

## Emissão de CO<sub>2</sub> de solos de florestas primária e secundária em regeneração espontânea após corte e queima no sudoeste da Amazônia brasileira

**Andréia de Lima Moreno<sup>(1)</sup>; Falberni de Souza Costa<sup>(2)</sup> Newton La Scala Junior<sup>(3)</sup>; Alan Rodrigo Panosso<sup>(4)</sup>; João Andrade de Carvalho Junior<sup>(5)</sup> & José Carlos dos Santos<sup>(6)</sup>**

(1) Mestranda do Curso de Pós-Graduação Ciência, Inovação e Tecnologia para a Amazônia, Bolsista CAPES, UFAC, Rio Branco, AC, BR 364, S/N, CEP 69908-970, [andreiatantalo.lider@gmail.com](mailto:andreiatantalo.lider@gmail.com); (2) Pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco, AC, CEP 69908-970, [falberni@cpafac.embrapa.br](mailto:falberni@cpafac.embrapa.br); (3) Professor Adjunto da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Unesp), Jaboticabal, SP, CEP 14884-900, [lascalafcav.unesp.br](mailto:lascalafcav.unesp.br); (4) Pós-doutorando da Unesp, Jaboticabal, SP, CEP 14884-900, [arpanosso@yahoo.com.br](mailto:arpanosso@yahoo.com.br); (5) Professor Titular da Unesp, Guaratinguetá, SP, CEP 12516-410, [joao.a.carvalho.jr@pq.cnpq.br](mailto:joao.a.carvalho.jr@pq.cnpq.br); (6) Técnico Sênior em Eletrônica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Cachoeira Paulista, SP, CEP 12630-000, [jcarlos@lcp.inpe.br](mailto:jcarlos@lcp.inpe.br)

Apoio: EMBRAPA, CAPES, FUNTAC/FDCT, UNESP, FAPESP.

**RESUMO:** O corte e a queima de florestas promovem a emissão direta e indireta de gases de efeito estufa a partir da combustão de seus resíduos. Estudos que quantifiquem a perda de carbono na forma de CO<sub>2</sub> na Amazônia podem ajudar na redução de incertezas nas estimativas e geração de fatores de emissão locais, melhorando os inventários regionais e nacionais. Neste trabalho, as emissões de CO<sub>2</sub> do solo e sua relação com propriedades do solo (temperatura e umidade) foram avaliadas durante os meses de outubro a dezembro de 2011 e janeiro e fevereiro de 2012 em solo de floresta primária e secundária em regeneração espontânea, em período curto de quatro meses após corte e queima na área experimental da Embrapa Acre, Rio Branco (AC). A média e amplitude da emissão de CO<sub>2</sub> do solo no período foram respectivamente de 3,2 e 2,3  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  na floresta primária e de 4,1 e 4,9  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  na área queimada. A emissão total (128 dias) foi 39% maior na área queimada em comparação à floresta primária. Os efeitos isolados da temperatura e umidade na emissão de CO<sub>2</sub> do solo foram lineares, positivos e negativos, respectivamente.

**Palavras-chave:** Acre, Embrapa, Argissolo Vermelho.

### INTRODUÇÃO

As trocas de matéria (CO<sub>2</sub> e água) e energia (radiação solar, calor etc.) nas interfaces do sistema solo-vegetação-atmosfera de uma floresta primária em equilíbrio dinâmico são alteradas após o seu corte e queima. As entradas e saídas de matéria e energia no sistema florestal, que interferem diretamente nos processos geradores das emissões de gases, são originadas na radiação solar, precipitação, atividade microbiana e alterações nas formas da água e reações de oxidação/redução de componentes estruturais de compostos orgânicos em

compartimentos do sistema solo-vegetação-atmosfera (Meir et al., 1996; Paul & Clark, 1996).

O teor total de CO<sub>2</sub> no solo é produto da respiração de raízes, microrganismos e fauna, e da oxidação química de compostos de carbono ou decomposição da matéria orgânica do solo (Lundegårdh, 1927). Os processos de produção e emissão de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera são função da temperatura e umidade do solo, que por sua vez dependem da profundidade do solo (Pumpanen et al., 2003).

