

ISSN 0104-1347

## A mitigação do CO<sub>2</sub> atmosférico na Amazônia brasileira central durante um período seco<sup>1</sup>

The mitigation of atmospheric CO<sub>2</sub> in the central brazilian Amazonia during dry season

Rafael Ferreira da Costa<sup>2</sup>, Antonio Roberto Pereira<sup>3</sup>, Gilberto Fisch<sup>4</sup>, Alistair Culf<sup>5</sup>, Yadvinder Malhi<sup>6</sup>, Carlos Afonso Nobre<sup>7</sup> e Antonio Donato Nobre<sup>8</sup>.

**Resumo** - Medidas de fluxos de CO<sub>2</sub> foram coletadas na Amazônia central durante o período de 21 a 28 de outubro de 1995. Em uma torre micrometeorológica com 41,5m de altura, montada na reserva de Cuieiras (2°36'S, 60°7'W, 52m anmm.) pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) a 57km de Manaus (AM). Em média foram registrados os seguintes valores para algumas variáveis meteorológicas: radiação solar incidente integrada (S) 15,2 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>; temperatura do ar (Ta) 25,2 °C; temperatura do solo (Ts) 24,7°C; velocidade de fricção (u\*) 0,15 ms<sup>-1</sup>; déficit de pressão de vapor (De) 0,53 kPa; velocidade do vento (Vv) 0,5 ms<sup>-1</sup>. Houve uma precipitação de apenas 12,6mm, caracterizando o período como seco. Os fluxos de CO<sub>2</sub> ocorreram da floresta para a atmosfera durante a noite, pela manhã os fluxos de CO<sub>2</sub> foram reversos, resultado da absorção pela vegetação que o utiliza no processo de fotossíntese. Em média, foi registrado +12,9 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> às 8 horas (emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera), e -14,5 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> às 12 horas (absorção de CO<sub>2</sub> pela vegetação). Os fluxos médios de CO<sub>2</sub> mostraram que naquele período houve absorção de -35,4kg C ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, e um fluxo de liberação de +21,8 kg C ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, resultando em um balanço médio diário de -13,6kg C ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> (seqüestro de carbono). A floresta retiraria da atmosfera aproximadamente -5Mg C ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, uma mitigação de carbono atmosférico desta magnitude se expandida para a área total da Amazônia (~5x10<sup>8</sup> ha), atingiria a significativa marca de -2,5Pg C ano<sup>-1</sup>.

**Palavras-chaves:** Amazônia, Dióxido de carbono, floresta tropical, mitigação.

**Abstract** - CO<sub>2</sub> fluxes were collected in central brazilian Amazonia during 8 days (21-28 october 1995), in the Cuieiras INPA's reserve (2°36'S, 60°7'W, 52m asl). Total precipitation was 12.6mm, and mean incoming solar radiation (S) of 15.2 MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>, mean air temperature (Ta) was 25.2°C, soil temperature (Ts) 24.7°C, friction velocity (u\*) 0.15m s<sup>-1</sup>, vapor deficit pressure (VDP) 0.53kPa, and wind speed (Ws) 0.5m s<sup>-1</sup>. The extremes values of CO<sub>2</sub> fluxes were +12.9mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> at 8 hours and -14.5mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> at 12 hours. The net carbon budget was -13.6kg C ha<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>, which extrapolates to nearly -5 Mg C ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, a mitigation of atmospheric CO<sub>2</sub> if expanded over Amazonia (~5x10<sup>8</sup> ha) would reach -2.5Pg C year<sup>-1</sup>.

**Key words:** Amazonia, Carbon dioxide, tropical rainforest, mitigation.

### Introdução

Devido sua grande importância na absorção de radiação infravermelha o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é

objeto de pesquisa na atualidade por se tratar de um gás de efeito estufa. A elevação das concentrações na atmosfera dos gases de efeito estufa, como o CO<sub>2</sub>, óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>) e outros, afeta o

<sup>1</sup>Parte da dissertação de Mestrado apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" ESALQ/USP.

<sup>2</sup> CNPq/LBA/Museu Paraense Emilio Goeldi, Belém, PA. [rfcosta@museu-goeldi.br](mailto:rfcosta@museu-goeldi.br)

<sup>3</sup> DCE/ESALQ/USP, Piracicaba, CEP 13418.900, SP. [arpereir@carpa.ciagri.usp.br](mailto:arpereir@carpa.ciagri.usp.br)

<sup>4</sup> ACA/IAE/CTA, S. J. dos Campos, SP. [gfisch@aca.iae.cta.br](mailto:gfisch@aca.iae.cta.br)

<sup>5</sup> Institute of Hydrology, Wallingford, UK.

