



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Perfil vertical de CO₂ na caatinga preservada: resultados preliminares



Magna Soelma Beserra de Moura¹; Luciana Sandra Bastos de Souza²; Celso von Randow³; Thieres George Freire da Silva⁴

¹ Engenheira Agrônoma, D.Sc. em Agrometeorologia, Pesquisadora, Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, Fone: (87) 3866-3659, magna.moura@embrapa.br; ²

² Bióloga, D.Sc. em Agrometeorologia, Professora, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, sanddrabastos@yahoo.com.br

³ Meteorologista, D.Sc. em Ciências Ambientais, Pesquisador, CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, SP, randow@cptec.inpe.br

³ Agrônomo, D.Sc. em Agrometeorologia, Professor, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, thieres_freire@hotmail.com

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi analisar o perfil vertical da concentração de dióxido de carbono (CO₂) em uma área de caatinga preservada no Semiárido brasileiro. Foram realizadas medidas da concentração de CO₂ aos 0,5 m, 2,0 m, 7,0 m e 16,0 m, entre novembro e dezembro de 2014, em uma torre micrometeorológica instalada em uma área de caatinga preservada, em Petrolina, PE. Para isso foi utilizado um analisador de gás ao infravermelho (LI-840A). Também foram realizadas medidas do perfil de vento, temperatura e umidade relativa do ar, assim como da precipitação e da umidade do solo. Os dados médios diários da [CO₂] apresentaram mesmo comportamento nos quatro níveis medidos, com concentrações de 366,4 ppm, 365,9 ppm, 364,7 ppm e 364,1 ppm, respectivamente nos níveis de 0,5, 2,0, 7,0 e 16,0 m. Valores mais elevados da [CO₂] foram verificados logo após os eventos de precipitação, que foram nove durante o período de estudo, totalizando 56,1 mm. Os dados médios horários da [CO₂] foram mais elevados durante o período noturno nos níveis de 0,5 (372,7 ppm) e 2,0 (372,4 ppm) metros, enquanto durante o período diurno os valores médios da [CO₂] oscilaram em torno de 360 ppm para os quatro níveis avaliados. As diferenças da concentração de dióxido de carbono ([CO₂]) no perfil vertical de uma área de caatinga preservada são pequenas, evidenciando uma mistura de ar cujas características são similares. Porém, após eventos de precipitação com lâminas de água superiores a 20 mm por dia constata-se intensa atividade do ecossistema, principalmente durante a madrugada, quando ocorrem as maiores diferenças da [CO₂] entre os perfis estudados, com maiores valores mais próximos à superfície do solo. Durante o período de medidas, notou-se que a concentração de CO₂ diminuiu com a altura dos níveis, principalmente logo após a ocorrência de chuvas, sugerindo que as maiores emissões de dióxido de carbono são resultados de processos no solo.

PALAVRAS-CHAVE: dióxido de carbono, respiração do solo, gases do efeito estufa.

Vertical profile of CO₂ in a preserved caatinga forest: preliminary results

ABSTRACT: This study aimed to analyze the vertical profile of carbon dioxide concentration (CO₂) in a preserved area of caatinga forest in Brazilian tropical semi-arid. Measurements of CO₂ concentration were performed at 0.5 m, 2.0 m, 7.0 m and 16.0 m, between November and December 2014, in a micrometeorological tower installed in a preserved area of caatinga forest, Petrolina Municipality, Pernambuco State, Brazil. It was used an infrared gas analyzer (LI-840A). Measurements of others meteorological parameters were taken: wind speed, air temperature, air relative humidity, as well as rainfall and soil water content. The daily average of [CO₂] had the same behavior in the four levels measured, being equal to 366.4 ppm, 365.9 ppm, 364.7 ppm and 364.1 ppm, respectively in the levels of 0.5, 2.0 7.0 and 16.0 m. Higher values of [CO₂] were observed immediately after rainfall events,

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

which were nine during the study period, totaling 56.1 mm. The average hourly data of [CO₂] were higher during the night time in for levels of 0.5 (372.7 ppm) and 2.0 (372.4 ppm) meters, while during the daytime the [CO₂] fluctuated around 360 ppm for the four levels. The differences in [CO₂] on the vertical profile of a preserved area of Caatinga are small, indicating a mixture of air whose characteristics are similar. But after precipitation pulses greater than 20 mm per day it was observed intense activity of the ecosystem, especially during night time, when there are major differences of [CO₂] between the studied profiles, with higher values verified closer to the soil surface. During the measurements, it was noticed that the [CO₂] decreased with height, especially after a rainfall, suggesting that higher carbon dioxide emissions are the result of soil processes.