Aproximadamente 50% do teor de matéria orgânica do solo sob a floresta amazônica brasileira estão presentes na camada de 0-0,15 m do perfil (Brasil, 1977), onde geralmente a textura do solo é arenosa, tornando, de acordo com a posição no relevo, tanto a areia quanto a matéria orgânica suscetíveis à erosão laminar causada pelo escoamento superficial da água de chuva. Trumbore et al. (1995) destacam que, embora as concentrações de carbono total e carbono 14 (<sup>14</sup>C) da matéria orgânica do solo a mais de um metro de profundidade sejam baixas, estimativas de “turnover” (Jenkinson & Rayner, 1977; Six & Jastrow, 2002) de raízes finas, produção de CO<sub>2</sub>, e teores de <sup>14</sup>C do CO<sub>2</sub> produzido em profundidade (até 8 metros) demonstram que até 15% de inventários de carbono em profundidade no solo têm tempos de “turnover” de décadas ou menos.

A biomassa queimada e transformada em cinzas seja em solo de floresta ou de pastagens tem dois destinos: é incorporada ao solo (aumentando, temporariamente, a disponibilidade de nutrientes) ou perdida, principalmente por erosão, causada pela água da chuva ou pelo vento, visto que, após a queimada, o solo fica sem proteção, tornando-se assim mais suscetível a perdas de nutrientes por erosão e lixiviação. Quantidades significativas de carbono e de nitrogênio são volatilizadas durante a

queima de florestas e pastagens e, portanto, perdas para a atmosfera sob formas variadas, entre estas CO<sub>2</sub> e óxido nitroso - N<sub>2</sub>O e metano CH<sub>4</sub> (IPCC, 2001; Trumbore et al. 1995).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a emissão de CO<sub>2</sub> e sua relação com variáveis controladoras do solo em sistema florestal primário e secundário em regeneração espontânea após corte e queima da vegetação no sudoeste da Amazônia brasileira.

## MATERIAL E MÉTODOS

As emissões de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade solo foram monitoradas em sistema florestal primário e secundário em regeneração espontânea após corte (julho/2011) e queima (setembro de 2011), localizados no campo experimental da Embrapa Acre, Rio Branco (AC). A floresta primária foi amostrada para servir como referência na comparação dos efeitos do corte e da queima nas variáveis em estudo. O período de avaliação foi de outubro de 2011 a fevereiro de 2012, compreendendo o término do verão de 2011 e início e o período característico da estação de chuvas de 2012 no estado do Acre. As datas de avaliação diária foram: 20 e 27 de outubro; 03, 10, 17 e 24 de novembro; e 09, 15 e 20 de dezembro de 2011; 05, 12, 20 e 27 de janeiro; e 09, 16 e 24 de fevereiro de 2012. As leituras foram realizadas uma vez por semana, das 9 às 12 horas nos dois sistemas nas quintas-feiras ou sextas-feiras, exceto em dias com chuva ou com chuva no dia anterior ou madrugada do dia da leitura.

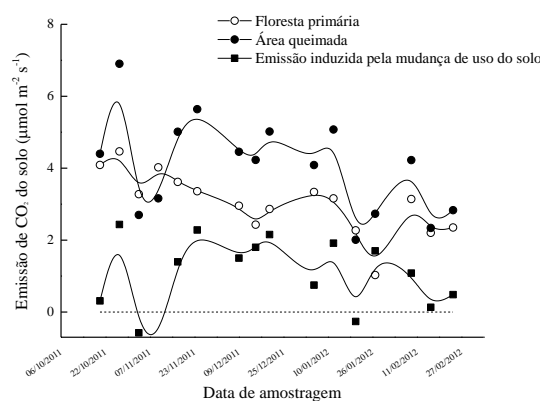
A floresta primária é predominantemente aberta, apresentando características comuns às florestas do estado do Acre (Oliveira & Braz, 1998). O solo sob a floresta é um Argissolo Vermelho, textura média, distrófico típico, da formação Solimões (Brasil, 1977; Acre 2010).