<sup>6</sup> University of Edinburgh, Edinburgh, UK

<sup>7</sup> CPTEC/INPE, Cachoeira Paulista, SP.

<sup>8</sup> INPA, Manaus, AM.

balanço radiativo da atmosfera e da superfície terrestre. O sistema terrestre, pelos processos biogeoquímicos, poderá levar milhares de anos para retornar aos níveis de CO<sub>2</sub> atmosférico, similares aos da era pré-industrial (TANS et al., 1996). Desde meados do século XIX até a atualidade, a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, em média, cresceu de 280ppmv (partes por milhão de volume) para aproximadamente 367ppmv (KEELING & WHORF, 1999). Em 1998, as emissões globais de carbono para a atmosfera originadas pela utilização de combustíveis fósseis alcançaram 6,3Pg C ano<sup>-1</sup> (Pg = 10<sup>15</sup>g). Isto significou uma redução de 0,5% nas emissões, em relação ao ano anterior e mesmo assim, ainda foi cerca de 6,3% maior que em 1990 (FLAVIN, 1999). Além da emissão de carbono para a atmosfera oriunda das atividades industriais, existe aquela cuja origem está vinculada à destruição de florestas, principalmente as tropicais. O carbono armazenado na biomassa da floresta, pode ser liberado para a atmosfera na forma de CO<sub>2</sub>, pelos desmatamentos e queimadas (ANDREAE et al., 1988). Uma combustão eficiente libera até 35% do carbono contido na fitomassa florestal (GRAÇA, 1997). A conversão de florestas tropicais em áreas de cultivo ou pastagens estaria funcionando como fonte de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (SCHOLLES, 1999). As florestas nativas ou plantadas, têm enorme potencial de seqüestrar carbono da atmosfera, porém a estimativa dessa mitigação, ainda está sendo discutida (VALENTINI et al., 1996). As florestas tropicais seriam responsáveis por metade da absorção de CO<sub>2</sub> realizada pela vegetação (NOBRE & GASH, 1997). Há necessidade de se aperfeiçoar o entendimento das funções que as florestas tropicais têm no ciclo de carbono. Neste sentido, nos últimos anos alguns trabalhos foram realizados (WOFSY et al., 1988; FAN et al., 1990; DELMAS et al., 1992; GRACE et al., 1996; MALHI et al., 1998; CULF et al., 1999; FERREIRA DA COSTA et al., 2000). As pesquisas mais recentes utilizaram a técnica da correlação dos vórtices turbulentos (*eddy correlation*), que tem se mostrado extremamente confiável na determinação das interações solo-planta-atmosfera. É uma técnica não destrutiva, e opera em escala de tempo de alguns segundos até vários anos, sendo possível relacionar as trocas de carbono na atmosfera aos fatores biofísicos do ambiente (BALDOCCHI et al., 1988; LENSCHOW, 1995; MONCRIEFF et al., 1996).

Este trabalho teve o objetivo de analisar os fluxos de CO<sub>2</sub>, em uma área de floresta tropical na região central da Amazônia e quantificar a mitigação do CO<sub>2</sub> atmosférico proporcionada pela floresta amazônica. Os dados utilizados neste trabalho, foram obtidos durante o projeto JACAREX (Joint Amazonian Carbon Dioxide Experiment).

## Material e métodos

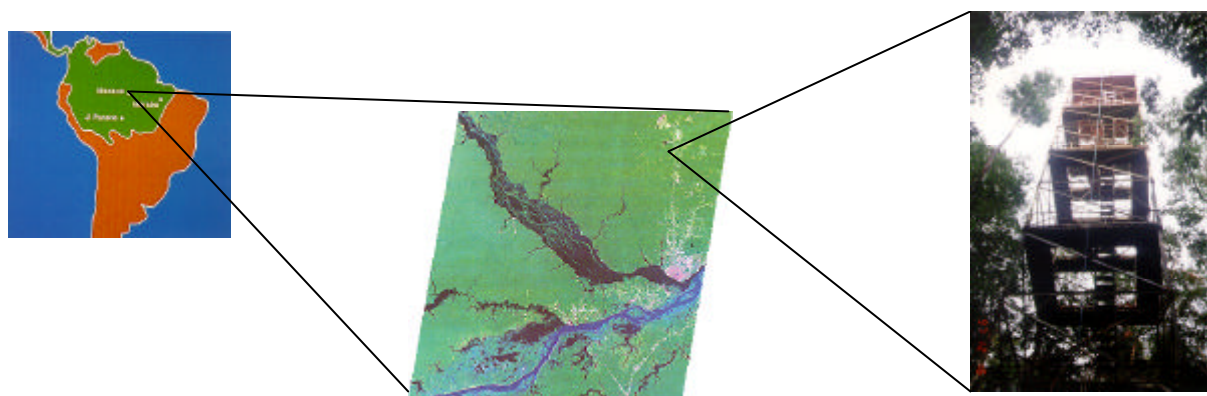
Os dados deste trabalho foram coletados na reserva de Cuieiras, 2°36'S, 60°7'W, 52m anmm, distante cerca de 57km ao norte de Manaus (Figura 1). A reserva faz parte de uma grande área de terra firme, que no início dos anos oitenta começou a ser estudada como amostra representativa da floresta tropical. Pertence ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). O acesso é feito pela rodovia BR174 que liga Manaus (AM) à Boa Vista (RR).