KEY WORDS: carbon dioxide, soil respiration, greenhouse gases.

INTRODUÇÃO

O Bioma Caatinga ocupava originalmente 11% do território brasileiro e 70% da região Nordeste, e em sua grande parte, se confunde com os limites do Semiárido. Suas características o colocam em situação única frente às demais áreas semiáridas do planeta, pois apresenta maior biodiversidade e é o mais densamente povoado (MMA, 2010). Por outro lado, trata-se um bioma extremamente ameaçado e pouco estudado e protegido (kiill, 2012), compreendendo áreas muito vulneráveis às possíveis mudanças climáticas, que tentem a se tornar mais áridas, com secas mais frequentes e intensas (Magrin et al., 2007; Marengo Orsini et al., 2007), impactando a disponibilidade hídrica, a vegetação, a biodiversidade e as atividades que dependem dos recursos naturais (Marengo Orsini, 2008).

As áreas desérticas e de vegetação seca, com clima árido e semiárido, ocupam cerca de 40% da superfície terrestre. Essas regiões apresentam relativamente baixos teores de carbono, mas dada sua importância no ciclo de carbono, é preciso entender e quantificar as estimativas de CO₂ em cada uma delas. Nas áreas de caatinga do Semiárido brasileiro, Giongo et al (2011a) verificaram que o solo sob a caatinga preservada estocou, na camada de 0 a 0,20 m, 58,64 Mg CO₂ equivalente ha⁻¹, enquanto Amorim (2009) observou que no período de menor precipitação o estoque médio de carbono sob caatinga preservada, foi 28,3 Mg C ha⁻¹, reduzindo-se para 24,2 Mg C ha⁻¹ após a chuva, quando parte do carbono atmosférico é fixado na vegetação. Os diferentes tipos de solo do Semiárido brasileiro apresentam variações quanto ao carbono estocado, e solos com menores teores de argila apresentam maior ação dos microrganismos e enzimas durante o período de chuvas, resultando em maior liberação de CO₂ (Giongo et al., 2011b). É importante ressaltar a velocidade com que ocorre a atividade microbiana imediatamente após as primeiras chuvas, e o quanto essa atividade é muito superior em caatinga preservada quando comparada a cultivos agrícolas e caatinga antropizada (Silva et al., 2010; Silva et al., 2013). Por sua vez, a determinação dos teores médios de carbono e da biomassa da vegetação da caatinga é difícil em função da grande diversidade dos tipos vegetacionais, associados aos diferentes tipos de solos e disponibilidade hídrica no bioma. Lima Júnior et al. (2014) determinaram o estoque de 15 Mg CO₂ ha⁻¹, enquanto Teixeira et al. (2012), apresentaram o total de 9,87 Mg ha⁻¹ em uma área de caatinga nativa. Com isso, tem-se que o carbono armazenado na vegetação do bioma caatinga é inferior àquele estocado no solo, porém, devido à grande variabilidade espaço-temporal, outros estudos precisam ser realizados a fim de melhor representar toda área do bioma.

No atual contexto, estudos sobre sequestro de carbono pela vegetação têm sido reportados desde a década de 90 e são dependentes das medidas diretas de fluxos de gás carbônico por meio do método das correlações turbulentas. A quantificação dos fluxos de carbono do ecossistema entre a biosfera e a atmosfera para regiões e continentes são de grande importância para a tomada de decisão de políticas climáticas e uma valiosa informação para melhorar os fluxos de carbono de dimensão regional ou

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

continental (Xiao et al., 2010) nos modelos. Estudos dessa natureza têm sido amplamente realizados para diversos ecossistemas, porém raros foram verificados para a Caatinga, que está inserida em uma região cujas características climáticas e de vegetação são bastante peculiares podendo, desta forma, apresentar ampla variabilidade intra e interanual dos fluxos de CO₂.