As emissões de CO<sub>2</sub> do solo foram medidas com câmara de fluxo (LI-6400-09, LI-COR®) (Healy et al., 1996), que consiste em um sistema fechado (console de comandos e câmaras), colocada sobre bases de policloreto de vinil – PVC (0,10 m de diâmetro) instalados (0,02 m de profundidade) previamente no solo. Foram instaladas 22 bases em cada sistema avaliado, sendo 11 no sentido Norte-Sul e 11 no sentido Leste-Oeste. A temperatura do solo foi avaliada por sensor componente desse sistema a 0,12 m de profundidade. A umidade do solo foi medida por um Time Domain Reflectometry (TDR) portátil

(Campbel®) que é constituído por uma sonda apresentando duas hastes de 0,12 m que foram inseridas no solo, próximo às bases de PVC.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A emissão de CO<sub>2</sub> do solo foi decrescente no tempo em ambos os sistemas florestais a partir do início das medições e maior na área queimada, com variações (média de 22 leituras diárias ± erro padrão) de  $2,2 \pm 0,17$  a  $4,5 \pm 0,41 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  na floresta primária e de  $2,0 \pm 0,30$  a  $6,9 \pm 0,49 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  na área queimada no período de outubro de 2011 a fevereiro de 2012 (Fig. 1).



**Figura 1.** Emissão de CO<sub>2</sub> do solo no período de outubro de 2011 a fevereiro de 2012. Estação experimental da Embrapa Acre, Rio Branco.

A média e a amplitude do período foram, respectivamente, de  $3,2 \pm 0,21$  e  $2,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  na floresta primária, e de  $4,1 \pm 0,33$  e  $4,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  na área queimada, semelhantes a de outros estudos na Amazônia (Zanchi et al., 2012). Com base na média de emissão das áreas, o solo da área queimada emitiu 28% de CO<sub>2</sub> a mais do que o solo da floresta primária em quatro meses de medição das emissões. Kepler et al. (1990), também avaliando emissão de CO<sub>2</sub> do solo de floresta primária e floresta recém queimada, encontraram comportamento inverso ao deste trabalho, com redução de 50% na floresta queimada em relação à floresta primária.

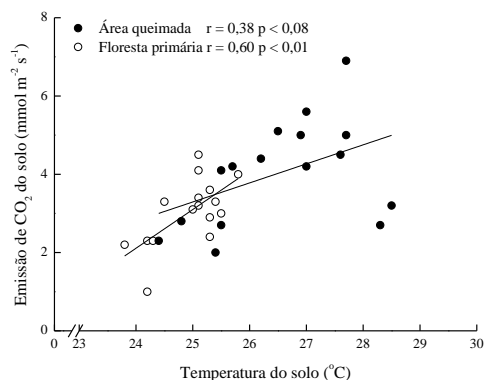
A emissão total em 128 dias de avaliação foi 39% maior na área queimada ( $1,8 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ) quando comparada à floresta primária ( $1,3 \text{ kg CO}_2 \text{ m}^{-2}$ ).

A variação da temperatura do solo no período avaliado foi de 23,8 a 25,8 °C na floresta primária e de 24,4 a 28,5 °C na área queimada, resultando em médias e amplitudes, respectivamente, de 25 °C e 2

°C no solo da floresta primária e de 26,6 °C e 4,1 °C no solo da área queimada.