A reserva de Cuieiras por ser uma floresta de terra firme, possui um solo típico da região amazônica. O latossolo amarelo-argiloso, contendo cerca de 80% de argila e 10% de areia. É um solo pobre em nutrientes, ácido (pH entre 4,3 e 5), e porosidade entre 50 e 80%. A região apresenta uma vegetação de grande porte, com uma altura média do dossel de ~30m, com presença de algumas árvores emergentes que alcançam entre 40 e 45m. Com grande variedade possui cerca de 180 espécies ha<sup>-1</sup>, com diâmetro >0,15m medido à altura do peito (McWILLIAM et al., 1993). A densidade de biomassa acima do solo foi estimada em cerca de 350Mg ha<sup>-1</sup>. LUCAS et al. (1996) apresentaram uma ampla variação da estimativa de biomassa para a floresta da região, podendo oscilar de 225 até 563Mg ha<sup>-1</sup>.

A técnica da covariância dos fluxos turbulentos (*eddy covariance*) foi utilizada para medir as interações de CO<sub>2</sub> entre a atmosfera e a floresta. Permite determinar o fluxo vertical de CO<sub>2</sub>, usando o cálculo da covariância entre as flutuações da velocidade vertical do vento e concentrações de CO<sub>2</sub>. A velocidade vertical instantânea do vento, foi determinada pelo anemômetro sônico tridimensional Solent (Gill instruments, Lymington, Reino Unido). O fluxo vertical de um escalar, tal como o CO<sub>2</sub>, pode ser considerado como o balanço entre a quantidade do escalar transportado através de um plano horizontal por uma parcela de ar que se move para cima e para baixo. O valor médio de um fluxo  $F$  pode ser representado por:

$$F = \left( \frac{1}{T} \right) \int_0^T w'(t) CO_2'(t + \Delta t) dt \quad (1)$$

sendo  $T$  o intervalo médio, e  $\Delta t$  o retardamento no tempo entre o sinal da medida da velocidade vertical  $w$ , e a concentração  $CO_2$ . Os sensores de  $w$  e  $CO_2$  devem ser sensíveis o suficiente e responder às resoluções de pequenos desvios em frequências importantes para o transporte turbulento. O intervalo médio ( $T$ ) deve ser suficientemente pequeno para responder as variações atmosféricas e grande o bastante para alcançar expressão significativa.



**Figura 1.** Localização da Reserva de Cuieiras, distante cerca de 57km de Manaus, AM (área clara no centro à direita na imagem central). No detalhe a torre micrometeorológica com 41,5m de altura instalada na floresta.

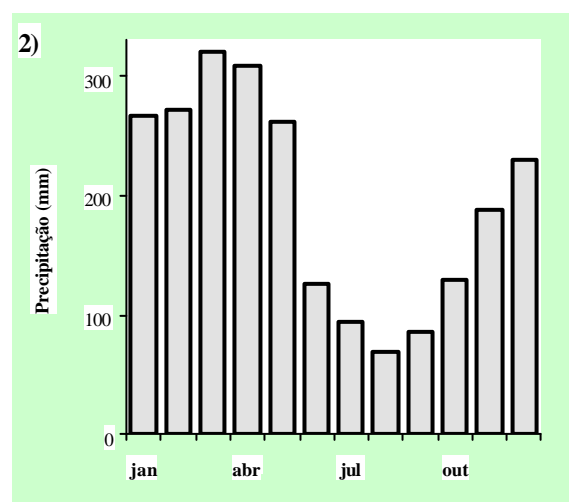
Para o período estudado (21-28 de outubro de 1995) foram utilizados 165 dados horários de medidas de  $\text{CO}_2$  (104 de emissão e 61 de seqüestro), significando cerca de 86% das informações do período, sendo representativos das medidas obtidas para os fluxos de  $\text{CO}_2$  no sistema solo-planta-atmosfera.