Dentre os elementos climáticos que estão mais relacionados com o balanço de carbono e as trocas de energia, destacam-se: a radiação solar incidente à superfície, a temperatura e a umidade do ar e a velocidade do vento, além da precipitação, que afeta diretamente a umidade do solo, a qual é extremamente importante nessa região de Caatinga. Apesar da importância, ainda são muito escassas as informações científicas sobre as interações do sistema solo-planta-atmosfera em áreas cobertas por este ecossistema, principalmente no que se refere a medições das concentrações de gás carbônico [CO₂]. Para a Amazônia, Silva et al. (2015) verificaram que a [CO₂] diminui a partir do solo até o topo do dossel da floresta, sendo as maiores concentrações observadas no período menos chuvoso, com valores médios mensais superiores a 440 ppm próximo à superfície. Esta concentração também foi verificada por Aubinet et al. (2005) em áreas de estudo na Europa. Estes autores verificaram ainda que, as condições do terreno (plano ou inclinado) e os elementos meteorológicos influenciam no armazenamento e na advecção de CO₂, resultando em comportamentos distintos para cada local de estudo. Para o pantanal, Pereira et al. (2013) verificaram que a concentração de CO₂ ao longo do perfil vertical do dossel, durante o período noturno, foi maior nos dias de céu limpo, como resultado do aumento da temperatura e diminuição do conteúdo de água no solo, o que desencadeou maior atividade microbiana no solo, resultando em maior estoque de CO₂ no interior do dossel nesses dias.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi analisar o perfil vertical da concentração de dióxido de carbono ([CO₂]) em uma área de caatinga preservada no Semiárido brasileiro.

MATERIAIS E MÉTODOS

- Caracterização da área de estudo

O local de estudo compreende uma área de vegetação natural preservada de caatinga localizada no Campo Experimental da Caatinga, da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE. A área total é de aproximadamente 600 ha de caatinga preservada, na qual predomina uma vegetação de caráter espinhento e folhas pequenas, com árvores de aproximadamente 4,5m de altura, pertencentes, principalmente, às famílias Anacardiaceae, Bignoniaceae, Bromeliaceae, Burseraceae, Cactaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae e Leguminosae, mas também é constatada a presença de algumas árvores com alturas de até 9,0 m.

O solo foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico Plintossólico. O clima da região é do tipo BSw^h, de acordo com a classificação de Koppen, apresentando média da temperatura do ar de 26,1 °C e da umidade relativa do ar igual a 65,2%, enquanto a média do total anual da precipitação é de 503,1mm. Adicionalmente, a região é caracterizada por possuir irregularidade temporal e espacial no regime pluviométrico, principalmente, entre os meses de janeiro e abril quando chovem 68% do total pluviométrico anual. Os meses de novembro e dezembro, apesar de não corresponderem à quadra chuvosa, compreendem meses em que a precipitação média soma 103,8mm, totalizando 21% da chuva anual. Essa precipitação é responsável por iniciar um novo período fenológico na maioria das plantas da caatinga, pois após os meses secos, em que as espécies perdem totalmente suas folhas, há emissão de folhas novas, quando a caatinga volta a ficar verde.

- Medições micrometeorológicas

Em uma torre micrometeorológica com 16 m de altura foram instalados sensores para medida da radiação solar (CM3, Kipp & Zonen, Delft, Netherlands), radiação fotossinteticamente ativa (LI-190SA,

O desafio do uso sustentável dos biomás brasileiros

Li-cor, Nebraska, USA), temperatura e umidade relativa do ar (HMP45C, Vaisala, Helsinki, Finlândia) e precipitação pluvial (CS700-L, Hydrological Services Rain Gauge, Liverpool, Austrália). No solo foram instalados termistores (107, Campbell Scientific INC., Logan, USA) para medida da temperatura do solo a 0,02 e 0,06 m de profundidade, e sondas FDR (Reflectometria no Domínio da Frequência) (CS615, Campbell Scientific INC., Logan, USA) foram utilizadas para medida do conteúdo de água do solo nas profundidades de 0,05; 0,10 e 0,20 m. Complementarmente, foram realizadas medidas do perfil de temperatura e umidade relativa do ar (CS215, (Campbell Scientific INC., Logan, USA) e da velocidade e direção do vento (03002, R. M. Young, Michigan, USA), nas alturas de 2,0 e 7,0m acima da superfície do solo. As medições foram realizadas utilizando-se um sistema automático de aquisição de dados.

- Perfil vertical de CO₂ e H₂O

Foram realizadas medidas da concentração de CO₂ e de H₂O nas alturas de 0,5 m, 2,0 m, 7,0 m e 16,0 m sobre a superfície do solo, utilizando-se um analisador de gás ao infravermelho IRGA (LI-840A, Li-cor, Nebraska, USA). De cada uma dessas alturas, o ar foi levado ao analisador de gases por meio de um tubo de polietileno com diâmetro interior de 4 mm. Para evitar a entrada de poeira nas amostras de ar, foram utilizados filtros Gelman (ACRO 50 PTFE 1mm; Gelman, Ann Arbor, Michigan, EUA). O ar foi sugado por uma pequena bomba de ar (KNF, Neuberger, Alemanha), com fluxo de 7,6 l min⁻¹, controlada por válvulas solenoides, por meio do datalogger. Uma amostra desse ar foi levada para o IRGA, que realizou as medidas das concentrações de CO₂ e de H₂O.