O efeito do corte e queima da floresta resultou prioritariamente em aumento na emissão de CO<sub>2</sub> do solo. O corte e a queima da vegetação deixou o solo exposto à radiação solar, aumentando a sua temperatura, facilitando a evapotranspiração e provavelmente intensificando a atividade de microrganismos. Como resultado, aumentou a emissão de CO<sub>2</sub> do solo para a atmosfera (Qi et al., 2002). O efeito também se refletiu na dinâmica da água no solo da área queimada. Quando o solo está descoberto, o impacto das gotas da chuva pode causar selamento superficial, reduzindo a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

O efeito da temperatura do solo na emissão de CO<sub>2</sub> foi positivo em ambos os sistemas, mas significativo somente para a floresta primária (Fig. 2). Nesta, os efeitos da radiação solar na temperatura do solo são minimizados pelo dossel da vegetação, associado à cobertura da serapilheira. Embora maiores emissões tenham ocorrido na área queimada, com temperatura de solo também maiores, essa associação é difícil de ser descrita por equações, refletindo a realidade de campo (Metcalf et al., 2007).

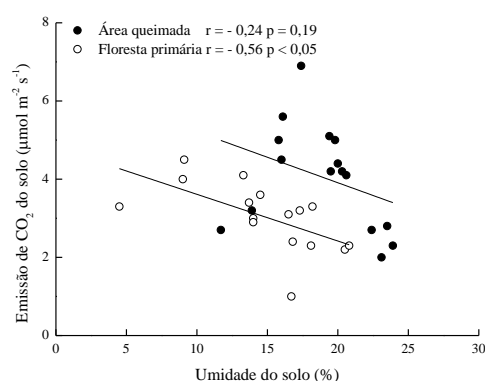


**Figura 2.** Relação da emissão de CO<sub>2</sub> com a temperatura do solo (10 cm). Estação experimental da Embrapa Acre, Rio Branco.

A emissão de CO<sub>2</sub> do solo é uma função não linear da temperatura em faixa ampla de umidade, mas torna-se uma função desta à medida que o seu teor no solo é reduzido (Smith et al., 2003). Os valores médios de umidade foram próximos de 15 % para a floresta primária e de 19 % para área queimada. Os efeitos do aumento da umidade do solo na diminuição da emissão de CO<sub>2</sub> ocorreram principalmente quando as avaliações foram em dias

após chuva. No período de chuva mais intensa, as taxas de emissão na área queimada variaram de 4,2 a 1,8 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>.

O efeito da umidade na emissão de CO<sub>2</sub> do solo foi negativo em ambos os sistemas avaliados, mas significativo apenas na floresta primária (Fig. 3). A interpretação dos efeitos da umidade na emissão de CO<sub>2</sub> do solo deve ser associada ao efeito também da temperatura, o que é difícil de ser conseguido em estudo de campo (Orchard & Cook, 1983; Davidson et al., 2000).



**Figura 3.** Relação da emissão de CO<sub>2</sub> com a umidade do solo (10 cm). Estação experimental da Embrapa Acre, Rio Branco.

A correlação múltipla da emissão de CO<sub>2</sub> do solo com temperatura e umidade do solo não foi significativa para a área queimada. Entretanto, essas variáveis associadas explicaram 60% da emissão de CO<sub>2</sub> no solo da floresta primária. O corte e queima da vegetação aumentaram a variabilidade espacial da emissão de CO<sub>2</sub> do solo, refletindo na ausência de relação significativa com a emissão de CO<sub>2</sub>.

## CONCLUSÕES

As alterações causadas pelo corte e queima da floresta primária aumentaram em 39% as emissões totais de CO<sub>2</sub> do solo no período avaliado. A temperatura e umidade do solo influenciam as emissões de CO<sub>2</sub> do solo, entretanto não é possível definir em estudo de campo qual a combinação dessas variáveis em que a emissão de CO<sub>2</sub> do solo seja ou reduzida ou intensificada, isto porque existem outras variáveis envolvidas (p.e. disponibilidade igual de substrato para atividade de microrganismos produtores de CO<sub>2</sub>), não monitoradas neste estudo.

## AGRADECIMENTOS

A EMBRAPA, CAPES, FUNTAC/FDCT (T.O. 003/2012) e FAPESP (processo 08/04490-4) e pelo apoio financeiro. A UNESP/FCAV/Jaboticabal pela parceria e empréstimo do analisador automático de CO<sub>2</sub> e acessórios.