## Resultados e discussão

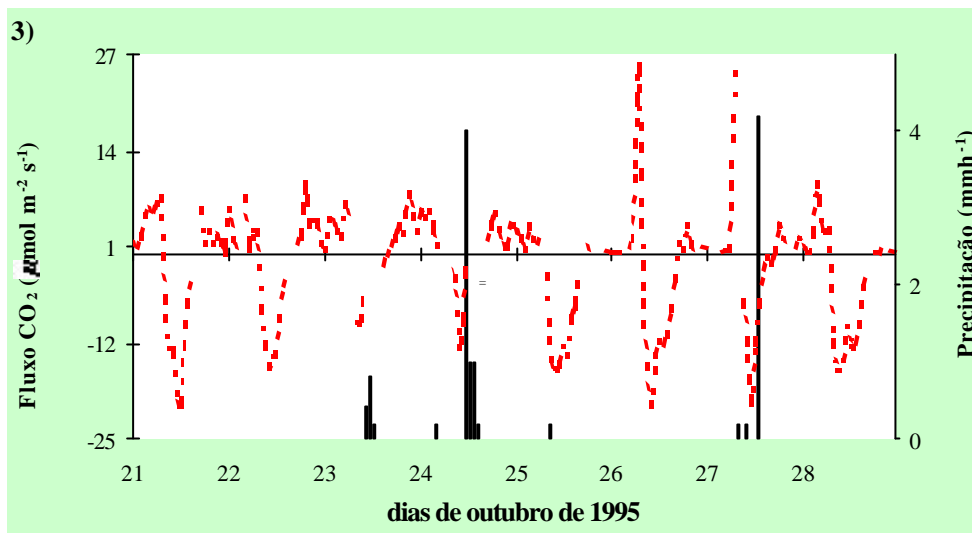
A chuva é elemento fundamental na classificação climática de uma região, e os amazônidas freqüentemente distinguem as estações do ano pelas épocas chuvosa e seca (FERREIRA DA COSTA et al., 1998). O período de 21 a 28 de outubro de 1995 possuiu características de época seca, pois registrou um total de 12,6mm de chuva. As áreas da Amazônia central próximas à Manaus estão sujeitas a um período seco entre junho e setembro, mas mesmo nestes meses, são raros os períodos maiores que uma semana sem a ocorrência de chuvas (Figura 2). Os meses mais chuvosos vão de dezembro a maio (GASH et al., 1996). Climatologicamente esta região apresenta uma precipitação anual acima dos 2000mm e uma freqüência média de 10 dias com ocorrências de precipitação para o mês de outubro (SUDAM/PHCA, 1984)). Dos oito dias estudados, quatro registraram a ocorrência de chuva (23, 24, 25 e 27). Foram precipitações de pequena intensidade, concentradas nos dias 24 e 27 com 6,4 e 4,6mm respectivamente, acumulando mais de 87% do total de chuva do período (Figura 3). Nesta época do ano as precipitações são primordialmente de características convectivas, ocorrendo com mais freqüência nos horários de maior aquecimento. As chuvas mais intensas ocorridas foram de  $4,2\text{mm h}^{-1}$  às 14hs do dia 27 e  $4\text{mm h}^{-1}$  às 13hs do dia 24. A média diária da precipitação no período foi de  $1,6\text{mm dia}^{-1}$ .

O padrão de variação do fluxo de  $\text{CO}_2$  no ciclo diário foi bem definido durante o período analisado neste trabalho. Houve um fluxo positivo, que é a liberação de carbono pelo sistema solo-planta para a atmosfera, desde o final das tardes até às primeiras horas das manhãs após o nascer do sol. Com a incidência dos raios solares sobre a floresta ocorreu um fluxo negativo, que representa a absorção de  $\text{CO}_2$  pela vegetação, atingindo valores máximos por volta da metade do dia, diminuindo de intensidade no decorrer da tarde. Esta variação seguiu o mesmo modelo apresentado por GOULDEN et al. (1996) e GRECCO & BALDOCHI (1996), entre outros, para florestas de regiões de clima temperado do Hemisfério Norte e por FAN et al. (1990), GRACE et al. (1996), CULF et al. (1997) e MALHI et al. (1998), entre outros, para florestas tropicais.