O sistema composto pelo IRGA, bombas e filtros foi montado em uma caixa ambiental contendo um CR1000 (Campbell Scientific INC., Logan, USA), que registrou os dados da concentração de CO₂. A amostragem e medida do ar em cada altura do perfil duraram 5 minutos, de maneira que para se realizar as medidas de todo perfil foram necessários 20 minutos, totalizando três medidas em cada altura, por hora.

Para este estudo, foram utilizadas as medidas realizadas nos meses de novembro e dezembro de 2014, após o período seco, quando as chuvas dão início a um novo ciclo fenológico nas espécies da caatinga dessa região.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de estudo, entre 17 de novembro e 31 de dezembro de 2014, verificou-se que a concentração média diária de dióxido de carbono variou entre 402 ppm e 348 ppm, sendo que os maiores valores foram observados logo após eventos de precipitações mais elevadas. No dia 16/11/2014, véspera do início deste estudo, choveram 43,7mm, que resultam na maior [CO₂] (402ppm), já no dia 17/12/2014, houve precipitação de 27,4 mm, proporcionando [CO₂] da ordem de 380ppm no dia seguinte (Figura 1a). Do contrário, após sucessivos dias sem precipitação, quando ocorreram os menores valores da umidade do solo (Figura 1d), também foram verificados menores [CO₂], e nesses dias, houve menor diferença entre os dados observados no perfil da torre. De qualquer modo, a maioria dos dias apresentou [CO₂] um pouco superior a 0,5m da superfície do solo, evidenciando maior respiração do ecossistema, principalmente devido ao compartimento solo. Talvez em função da altura do dossel vegetal e, conseqüentemente, das medidas realizadas, as diferenças observadas na [CO₂] no perfil da torre foram bem pequenas, sendo mais evidências após as precipitações.

A média diária da concentração de vapor d'água é apresentada na Figura 1b, onde também se verificam que os maiores e menores valores seguem comportamento similar a [CO₂] no que se refere à ocorrência de chuva. Assim, as maiores [H₂O] foram 28,9 e 28,5 mmol mol⁻¹, enquanto os menores foram da ordem de 21,5 mmol mol⁻¹ (Figura 1b). Tanto maiores concentrações de CO₂ quanto de H₂O estão associadas a maiores valores de umidade do solo (Figura 1d), quando a menores temperaturas do

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

ar (Figura 1c). Para uma análise mais detalhada dos perfis da $[CO_2]$ e sua relação com outros elementos medidos, principalmente com a ocorrência de chuva, foram selecionados os dias 15 e 18 de dezembro, respectivamente um dia com menos disponibilidade de água no solo (antes da chuva) e outro com maior umidade do solo, após precipitação de 27,4 mm, ocorrida no dia 17 de dezembro.

Destacam-se menores valores da $[CO_2]$ antes da chuva ao longo de todo dia para os quatro níveis estudados, sendo que a 16,0 m ocorreram os valores mais baixos, enquanto aos 0,5m foram observadas maiores $[CO_2]$ (Figura 2a). Neste dia, a diferença observada entre a maior e menor concentração de CO_2 ($\Delta[CO_2]$) foi de 32 ppm no primeiro nível (0,5m) e de 17 ppm no último nível, aos 16 m de altura. Valores estes bem inferiores aos verificados para o dia 18/12, após a chuva, quando o $\Delta[CO_2]$ foi 77 ppm e 62 ppm, respectivamente a 0,5 e 16,0 m de altura. Para esse dia, sobressaem-se elevados valores da $[CO_2]$, que oscilaram de 390 a 425 ppm, com maiores diferenças entre os níveis de medida durante a madrugada (Figura 2b). Por outro lado, durante o período diurno foram verificadas $[CO_2]$ mais próximas entre os dois dias analisados, que estão relacionadas ao balanço entre a atividade fotossintética e a respiração do ecossistema, visto que a cobertura vegetal era praticamente a mesma nesses dias. Porém, ao se verificar o conteúdo de água no solo (Figura 2 i e j), constatam-se consideráveis diferenças, visto que no dia 15/12 a umidade do solo na camada de 0,05 a 0,20 m de profundidade, ao longo do dia, foi $0,07 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, enquanto no dia 18/12 esse valor dobrou ($0,14 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), alcançando média de $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ aos 0,10 m de profundidade (Figura 2j).