## REFERÊNCIAS

- ACRE. Governo do Estado do Acre. Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre, Fase II (Escala 1:250.000): Documento Síntese. 2. Ed. Rio Branco: SEMA, 2010. 356p.
- BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SB/SC.18 Javari/Contamana; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. (Levantamento de recursos naturais, v.13). 1977.
- DAVIDSON, E.A., VERCHOT, L.V., CATTÂNIO, J.H., ACKERMAN, I.L., CARVALHO, J.E.M. Effects of soil water content on soil respiration in forests and cattle pastures of eastern Amazonia, *Biogeochemistry* 48:53–69, 2000.
- HEALY, R.W.; STRIEGL, R.G.; RUSSEL, T.F.; HUTCHINSON, G.L.; LIVINGSTON, G.P. Numerical evaluation of static-chamber measurements of soil-atmosphere gas exchange: identification of physical processes. *Soil Science Society of America Journal*, 60:740-747, 1996.
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate change 2001: the scientific basis*. United Kingdom: Cambridge University Press and New York, NY, USA. 881p. 2001.
- JENKINSON D.D, RAYNER, J.H. The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted classical experiments. *Soil Science*, 298-305, 1977.
- KEPLER, S., VOLKOFF, B., CERRI, C.C., CHONÉ, T., LUIZÃO, F., EDUARDO, B.P. Respiração do solo: comparação entre áreas com mata natural, mata recém-queimada e pastagem, na Amazônia Central. *Geochim. Brasil*, 4:111-118, 1990.
- LUNDEGÅRDH, H. Carbon dioxide evolution and crop growth. *Soil Science*, 23:417-453, 1927.
- MEIR, P., GRACE, J., MIRANDA, A., LLOYD, J. Soil respiration in a rainforest in Amazonia and in cerrado in central Brazil. In: GASH, J.H.C., NOBRE, C.A., ROBERTS, J.M., VICTORIA, R.L. *Amazonian deforestation and Climate*. New York, John Wiley & Sons, 1996. p.319-329.
- OLIVEIRA, M.V. d'., BRAZ, E.M. Manejo florestal em regime de rendimento sustentado aplicado à floresta do Campo Experimental da Embrapa Acre. Rio Branco: EMBRAPA – CPAF/AC, 1998. 46p (Embrapa CPAF/AC. Boletim de Pesquisa, 21).
- ORCHARD, V.A., COOK, F.J. Relationship between soil respiration and soil moisture. *Soil Biology and Biochemistry*, 447-453, 1983.
- METCALFE, D. B. et al. 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, *J. Geophys. Res.*, 112, G04001, doi:10.1029/2007JG000443.
- PAUL, E.A., CLARK, F.E. *Soil microbiology and biochemistry*. 2.ed. San Diego, academic Press, 1996. 340p.
- PUMPANEN, J., ILVESNIEMI, H., HARI, P. A process-based model for predicting soil carbon dioxide efflux and concentration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67: 402–413. 2003.
- QI, Y., XU, M., WU, J. Temperature sensitivity of soil respiration and its effects on ecosystem carbon budget: nonlinearity begets surprises. *Ecological Modelling*, 153:131-142, 2002.
- SIX, J., JASTROW, J.D. Organic matter turnover. In: LAL, R., ed. *Encyclopedia of soil science*. New York, Marcel Dekker, 2002. p.936-942.
- SMITH, K.A., BALL, T., CONEN, F., DOBBIE, K.E., MASSHEDER, J., REY, A. Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science*, 54:779–791, 2003.
- TRUMBORE, S.E., DAVIDSON, E.A., CAMARGO, P.B., NEPSTAD, D.C., MARTINELLI, L.A. Below-ground cycling of carbon in forests and pastures of eastern Amazonia. *Global Biogeochemical Cycles*, 9:515-528, 1995.
- ZANCHI, F.B. et al. Soil CO<sub>2</sub> efflux in Central Amazonia: environmental and methodological effects, *Acta Amazonica*, 42:173 – 184, 2012.