Durante o período estudado, a emissão de  $\text{CO}_2$  para a atmosfera (valores positivos entre 18 e 8 ho-

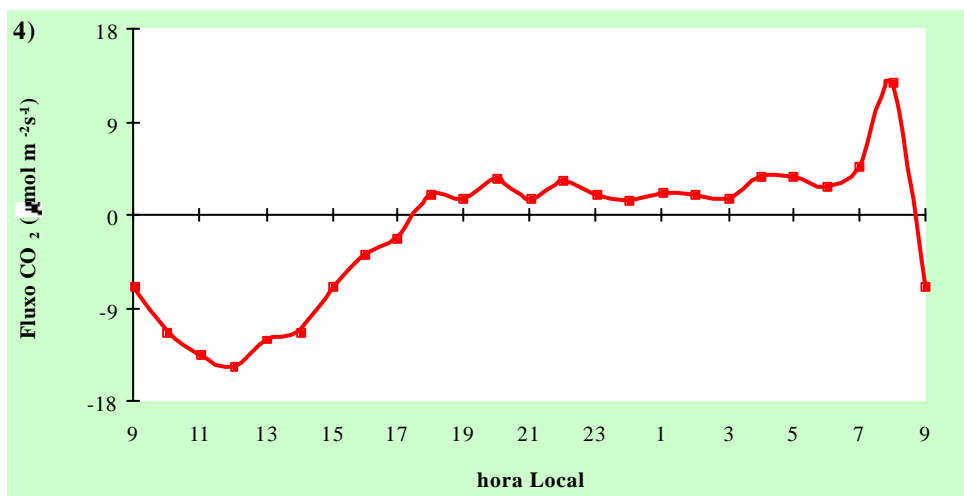


**Figura 2.** Precipitação média mensal para Manaus, AM (fonte: SUDAM/PHCA, 1984).



**Figura 3.** Fluxos horários de CO<sub>2</sub> ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e os valores de precipitação ( $\text{mm h}^{-1}$ ), com chuvas significativas nos dias 24 e 27 de outubro de 1995.

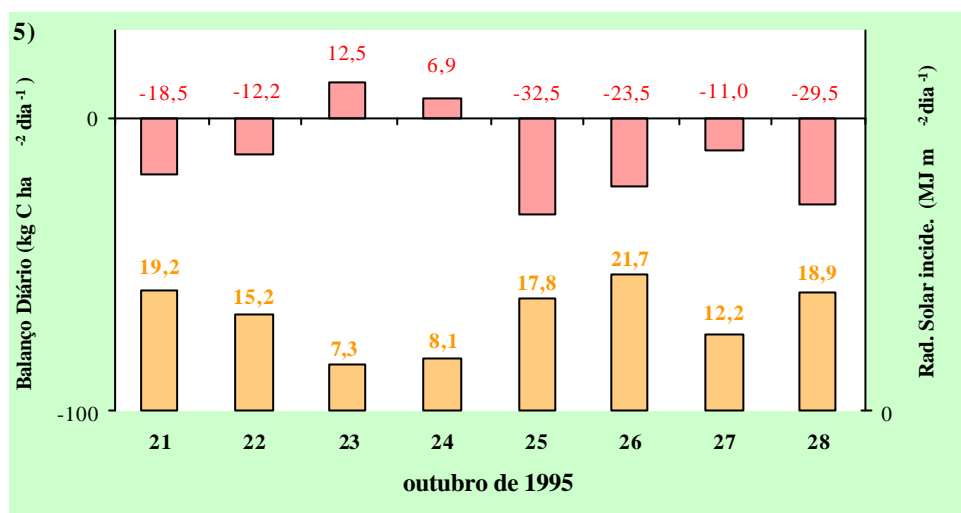
ras) alcançou um valor médio de  $+3,4\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Pela manhã, às 8 horas, o fluxo médio foi de  $+12,9\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 4), sendo este valor, mais elevado, proporcionado pela ocorrência de fluxos da ordem de  $+25\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  nos dias 26 e 27 neste horário, conforme observado na Figura 3. Como o fluxo positivo de carbono (da floresta para a atmosfera) iniciou, em média às 18 horas naquela época do ano, possivelmente uma parte do carbono liberado pelo solo e pelas camadas mais baixas da vegetação ficou retida nos níveis mais altos do dossel durante toda a noite. Após o alvorecer, a liberação do carbono aprisionado na copa das árvores elevou os valores dos fluxos.