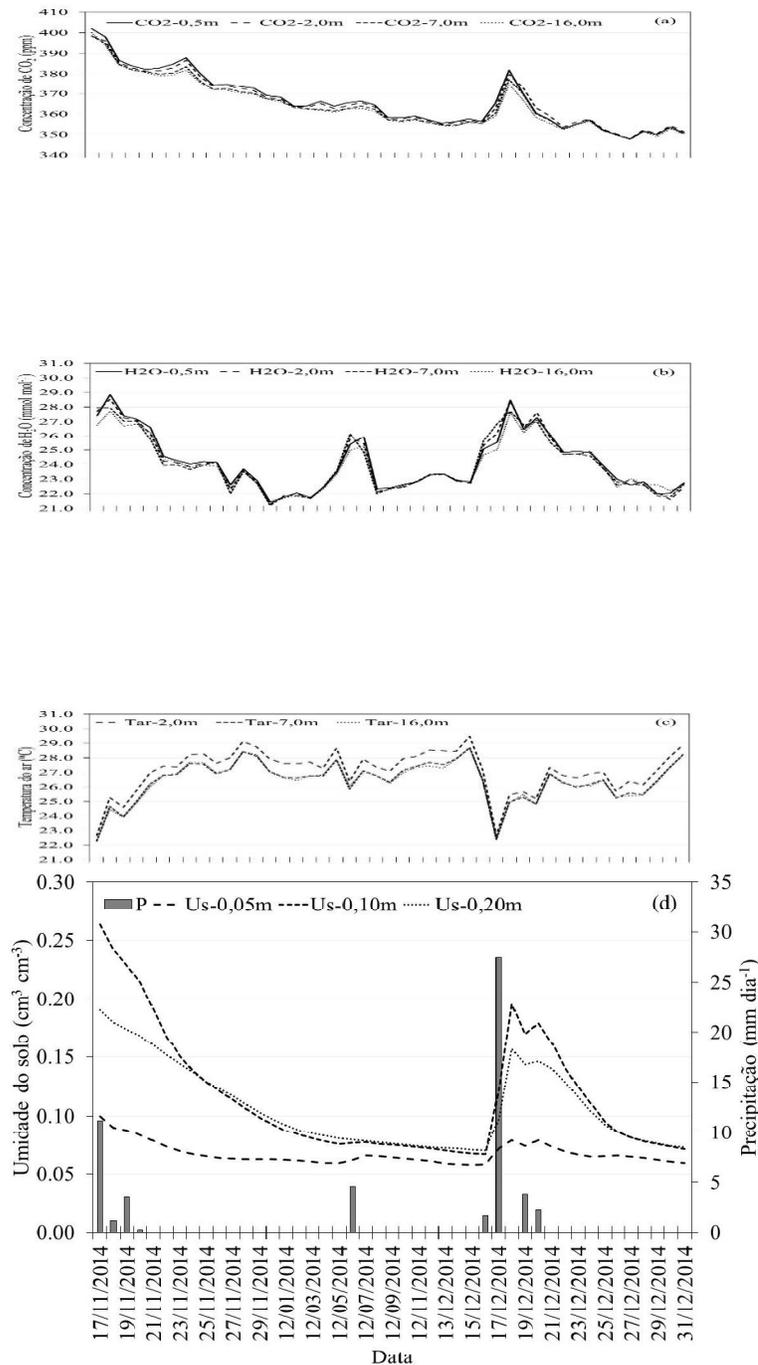
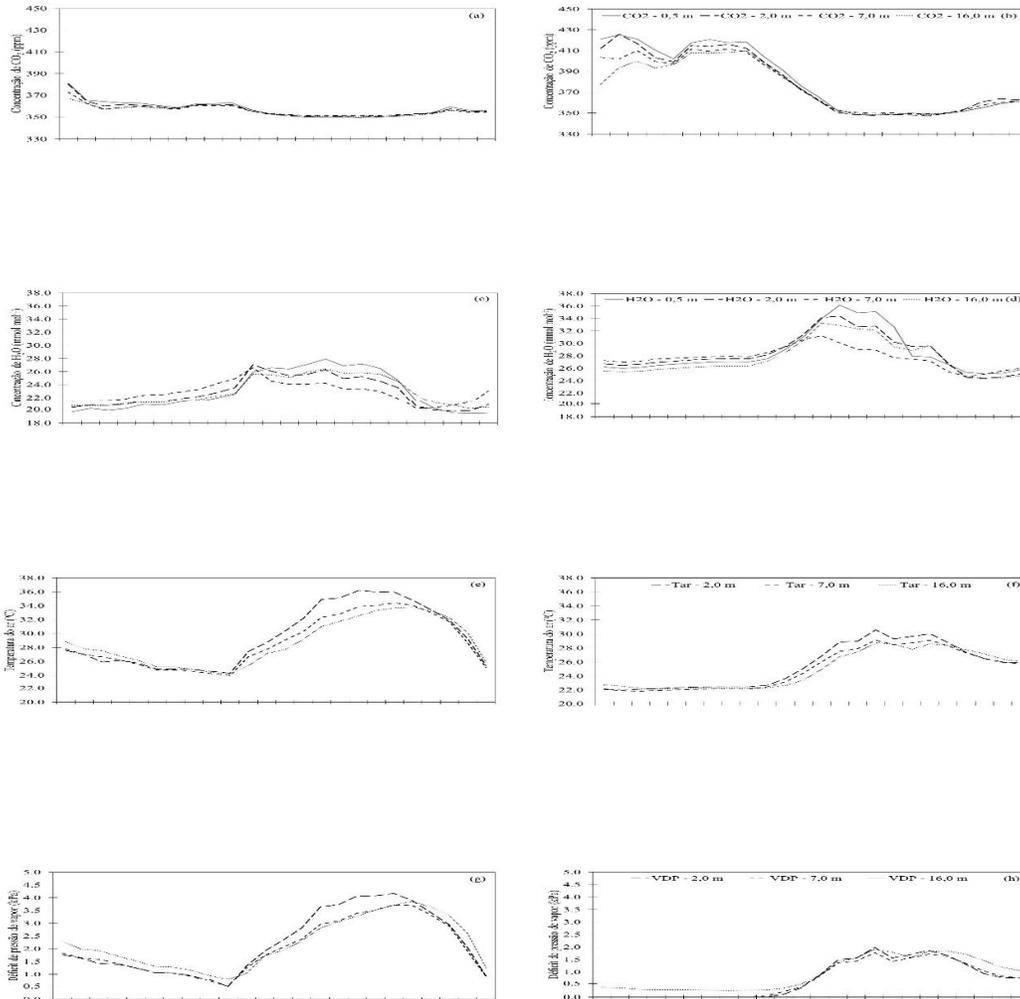


