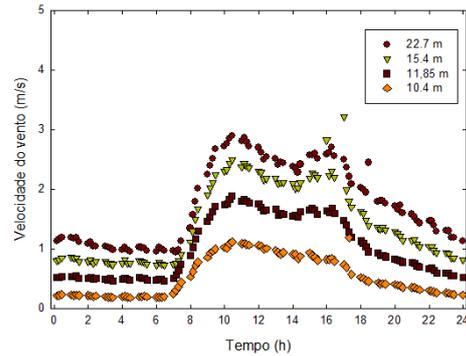
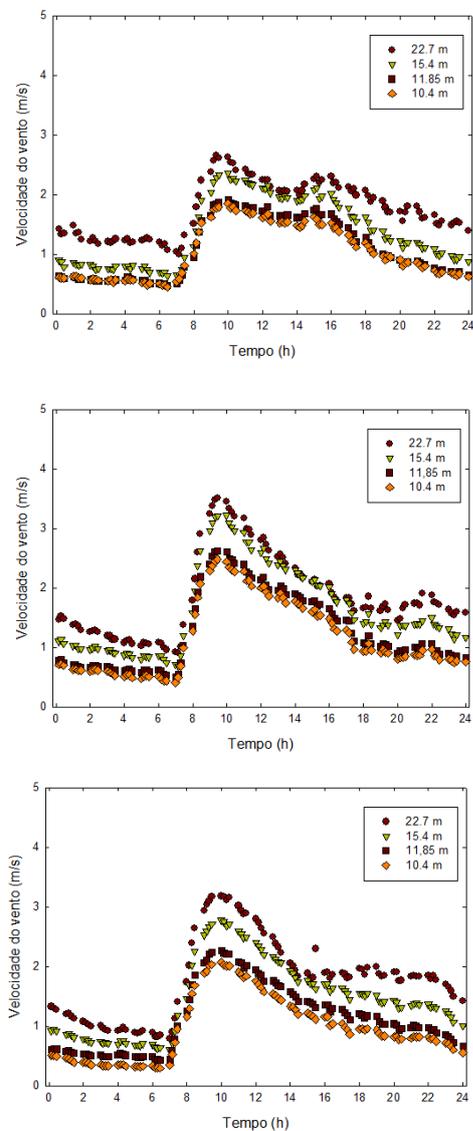


Figura 2: Curvas diárias médias do perfil vertical da  $[CO_2]$  em plantio de palma de óleo para os períodos: (1) - painel a; (2) - painel b; (3) - painel c; e (4) painel d

Na Figura 3 pode-se ressaltar que nos quatro períodos destacados a velocidade do vento apresentou os maiores valores durante o dia, e os menores durante a noite. Particularmente, nos períodos menos chuvoso e de transição do menos para o mais chuvoso (Figura 3(b) e 3(c)), as amplitudes diárias da velocidade do vento foram maiores, possivelmente pela maior força da radiação solar e gradientes de pressão atmosférica nesta época do ano.

Durante o dia, a velocidade do vento alcançou os maiores valores ~10:00 horas nos quatro períodos, diminuindo gradativamente ao longo da manhã, acompanhando o comportamento da radiação solar, até a mesma cessar, no final da tarde. Nos períodos mais chuvosos de 2014 e 2015, (Figura 3(a) e 3(d)), pode-se observar um comportamento bimodal da velocidade do vento, com um segundo aumento dos valores médios entre as 15:30 horas e 16:00 horas. É provável que isto se justifique por se tratar de períodos com a ocorrência de chuvas convectivas durante a tarde, fenômeno que pode ocasionar aumento na velocidade vento.

Nos quatro períodos há uma visível estratificação entre os níveis. Particularmente nos períodos menos chuvoso e de transição do menos para o mais chuvoso, é possível observar que há uma separação entre os níveis que estão mais próximos da superfície (10.4 e 11.85 m) daqueles que estão mais altos (15.4 e 22.7 m), sendo que o nível de 15.4 m apresenta valores intermediários. Isso ocorre em razão da inversão térmica, que é mais intensa no período mais seco do ano, no qual o ar mais próximo da superfície se resfria mais rapidamente do que o ar acima. Forma-se uma barreira térmica que influencia até mesmo os processos de trocas do CO<sub>2</sub> atmosférico citados anteriormente (Figura 2(b) e 2(c)).



## 4 Conclusões

As menores [CO<sub>2</sub>] foram observadas durante o dia na altura média do dossel da palma de óleo, e o contrário durante a noite. O aumento e diminuição da [CO<sub>2</sub>] no início da manhã e no final da tarde dos níveis abaixo do dossel foi mais rápido que os acima, devido aos processos de fotossíntese, turbulência atmosférica e respiração. Houve maior desacoplamento entre os níveis acima e abaixo do dossel da palma nos períodos menos chuvoso e de transição do seco para o chuvoso (2 e 3), durante a noite, em relação ao período chuvoso de 2014 e 2015 (1 e 4).

## Agradecimentos

Ao CNPq, pelo financiamento do projeto.  
 À Embrapa Amazônia Oriental, pelo suporte logístico.  
 À empresa Marborges Agroindústria S.A., pelo apoio técnico e suporte ao experimento.  
 Ao Programa LBA, na pessoa do Dr. A. O. Manzi.  
 E ao INPA por ceder o tecnólogo em eletrônica L. R. de Oliveira.

## Referências

- Carvalho, C. M. (2011). Strategic Environmental Assessment for sustainable expansion of palm oil biofuels in Brazilian north region. *Energy & Environment*, v. 22, n. 5, p. 565-572.
- Cunha, R. N. V. da; Lopes, R. B. R. S. (2010). Manicoré: Híbrido Interespecífico entre o Caiaué e o Dendezeiro Africano

Recomendado para Áreas de Incidência de Amarelecimento-Fatal. Comunicado Técnico 85. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 4p.

Cunha, R. N. V. da; Lopes, R.; Barcelos, E.; Rodrigues, M. R. L.; Texeira, P.C.; Rocha, R. N. C. (2005) Produção de híbridos interespecíficos dendê (*Elaeis guineenses*) x caiaué (*Elaeis oleífera*). In.: III Congresso Brasileiro de Melhoramento de Plantas, Gramado, RS.

IPCC: 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 (2014). [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp., 2014.

Lamade, E.; Bouillet, J.P. (2005). Carbon storage and global change: the role of oil palm. *Oléagineux Corps gras Lipides* 12 (2): 154-160.

Malhi, Y., Roberts, J. T., Betts, R. A., Killeen, T. J., Li, W., & Nobre, C. A. (2008). Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319(5860), 169-172.

Molder, M., Lindroth, A., Halldin, S. (2000). Water vapor, CO<sub>2</sub>, and temperature profiles in and above a forest – accuracy assessment of an unattended measurement system. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 17 (4):417–425.

Reijnders, L.; Huijbregts, M. A. J. (2008). Palm oil and the emission of carbon-based greenhouse gases. *Journal of cleaner production*, v. 16, n. 4, p. 477-482.

Xu, L. K., Matista, A. A., Hsiao, T. C. (1999). A technique for measuring CO<sub>2</sub> and water vapor profiles within and above plant canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 94 (1):1–12, April.