**Figura 4.** Ciclo diário de CO<sub>2</sub> com liberação média de  $+3,4\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  entre 18 e 8 horas, alcançando  $+12,9\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  às 8 horas, e absorção média de  $-9,1\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  entre 9 e 17 horas, sendo de  $-14,5\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  às 12 horas

A absorção do CO<sub>2</sub> da atmosfera pela floresta (valores negativos do fluxo), iniciou em média às 9 horas estendendo-se até às 17 horas, com um valor médio de  $-9,1\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Os maiores valores diários corresponderam a aproximadamente  $-20\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ocorrendo entre 11 e 13 horas nos dias 21, 26 e 27. O pico da retirada de CO<sub>2</sub> pela vegetação ocorreu às 12 horas, com uma taxa média de  $-14,5\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ .

Durante os oito dias analisados, seis apresentaram balanço de carbono negativo, isto é, a floresta retirou mais carbono da atmosfera do que liberou naqueles dias. Para os dias 23 e 24, o balanço de carbono foi positivo, ou seja, a liberação de carbono pela floresta foi maior que a absorção, sendo de  $+12,5$  e  $+6,9 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  respectivamente. Estes dias registraram os menores valores de radiação solar incidente, no dia 23 foi de  $7,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  enquanto que no dia 24 foi de  $8,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  (Figura 5). A menor taxa diária de seqüestro de carbono pela floresta foi de  $-11 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  no dia 27 de outubro de 1995, este dia registrou ocorrência de chuva da ordem de  $4,6 \text{ mm}$  ( $\sim 37\%$  do total do período) ver figura 3. A radiação solar incidente integrada para o dia 27 foi de  $12,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , a temperatura média do ar foi de  $25,5^\circ\text{C}$  e o déficit de pressão de vapor médio foi de  $0,55 \text{ kPa}$ . O dia 25 foi no qual ocorreu a maior taxa de seqüestro de carbono da atmosfera pela floresta no período, com um valor de  $-32,5 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , a temperatura média do ar também foi menor, na ordem de  $24,6^\circ\text{C}$ , enquanto que o déficit de pressão de vapor foi de  $0,49 \text{ kPa}$ , houve um registro mínimo de

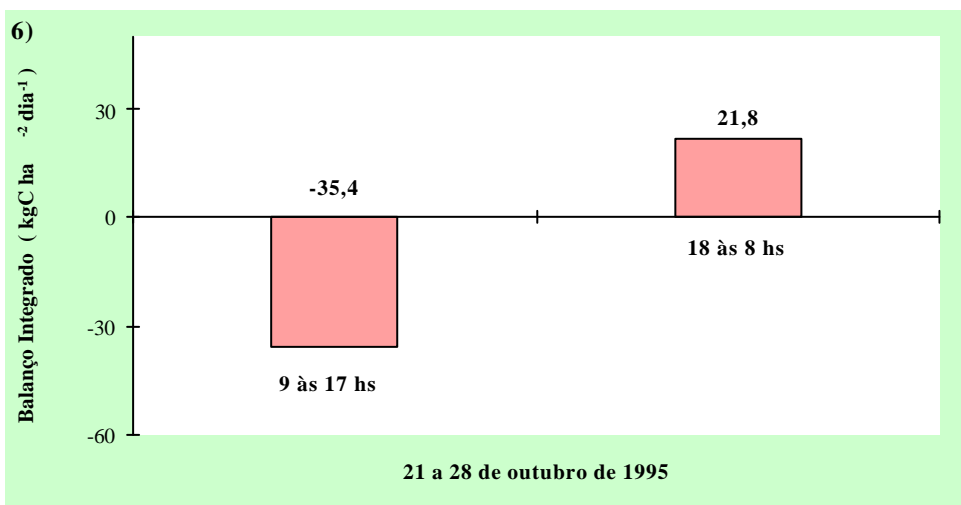


**Figura 5.** Balanço diário de carbono ( $\text{kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) com os valores positivos indicando emissão para a atmosfera (dias 23 e 24) e valores negativos a mitigação pela floresta (demais dias). E radiação solar incidente diária integrada ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ), com valores mais baixos de 7,3 e 8,1 nos dias de balanço de carbono positivo

chuva de 0,2mm neste dia, porém provavelmente existiu uma nebulosidade considerável, pois a radiação solar incidente integrada no dia foi de  $17,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , enquanto que o máximo diário foi de  $21,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  registrado no dia 26 sem ocorrência de chuva e que teve uma retirada de carbono da ordem de  $-23,5 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ .

No período estudado, a média da emissão de carbono para a atmosfera foi de  $+21,8 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , enquanto que a mitigação pela floresta foi de  $-35,4 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . O balanço médio de carbono foi de  $-13,6 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , indicando que a floresta retirou mais carbono da atmosfera

do principalmente na reposição de galhos e folhas depositos sobre o solo, passando a fazer parte de um estoque com longo período de armazenamento. Uma parte do carbono, sob ação das chuvas seria drenada pelos cursos d'água e despejada nos ecossistemas de manguezais na foz do rio Amazonas no litoral do Pará e Amapá, favorecendo a elevação do volume dos fitoplânctons nesta região do oceano Atlântico. Isto por sua vez interage com a cadeia trófica marinha, sendo posteriormente depositado como sedimentos no fundo do oceano, tornando-se integrante da parte dos estoques de carbono que sofre uma troca muito lenta com o meio ambiente, demorando um grande intervalo de tempo para retornar à atmosfera.



**Figura 6.** Fluxos de  $\text{CO}_2$  integrados nos períodos de 9 às 17 horas ( $-35,4 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) e de 18 às 8 horas ( $+21,8 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ). O balanço de carbono foi de  $-13,6 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , mostrando que a floresta foi sorvedouro de carbono da atmosfera, durante o período estudado, podendo retirar até  $-5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ .

pela fotossíntese do que liberou (Figura 6).

A taxa de mitigação do carbono atmosférico pela vegetação obtida neste trabalho, de aproximadamente  $-5 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , se expandida para a área total da Amazônia ( $\sim 5 \times 10^8 \text{ ha}$ ), atingiria a significativa marca de  $-2,5 \text{ Pg C ano}^{-1}$ . Uma mitigação desta proporção, ajudaria a explicar em parte, o chamado carbono desaparecido (*missing carbon*) apresentado nos balanços globais.

Este carbono seria usado principalmente na reposição de galhos e folhas depositos sobre o solo, passando a fazer parte de um estoque com longo período de armazenamento. Uma parte do carbono, sob ação das chuvas seria drenada pelos cursos d'água e despejada nos ecossistemas de manguezais na foz do rio Amazonas no litoral do Pará e Amapá, favorecendo a elevação do volume dos fitoplânctons nesta região do oceano Atlântico. Isto por sua vez interage com a cadeia trófica marinha, sendo posteriormente depositado como sedimentos no fundo do oceano, tornando-se integrante da parte dos estoques de carbono que sofre uma troca muito lenta com o meio ambiente, demorando um grande intervalo de tempo para retornar à atmosfera.

## Conclusões

A liberação média de carbono para a atmosfera é de  $+21,8 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , sendo que o seqüestro pela floresta é de  $-35,4 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . O balanço médio de carbono foi de  $-13,6 \text{ kg C ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , indicando **uma mitigação de  $\text{CO}_2$**  atmosférico pela floresta.

A floresta retira da atmosfera cerca de  $-5\text{Mg C ha}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ , com as taxas de seqüestro obtidas no período analisado.

As análises realizadas neste trabalho ajudam a compreender melhor qual é a contribuição da floresta tropical amazônica no balanço global de carbono, pelo enorme potencial de seqüestrar CO<sub>2</sub> presente na atmosfera.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio financeiro do Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, através do Projeto "Balanço de energia, vapor d'água e CO<sub>2</sub> em áreas de floresta tropical na Amazônia" (95/0966). O primeiro autor agradece à CAPES pela concessão da bolsa de estudos para o curso de Mestrado realizado na ESALQ/USP.