Figura 1. Média diária da concentração de dióxido de carbono (CO₂, ppm) (a); de vapor d'água (H₂O, mmol mol⁻¹) (b); temperatura do ar (Tar, °C) (c); da umidade do solo (Us, cm³ cm⁻³) e total diário da precipitação (P, mm dia⁻¹) (d), observados nas alturas de 0,5; 2,0; 7,0 e 16m acima da superfície do solo em uma área de caatinga preservada, Petrolina, PE.

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Há de se enfatizar que neste dia a temperatura do ar durante a madrugada ficou em torno de 22°C e não ultrapassou 29 °C durante o período diurno (Figura 2f), praticamente sem déficit de pressão de vapor d'água na madrugada (Figura 2h), quando o ambiente apresentou concentração de H₂O ao redor de 26 mmol mol⁻¹, enquanto durante o período diurno, a concentração de H₂O aumentou para valores da ordem de 34 mmol mol⁻¹ no nível mais próximo ao solo, evidenciando a intensificação do processo de evapotranspiração. No dia 15/12, apesar de existir área foliar nas plantas da caatinga, a baixa disponibilidade de água no solo, associada à elevada temperatura diurna do ar (32-34°C) (Figura 2e) e ao déficit de pressão de vapor da ordem de 3,0 – 4,0 kPa (Figura 2g) promovem o fechamento estomático, reduzindo a fotossíntese a níveis basais.