### Referências bibliográficas

- ANDREAE, M.O., BROWELL, E.V., GARSTANG, M. et al. Biomass burning emissions and associated haze layers over Amazonia. **Journal of Geophysical Research**, v. 93, n. D2, p. 1509-1527, 1988.
- BALDOCCHI, D., HICKS, B.B., MEYERS, T.P. Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods. **Ecology**, v. 69, p. 1331-1340, 1988.
- CULF, A.D., FISCH, G., MALHI, Y. et al. Carbon dioxide measurements in the nocturnal boundary layer over Amazonian forest. **Hydrology and Earth System Science**, v. 3, n. 1, p. 39-53, 1999.
- CULF, A.D., FISCH, G., MALHI, Y. et al. Influence of the boundary layer on carbon dioxide concentrations over a tropical forest. **Agricultural and forest meteorology**, v. 85, p. 149-158, 1997.
- DELMAS, R.A., SERVANR, J., THATY, J.P. et al. Sources and sinks of methane and carbon dioxide exchanges in mountain forest in equatorial Africa. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. D6, p. 6169-6179, 1992.
- FAN, S.M., WOFSY, S.C., BAKWIN, P.S. et al. Atmosphere-biosphere exchange of CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> in the central Amazon forest. **Journal of Geophysical Research**, v. 95, n. D10, p. 16851-16864, 1990.
- FERREIRA DA COSTA, R. **Fluxos de Dióxido de Carbono em uma área de Floresta na Amazônia Central**. Piracicaba : USP, 2000. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2000.
- FERREIRA DA COSTA, R., FEITOSA, J.R.P., FISCH, G. et al. Variabilidade diária da precipitação em regiões de floresta e pastagem na Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, AM, v. 28, n. 4, p. 395-408, 1998.
- FLAVIN, C. **World carbon emission fall**. <http://www.worldwatch.org/worldwatch/newsbrief> 99-5, 1999.
- GASH, J.H.C. et al. A overview of ABRACOS. In: GASH, J.H.C., NOBRE, C.A., ROBERTS, J.M. et al.(Eds.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester : John Willey & Sons, 1996. p. 1-14.
- GOULDEN, M.L., MUNGER, J.L., FAN, S.M. et al. Measurements of carbon sequestration by long-term eddy covariance: methods and a critical evaluation of accuracy. **Global Change Biology**, v. 2, p. 169-182, 1996.
- GRAÇA, P.M.L.A. **Conteúdo de carbono na biomassa florestal da Amazônia e alterações após à queima**. Piracicaba : USP, 1997. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1997.
- GRACE, J., LLOYD, J., McINTIRE, J. et al. Carbon dioxide flux over Amazon. rainforest in Rondonia. In: GASH, J.H.C. et al. (Eds.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester : John Willey & Sons, 1996. p. 307-317.
- GRECCO, S., BALDOCCHI, D.D. Seasonal variations of CO<sub>2</sub> and water vapor exchange rates over a temperate forest. **Global Change Biology**, v. 2, p. 183-197, 1996.
- KEELING, C.D., WHORF, T.P. **Atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations (ppmv) derived from in situ air samples collected at Mauna Loa observatory, Hawaii**. <http://www.cdiac.esd.ornl.gov/ndps/ndp001.html>, 1999
- LENSCHOW, D.H. Micrometeorological techniques for measuring biosphere-atmosphere trace gas exchange. In: MATSON, P., HARRIS, B. (Eds.) **Methods in ecology: Trace gas**. New York, 1995.
- LUCAS, R.M., CURRAN, P.J., HONZAK, M. et al. Disturbance and recovery of tropical forests: balancing and carbon account. In: GASH, J.H.C. et al. (Eds.). **Amazonian deforestation and climate**. Chichester : John Willey & Sons, 1996. p. 383-398.
- MALHI, Y., NOBRE, A.D., GRACE, J. et al. Carbon dioxide transfer over a Central Amazonian rain forest. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D24, p. 31593-31612, 1998.
- McWILLIAM, A.L.C., ROBERTS, J.M., CABRAL, O. M. et al. Leaf area index and above-ground biomass of terra fire rain forest and adjacent clearings in Amazonia. **Functional Ecology**. v.7, p. 310-317, 1993.
- MONCRIEFF, J.B., MALHI, Y., LEUNING, R. The propagation of errors in long-term measurements of

- land-atmosphere fluxes of carbon and water. **Global change biology**, v. 2, p. 231-240, 1996.
- NOBRE C.A. GASH J.H.C. Desmatamento e clima: o maior estudo já feito na Amazônia. **Ciência Hoje**, v. 22, n. 128, p. 32-41, 1997
- SCHOLES, R.J. Will the terrestrial carbon sink saturate soon? **Global change newsletter**, IGBP, v. 37, p. 2-3, 1999.
- SUDAM/PHCA. **Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira**, SUDAM/PHCA : Belém, PA, 1984, (Publicação 39).
- TANS, P.P., BAKWIN, P.S., GUENTHER, D.W. A feasible global carbon cycle observing system: a plan to decipher today's carbon cycle based on observations. **Global change biology**, v. 2, p. 309-318, 1996.
- VALENTINI, R., DeANGELIS, P., MATTEUCCI, G. et al. Seasonal net carbon dioxide exchange of a beech forest with the atmosphere. **Global change biology**, v. 2, p. 199-207, 1996.
- WOFSY, S.C., HARRISS, R.C., KAPLAN, W.A. Carbon dioxide in the atmosphere over the Amazon basin. **Journal of Geophysical Research**, v. 93, n. D2, p. 1377-1387, 1988.