O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

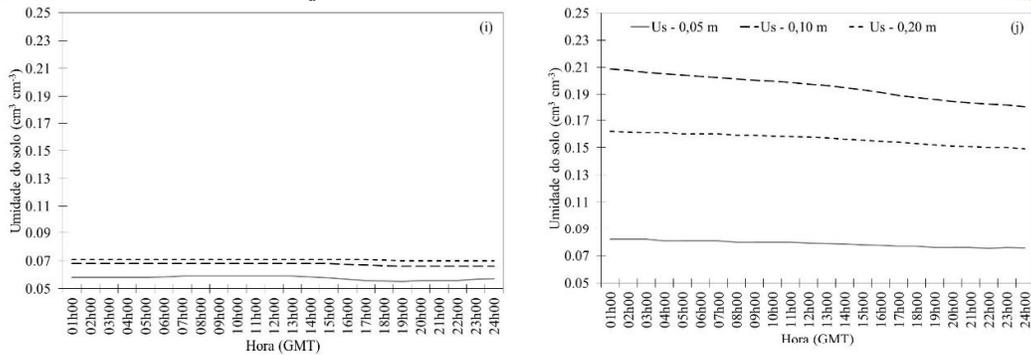


Figura 2. Concentração de dióxido de carbono (CO_2 , ppm) (a e b); de vapor d'água (H_2O , mmol mol^{-1}) (c e d); temperatura do ar (T_{ar} , $^{\circ}\text{C}$) (e e f); déficit de pressão de vapor d'água (kPa) (g e h) e umidade do solo (U_s , $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) (i e j), para os dias 15 (coluna da esquerda) e 18 (coluna da direita) de dezembro de 2014, observados nas alturas de 0,5; 2,0; 7,0 e 16m acima da superfície do solo em uma área de caatinga preservada, Petrolina, PE.

Após essas análises, pode-se observar que um dia antes da chuva têm-se menores concentrações de CO_2 em todo perfil da torre micrometeorológica, onde as medidas foram realizadas aos 0,5; 2,0; 7,0 e 16,0 metros acima da superfície do solo. Para esse dia, $[\text{CO}_2]$ foi, em média, igual a 356 ppm, enquanto em um dia após a chuva essa concentração foi de 377 ppm, entretanto, com maiores diferenças entre os perfis, sendo verificadas concentrações de 380 e de 373 ppm de CO_2 , respectivamente para o primeiro e último níveis de medidas (Figura 3). Importante ressaltar que durante o período de estudo, só ocorreram dois dias com precipitação superior a 5,0 mm, e destes, um apresentou precipitação igual a 27,4 mm, ou seja, durante a grande maior parte do período analisado, o comportamento das concentrações de gases e elementos meteorológicos medidos foi mais similar aos dias secos, com baixa umidade do solo, resultando na $[\text{CO}_2]$ média de 365 ppm para o período de estudo, com pequena variação ao longo do perfil (Figura 3).

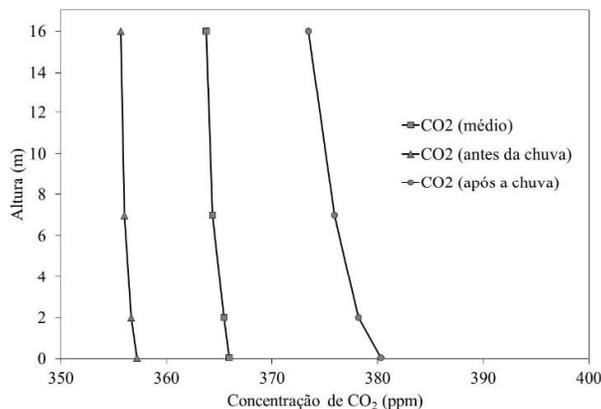


Figura 3. Perfil da concentração de dióxido de carbono (CO_2 , ppm) em uma área de caatinga preservada, Petrolina, PE.

Conforme também verificado por Bowling et al. (2011), quando há disponibilidade de umidade no solo os fluxos de CO_2 do solo são mais elevados, de maneira que pulsos de umidade, associados a chuvas, resultam no aumento da respiração do solo por uma semana ou mais, a depender também das condições hídricas antecedentes. Os eventos e a intensidade da chuva em regiões semiáridas são muito importantes para os processos biológicos que ocorrem nesses ambientes. Ivans et al. (2006) observaram

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

que a resposta dos ecossistemas semiáridos à chuva apresenta comportamento similar, porém a depender da composição das espécies, pode haver diferença na magnitude do vapor de água e CO₂. Estes autores também enfatizam que a resposta do ecossistema em termos de fixação ou liberação de CO₂ depende da duração e da quantidade de precipitação, que refletem na umidade do solo e no índice de área foliar (IAF). Apesar do presente estudo reportar poucos dias de análises, os seus resultados indicam haver respostas bem intrínsecas das espécies da caatinga e do ecossistema em si, no que se referem aos picos de fluxo de CO₂, podendo ter associação com as características das espécies vegetais e microbiota do ecossistema que já estão bem adaptadas ao ambiente semiárido do Brasil, e acumulam reservas para uso imediato após as primeiras chuvas.

CONCLUSÕES

- As diferenças da concentração de dióxido de carbono ([CO₂]) no perfil vertical de uma área de caatinga preservada são pequenas, evidenciando uma mistura de ar cujas características são similares, porém, após eventos de precipitação com lâminas de água superiores a 20 mm por dia constata-se intensa atividade do ecossistema, principalmente durante a madrugada, quando ocorrem as maiores diferenças da [CO₂] entre os perfis estudados, com maiores valores mais próximos à superfície do solo.
- Não há registros deste tipo de estudo para outras áreas de Caatinga, cujas características do ambiente, dos microrganismos de solo e da vegetação são intrínsecas e bem adaptadas para conviver com elevadas temperaturas e déficit hídrico. Assim, a continuidade deste estudo pode trazer avanços do conhecimento sobre o balanço de carbono para esse bioma totalmente brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, L. B. **Caracterização da serrapilheira em caatinga preservada e mudanças no carbono do solo após desmatamento sem queima**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 66p., 2009.

AUBINET, M. et al. Comparing CO₂ storage and advection conditions at night at different Carboeuroflux sites. **Boundary-Layer Meteorology**, Netherlands, v. 116, p. 63-94. 2005. DOI 10.1007/s10546-004-7091-8.

BOWLING, D. R.; et al. Rain pulse response of soil CO₂ exchange by biological soil crusts and grasslands of the semiarid Colorado Plateau, United States. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v. 116, G03028, doi:10.1029/2011JG001643., 2011

GIONGO, V. et al. Carbono no sistema solo-planta no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 4, n. 6, p. 1233-1253, 2011b.

GIONGO, V. et al. Estoque de carbono no sistema solo em uma área referência do Semiárido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais**. Uberlândia: SBCS: UFU: ICIAG, 2011a. 1 CD-ROM.

IVANS, s. et al. Response of water vapor and CO₂ fluxes in semiarid lands to seasonal and intermittent precipitation pulses. **Journal of Hydrometeorology**, Washington, v. 7, p. 995-1010, doi:10.1175/JHM545.1, oct 2006.

KIILL, L. H. P. (Ed.). **Agência de Informação da Embrapa: Bioma Caatinga**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Petrolina: Embrapa



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



Semiárido, 2011. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/Abertura.html>. Acesso em: 15 fev. 2014.

LIMA JUNIOR, C. et al. Índices de vegetação para estimativa de biomassa e carbono em uma área de Caatinga. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 20.; CONGRESO PERUANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 16., 2014, Cusco. **Anais...**, 2014. 1 Pen drive.

MAGRIN, G. et al. Latin America. In: PARRY, M. L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOF, J. P.; LINDEN, P. J. van der; HANSON, C. E. (Ed.). **Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability**. Cambridge: Cambridge University, 2007. cap. 13, p. 581-615. Disponível em: <<https://www.ipcc-wg2.gov/AR4/website/13.pdf>>. Acesso em: 12 set. 2013.

MARENGO ORSINI, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 1-13, 2008. Disponível em: <http://mudancas_climaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/publicacoes/2008/Marengo_x1a.pdf>. Acesso em: 13 mar. 2014.

MARENGO ORSINI, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI**. 2. ed. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 214 p.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Plano de ação para prevenção e controle ao desmatamento na Caatinga**. Brasília, DF, 2010.

PEREIRA, O. A. et al. Determinação do fluxo de CO₂ no norte do Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.28, n.3, 341 - 351, 2013.

SILVA, J. R. et al. Alterações na biomassa e atividade microbiana do solo devido ao uso de compostos orgânicos em um Argissolo Amarelo Eutrófico no Semiárido brasileiro. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, 2013. Ref. 14562. Edição dos Resumos do VIII Congresso Brasileiro de Agroecologia, Porto Alegre, nov. 2013.

SILVA, M. V. et al. Análise do perfil vertical de CO₂ em uma área de floresta na Amazônia central. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 37, Ed. Especial SIC, 2015, p. 22–26.

SILVA, T. et al. Matéria orgânica e atividade microbiana em áreas com diferentes sistemas de uso do solo no Semiárido brasileiro. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 5., 2010, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 259-264. (Embrapa Semiárido. Documentos, 228.).

TEIXEIRA, A. H. de C. et al. Water productivity assessment by using MODIS images and agrometeorological data in the Petrolina municipality, Brazil ". Proceeding of SPIE 8531, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIV, 85310G (October 19, 2012); doi: 10.1117/12.974376.

XIAO, J. et al. A continuous measure of gross primary production for the conterminous U.S. derived from MODIS and AmeriFlux data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 114, p. 576–591, 2010.